

Beregnet til  
**Sjøfartsdirektoratet**

Dokumenttype  
**Rapport**

Dato  
**2017-05-02**

# UTSLIPP TIL LUFT OG SJØ FRA SKIPS- FART I FJORDOMRÅDER MED STOR CRUISETRAFIKK

## KARTLEGGING OG FORSLAG TIL TILTAK



Sjøfartsdirektoratet og Stiftinga Geirangerfjorden Verdsarv ©

**UTSLIPP TIL LUFT OG SJØ FRA SKIPSFART I  
FJORDOMRÅDER MED STOR CRUISETRAFIKK  
KARTLEGGING OG FORSLAG TIL TILTAK**

Revisjon **00**  
Dato **2017-05-02**  
Utført av **Hanne Weggeberg, Dag Stenersen, Toni Keskitalo,  
Eerik Järvinen, Timothy M. Sturtz, Drew A. Polley, Bart  
Brashers**  
Kontrollert av **Jenny Skeide Skårn**  
Godkjent av **Terje Norddal**  
Beskrivelse **Vurdering av utslipp til luft fra skipsfart og lokal luft-  
kvalitet ved utvalgte norske fjordområder med stor  
cruisetraffikk**

Ref. **M-rap-001-1350003037-002\_Utslipp til luft og sjø fra skips-  
fart i norske fjorder\_2017-05-02**

Forsidebilder: Rettigheter tilhører Sjøfartsdirektoratet og Stiftinga Geiranger-  
fjorden Verdsarv ©

## SAMMENDRAG

Rambøll fikk i oppdrag å utføre en kartlegging av utslipp til luft og sjø fra skipsfart for sommersesongen mai-september (juni-august for deler av arbeidet) 2016 ved gjennomføring av flere ulike aktiviteter. Verdensarvfjordene Geirangerfjorden, Aurlandsfjorden inn til Flåm og Nærøyfjorden ble prioritert ettersom disse fjordene har størst cruiseskiptrafikk.

Et spørreskjema ble utarbeidet av SINTEF MARINTEK og distribuert til skip som besøkte de tre fjordene i løpet av sommeren 2016. Undersøkelsen samlet inn informasjon om tekniske data ved skipene og driftsprofil ved seiling i fjordområdene. I Geiranger ble det montert et videokamera som overvåket Geirangerfjorden i løpet av deler av cruisesesongen 2016. Modellering av meteorologiske forhold ved de tre fjordene ble foretatt ved «Weather Research and Forecast model» (WRF), som ble brukt som inngangsdata til spredningsmodellering. Utslipp av nitrogenoksider ( $\text{NO}_x$ ) ble estimert for alle fartøy som besøkte verdensarvfjordene i løpet av sommermånedene juni, juli og august 2016 ved bruk av data fra spørreundersøkelsen. For skip registrert som cruise- eller passasjerskip ble utslipp av  $\text{NO}_x$ , svoveldioksid ( $\text{SO}_2$ ) og svevestøv ( $\text{PM}_{10}$  og  $\text{PM}_{2,5}$ ) beregnet ved bruk av faktiske data om skipsbevegelser og tilgjengelig teknisk informasjon om individuelle skip fra skipsdatabaser. Utslipp fra veitrafikken i områdene ble også beregnet på bakgrunn av tilgjengelige trafikk tall og utslippsfaktorer. Spredningsberegninger for svoveldioksid ( $\text{SO}_2$ ), nitrogendioksid ( $\text{NO}_2$ ),  $\text{PM}_{10}$  og  $\text{PM}_{2,5}$  ble utført for perioden juni-august 2016 med modelleringssystemet CALPUFF, med modellert meteorologi for områdene og beregnede utslipp fra cruise- og passasjerskipene brukt som inngangsdata.

Bilder som viste skipstrafikken i Geirangerfjorden tatt med videokameraet viste dannelse av godt synlige røykskyer både fra cruise- og passasjerskip og fra andre fartøy. Hvit røyk består i hovedsak av kondensert vanndamp, mens grå/svart eller blålig farge indikerer utslipp av henholdsvis sot/partikler og uforbrente hydrokarboner.

Omtrent halvparten av fartøyene svarte på spørreundersøkelsen. Dataene vedrørende cruiseskipene vurderes som representative ettersom alderen på skipene det foreligger svar for ikke avviker vesentlig fra aldersfordelingen av verdens cruiseskipflåte.

Beregningene viste at utslippene var klart størst for  $\text{NO}_x$  i perioden juni-august 2016, og høyest innerst i Geirangerfjorden og i Aurlandsfjorden nær Flåm. Cruise- og passasjerskipene sto for det aller meste av  $\text{NO}_x$ -utslippene: 81 % av de totale utslippene i Geirangerfjorden og 84 % i Aurlandsfjorden og Nærøyfjorden. Andre fartøy bidro med mellom 9 % og 17 %, og veitrafikken på land kun med mellom 2 % og 7 % av de totale utslippene.

Spredningsberegningene utført med CALPUFF viste at det i all hovedsak var konsentrasjoner av  $\text{NO}_2$  som tidvis var forhøyede. Nivåene av  $\text{PM}_{10}$ ,  $\text{PM}_{2,5}$  og  $\text{SO}_2$  var for det meste lave, med verdier under gjeldende grenseverdier for tiltak i henhold til forurensningsforskriften. For  $\text{NO}_2$  var nivåene under timegrenseverdien for tiltak på  $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de fleste stedene. Grenseverdien ble overskredet over korte tidsperioder i små, ubebodde områder i fjorden og i en fjellside; kun små områder hadde  $\text{NO}_2$ -konsentrasjoner nært oppunder timegrenseverdien.

Varslingsklassene utarbeidet av Folkehelseinstituttet, Vegdirektoratet og Miljødirektoratet brukes til å angi luftkvaliteten i byer i forhold til helserisiko, og har

timesmiddel-grenser for alle de undersøkte komponentene. Store områder rundt Geirangerfjorden og innerst i Aurlandsfjorden ved Flåm hadde periodevis konsentrasjoner av NO<sub>2</sub> som falt inn under varslingsklassen for moderat forurensningsnivå og helserisiko som har en nedre grense på 100 µg/m<sup>3</sup>, det vil si under grenseverdien i henhold til forurensningsforskriften. Studien tyder altså på at nivåene av NO<sub>2</sub> ved områdene innerst i Geirangerfjorden og i Aurlandsfjorden ved Flåm i perioder er så høye at de kan føre til forverring av sykdom blant sårbare befolkningsgrupper.

PM<sub>10</sub>-nivåene overskred ingen av varslingsklasse-grensene på noe tidspunkt i noen av verdensarvområdene, mens konsentrasjoner av SO<sub>2</sub> og PM<sub>2,5</sub> overskred nedre grense for moderat forurensningsnivå og helserisiko over korte tidsperioder i små, ubebodde områder i fjorden og i en fjellside.

Med grunnlag i resultatene fra kartleggingen av utslipp fra skipsfart i verdensarvfjordene ble mulige tiltak for reduksjon i utslipp til luft og sjø og dannelse av røyk vurdert. Tiltak kan potensielt gjennomføres rettet mot innføring av strengere krav til utslipp og teknologi på skipene som anløper fjordområdene. I ytterste konsekvens kan det vedtas begrensninger i antall skip som får besøke områdene eller gis anløpstillatelse. Etablering av landstrøm kan være aktuelt ved flere havner. Det er også mulig å utvide eksisterende utslippskontrollområde i Nordsjøen til å omfatte flere fjordområder lenger nord i Norge. Gjennomføring av denne typen tiltak vil innebære en rekke økonomiske og lovmessige utfordringer, og mange hensyn vil måtte tas. Tiltak som inngår i eksisterende nasjonale og internasjonale krav kan muligens være tilstrekkelige.

## INNHALDSFORTEGNELSE

<b>1.</b>	<b>INNLEDNING</b>	<b>1</b>
1.1	Bakgrunn	1
1.2	Målsetting med prosjektet	1
1.3	Aktiviteter og analyser	1
1.3.1	Spørreundersøkelse	2
1.3.2	Videoovervåking	2
1.3.3	Meteorologisk modellering	2
1.3.4	Estimering av utslipp fra skip	2
1.3.5	Spredningsmodellering	3
1.3.6	Forslag til tiltak	3
<b>2.</b>	<b>GENERELT OM SKIPSFART OG UTSLIPP</b>	<b>4</b>
2.1	Utslipp fra skipstrafikken og potensielle effekter	4
2.1.1	Utslipp til luft	4
2.1.2	Utslipp til sjø	6
2.2	Reguleringer og grenseverdier	6
2.2.1	Utslipp til luft	6
2.2.2	Utslipp til sjø	10
<b>3.</b>	<b>UTVALGTE FJORDOMRÅDER OG SITUASJON</b>	<b>11</b>
<b>4.</b>	<b>METODE</b>	<b>12</b>
4.1	Spørreundersøkelse: Utslipp til luft og vann fra skipstrafikk	12
4.2	Videoovervåking av Geirangerfjorden	12
4.3	Meteorologisk modellering	13
4.3.1	Modell-konfigurering	13
4.3.2	Valg av modell	13
4.3.3	Konfigurering av horisontalt domene	13
4.3.4	Definering av vertikalt domene	16
4.3.5	Topografisk grunnlagsmateriale	16
4.3.6	Vegetasjonstype- og arealdekkekart	16
4.3.7	Atmosfæriske forhold	16
4.3.8	Tidsintegrasjon	16
4.3.9	Valg for diffusjon	16
4.3.10	Vanntemperatur	16
4.3.11	Datatilpasning	16
4.3.12	Fysikk	17
4.3.13	Anvendelse	17
4.3.14	Validering av WRF-modellen	17
4.4	Estimering av utslipp til luft	17
4.4.1	NO <sub>x</sub> -utslipp fra andre fartøy	17
4.4.2	Utslipp til luft fra cruise- og passasjerskip	18
4.4.3	Utslipp til luft fra veitrafikk	19
4.5	Spredningsmodellering	20
4.5.1	CALPUFF-systemet	20
4.5.2	Post-prosessering	20

4.5.3	Konvertering av beregnede resultater for NO <sub>x</sub> til konsentrasjoner av NO <sub>2</sub>	21
<b>5.</b>	<b>RESULTATER</b>	<b>22</b>
5.1	Spørreundersøkelse: Utslipp til luft og sjø fra skipstrafikk	22
5.1.1	Cruiseskip	22
5.1.2	Andre fartøy	23
5.2	Videoovervåking av Geirangerfjorden	23
5.3	Meteorologi simulert med WRF	25
5.4	Utslipp til luft i verdensarvfjordene	27
5.4.1	Totale utslipp til luft	27
5.4.2	Utslipp fra cruise- og passasjerskip	27
5.5	Spredning av luftforurensning fra cruisetrafikk i de aktuelle fjordområdene	30
<b>6.</b>	<b>DISKUSJON OG VURDERINGER</b>	<b>35</b>
6.1	Meteorologisk modellering	35
6.2	Utslipp til luft og sjø ved fjordområder fra cruiseskip	35
6.3	Vurdering av spredning av luftforurensning og lokal luftkvalitet ved fjordområdene	35
6.4	Målinger i området ved Geirangerfjorden	36
6.5	Forslag til avbøtende tiltak	37
<b>7.</b>	<b>KONKLUSJON</b>	<b>39</b>
	<b>REFERANSER</b>	<b>40</b>

## VEDLEGG:

1. Bilder fra Geirangerfjorden
2. Spesifikasjoner for meteorologisk modellering med WRF
3. Validering av WRF-modell
4. Utslipp fra skipsfart
5. Beregning av spredning av luftforurensning med CALPUFF
6. Kart som viser spredningen av luftforurensning fra cruise- og passasjerskip ved Geirangerfjorden, Aurlandsfjorden og Nærøyfjorden
7. Stenersen, Dag: Operasjonsdata fra skipsfart i Geiranger, Nærøy- og Aurlandsfjorden. MARINTEK Rapport 2017-04-24

# 1. INNLEDNING

## 1.1 Bakgrunn

I Norge har enkelte fjorder stor trafikk av cruiseskip, særlig de tre sommermånedene juni, juli og august. Verdensarvområdene Aurlandsfjorden inn til Flåm, Nærøyfjorden og Geirangerfjorden har den største trafikken, men flere andre fjorder har også betydelig skipstrafikk.

I områder med mye skipstrafikk kan skipsfart generere betydelige utslipp til luft og sjø. Cruiseskipene er store og ligger gjerne i ro dagen over med hjelpemotorer i gang, kanskje også hovedmotor. Dette genererer eller kan generere utslipp til luft av vanndamp, svoveldioksid (SO<sub>2</sub>), nitrogenoksider (NO<sub>x</sub>), karbondioksid (CO<sub>2</sub>), svevestøv (PM<sub>10</sub> og PM<sub>2,5</sub>) og uforbrente hydrokarboner (UHC). Noen av disse stoffene kan utgjøre en helsefare ved konsentrasjoner over visse nivåer. Juridisk gjeldende grenseverdier for tiltak er gitt i forurensningsforskriftens kapittel 7, mens varslingsklasser som brukes til vurdering av luftkvalitet i byområder kan brukes til vurdering av forurensningsnivå og helserisiko for de aktuelle forurensende komponentene for kortere tidsperioder. Mindre skip som ferjer og hurtigbåter gir samme type utslipp, men står for en liten andel av de totale utslippene i de største cruise fjordene. Myndighetene ønsket derfor å identifisere sammenhenger mellom cruisetrafikk og annen skipstrafikk, og kartlegge konsentrasjoner av potensielt helseskadelige komponenter sett i forhold til gjeldende grenseverdier.

På dager med lite vind kan det tidvis observeres en røyksky som legger seg over skipene og fjordområdene, noe som utgjør en estetisk forurensning som en ønsker å redusere i så stor grad som mulig. Det ble etterlyst en kartlegging av omfanget av dannelsen av og innholdet i slike røykskyer, og hvorvidt slike episoder er forbundet med helserisiko.

Cruiseskip og annen skipstrafikk vil også gi utslipp til sjø. Kloakk skal enten renses før den slippes ut i sjøen eller slippes ut i en gitt avstand fra land. Alle skip kan slippe ut såkalt «gråvann», dvs. vaskevann. Også andre typer utslipp til vann som ballastvann, uønskede organismer, oljeholdige stoffer, bunnstoffer og søppel er aktuelle. Myndighetene ønsket å få belyst omfanget av utslipp til sjø og hvilke typer utslipp som forekommer i forbindelse med skipsfart i verdensarvfjordene.

Sjøfartsdirektoratet ønsket på bakgrunn av dette å få utført en kartlegging av utslipp fra fartøy i aktuelle fjordområder i løpet av sommersesongen 2016 for å vurdere risiko for mulige helseeffekter og skadelige effekter på naturmiljøet i disse områdene. Verdensarvfjordene Geirangerfjorden, Aurlandsfjorden inn til Flåm og Nærøyfjorden ble prioritert.

## 1.2 Målsetting med prosjektet

Følgende målsettinger ble satt opp for prosjektet:

1. Kartlegge utslipp til luft og sjø fra skipstrafikken i Geirangerfjorden, Aurlandsfjorden og Nærøyfjorden i sommermånedene
2. Foreslå tiltak som kan redusere utslipp til luft og sjø fra skipsfarten i de relevante fjordområdene

## 1.3 Aktiviteter og analyser

I studien ble utslipp til luft og sjø fra skipstrafikken i de utvalgte fjordområdene kartlagt ved gjennomføring av en spørreundersøkelse rettet mot aktuelle rederier, cruiseskip og lokal skipstrafikk inkludert Hurtigruten, videoovervåking av skipstrafikken i Geirangerfjorden, og estimering av utslipp og modellering av spredningen av relevante luftforurensende komponenter fra cruiseskipstrafikken.

### 1.3.1 Spørreundersøkelse

Data fra skip som seiler i fjordområder i Norge ble samlet inn direkte ved gjennomføring av en spørreundersøkelse. Skjemaet inneholdt spørsmål om tekniske data ved skipene, driftsprofil og forhold som er relevante for utslipp til luft og sjø, og ble distribuert til cruiseskip samt de lokale skipene som besøkte Geirangerfjorden, Aurlandsfjorden og Nærøyfjorden i løpet av månedene mai-september 2016. Undersøkelsen ble gjennomført av SINTEF MARINTEK. Resultatene fra undersøkelsen ble benyttet som inngangsdata til modellering av spredning av luftforurensning sluppet ut fra cruiseskip i de aktuelle fjordområdene.

### 1.3.2 Videoovervåking

Bilder ble tatt ved regelmessige tidsintervaller med et kamera montert med utsikt over Geirangerfjorden i deler av cruisesesongen 2016. Ved bruk av dette bildematerialet kan skipenes bevegelser over tid følges, og utslipp fra skip som medfører synlige røykskyer observeres. Bildeserien kunne også benyttes til verifisering av data for skipsbevegelser, og til vurdering av beregninger av utslipp av luftforurensning og spredning ut over fjordområdene.

### 1.3.3 Meteorologisk modellering

Det ble foretatt meteorologisk modellering for sommermånedene juni, juli og august 2016 til bruk i modelleringen av luftkvalitet i de utvalgte norske fjordområdene. De simulerte meteorologiske dataene ble benyttet til å vurdere spredning av aktuelle forurensende komponenter i luft sluppet ut av cruiseskip. Informasjon om meteorologi er nødvendig i modellering av luftkvalitet ettersom parametere som vindhastighet, temperatur og luftfuktighet er med på å bestemme hvordan forurensende komponenter sprer seg og reagerer i atmosfæren. Eksisterende kilder til meteorologisk informasjon inkluderer datasett med målinger foretatt ved ulike lokasjoner fra eksisterende meteorologiske stasjoner ved fjordområdene langs vestkysten av Norge. Det finnes imidlertid ikke tilstrekkelig med målestasjoner nær de aktuelle fjordområdene for denne studien til å kunne beskrive den tredimensjonale strukturen i atmosfæren med stor nok grad av nøyaktighet.

Ved bruk av måleresultater fra meteorologiske stasjoner som inngangsdata, kan rutenett-baserte meteorologiske modeller estimere meteorologiske forhold i områder langt fra målestedene. Resultatene fra disse modellene brukes ofte for å bestemme forhold på steder som enten ligger nær eller medvinds forurensningskilder. «The Weather Research and Forecasting Model» (WRF) er i dag den foretrukne modellen for atmosfærisk forskning og operasjonell værvarsling i mesoskala oppløsning (om lag fem til flere hundre kilometer). WRF ble valgt og benyttet til å generere meteorologiske inngangsdata til modelleringen av spredning fra cruiseskip i Geirangerfjorden, Aurlandsfjorden og Nærøyfjorden for sommermånedene juni, juli og august 2016, med 300-meters horisontal oppløsning.

### 1.3.4 Estimering av utslipp fra skip

Utslipp fra alle skip som anløp Geirangerfjorden, Aurlandsfjorden og Nærøyfjorden i løpet av perioden juni-august 2016 ble estimert basert på tekniske skipsdata fra spørreundersøkelsen og etablerte utslippsfaktorer. For cruiseskipene ble utslipp beregnet mer nøyaktig ved bruk av data for faktiske skipsbevegelser og informasjon om hvert fartøy. Utslippene ble beregnet ved å relatere individuelle fartøy til data for motorparametere slik at motorbelastning kunne estimeres, og bruke utslippsfaktorer og AIS-skipbevegelser for sommeren 2016.

AIS er et automatisk identifikasjonssystem for overvåking av skipstrafikk. Alle skip utstyrt med AIS-transpondere som signaliserer posisjon, fart og kurs med korte, regelmessige intervaller gjennom skipets identifikasjonsnummer, enten IMO- eller MMSI («Maritime Mobile Service Identity»)-nummeret. Skipene med tilhørende AIS-data kan så sammenstilles med informasjon om skipstype, modellår, størrelse, dimensjonsgivende hastighet, motoregenskaper og annen informasjon for å estimere motorbelastning og utslippsfaktorer ved bruk av data fra IHS Fairplay-databasen.



### 1.3.5 Spredningsmodellering

Estimerte utslipp fra skip beregnet ved bruk av AIS-data ble lagt inn i CALPUFF-modelleringsystemet for å estimere påvirkningen på lokal luftkvalitet ved Geirangerfjorden, Aurlandsfjorden og Nærøyfjorden. CALPUFF ble valgt som spredningsmodell ettersom denne kan ta hensyn til komplekse tredimensjonale vindforhold. Spredningen til de luftforurensende komponentene nitrogendioksid (NO<sub>2</sub>), svoveldioksid (SO<sub>2</sub>) og svevestøv (PM<sub>10</sub> og PM<sub>2,5</sub>) ved de tre fjordområdene ble beregnet og vurdert opp mot gjeldende lovverk og grenseverdier.

Modelleringsresultatene ble validert opp mot målinger som pågår i Geirangerfjorden. En rekke meteorologiske parametere og relevante luftforurensende komponenter måles som del av et langtids prosjekt, ledet av Professor Jörg Löffler ved Universitetet i Bonn i Tyskland og finansiert av Stiftinga Geiranger Verdsarv. Rambøll etablerte et samarbeid med Professor Löffler og Katrin Blomvik, daglig leder i Stiftinga Geiranger Verdsarv, i forbindelse med gjennomføringen av denne studien slik at måledata og resultater kunne utveksles til validering. Resultatene fra målinger av SO<sub>2</sub> og svevestøv i luft ved havneområdet i Geiranger ble sammenholdt med modellerte konsentrasjoner av de samme komponentene. Tilgang på resultater fra både spredningsmodellering og målinger gir ulik men utfyllende informasjon for vurdering av luftkvaliteten i et område.

### 1.3.6 Forslag til tiltak

Med grunnlag i kartleggingen av utslipp til luft fra skipsfart ved de tre fjordene ved spørreundersøkelse, videoovervåking, beregning av utslipp og spredningsmodellering, ble det satt opp forslag til mulige tiltak. Resultatene fra den foreliggende studien ble også sett opp mot tidligere undersøkelser foretatt ved fjordområder i Norge.

## 2. GENERELT OM SKIPSFART OG UTSLIPP

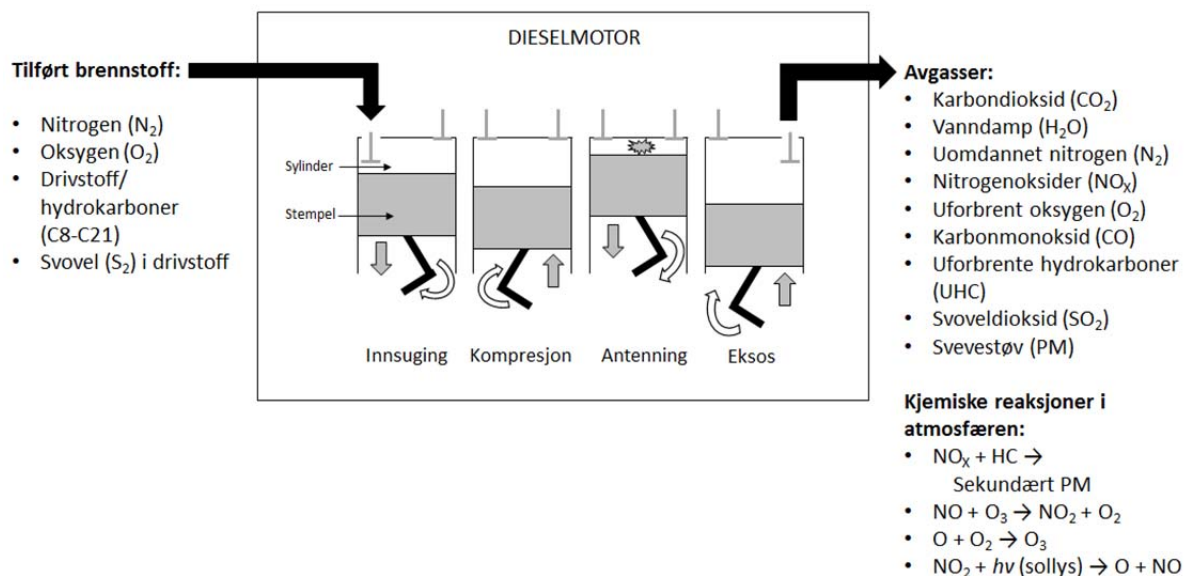
### 2.1 Utslipp fra skipstrafikken og potensielle effekter

Skipstrafikken står for betydelige utslipp til luft og sjø, og kan bidra til dårlig luftkvalitet lokalt og skadelige effekter på økosystemer i sjøen særlig ved større havneområder.

#### 2.1.1 Utslipp til luft

Skipsmaskineriet består av hovedmotorene som sørger for fartøyets fremdrift, og hjelpemotorene som brukes til å drive funksjoner om bord som ikke er knyttet til fremdriften som elektrisitet til lys, ventilasjon, oppvarming og lignende. Dieselmotorer på skip bruker svovelholdig tungolje, mens oppstart og manøvrering skjer ved bruk av marin diesololje.

Eksos fra skip består hovedsakelig av karbondioksid ( $\text{CO}_2$ ), vanddamp, nitrogenoksider ( $\text{NO}_x$ ), svoveloksider ( $\text{SO}_x$ ), svevestøv (PM), karbonmonoksid (CO) og flyktige organiske forbindelser (VOC), inklusive uforbrente hydrokarboner (UHC), [1] se illustrasjon og forklaring i Figur 1.



Figur 1. Illustrasjon som viser en skjematisk fremstilling av virkemåten til en skipsdieselmotor og en oversikt over tilført brennstoff, avgasser og atmosfærekjemi.

I en forbrenningsmotor omdannes brennstoffets energiinnhold til mekanisk arbeid ved forbrenning inne i motorens forbrenningsrom. Dette skjer ved at varmeenergi frigjort under forbrenningen skyver et stempel. Dieselmotorer har høyt kompresjonstrykk i forbrenningsrommet og en temperatur som er så høy at brennstoffet selvantenner ved innsuging. Sylindrene tilføres ren luft. Forbrenningen fører til en ekspansjon, noe som presser stempelet nedover.

Avgassene som slippes ut til luft består av forbrenningsprodukter, i hovedsak karbondioksid ( $\text{CO}_2$ ) og vanddamp ( $\text{H}_2\text{O}$ ). De viktigste forurensende komponentene med hensyn på lokal luftkvalitet er nitrogenoksider ( $\text{NO}_x$ ), svoveldioksid ( $\text{SO}_2$ ), svevestøv (PM), karbonmonoksid (CO) og uforbrente hydrokarboner (UHC). En del av forbindelsene i avgassene inngår i en rekke kjemiske reaksjoner i atmosfæren.  $\text{NO}_x$  og hydrokarboner danner sekundært svevestøv. Nitrogenmonoksid (NO) og nitrogendioksid ( $\text{NO}_2$ ) inngår i en syklisk prosess der ozon ( $\text{O}_3$ ) er sentralt, og denne likevekten er skiftende avhengig av atmosfæriske forhold som solinnstråling og konsentrasjon av ozon.

Ulike forurensende stoffer som slippes ut til luft kan ha negative effekter på jordens klima, økosystemer og menneskers helse. Utslipp av klimagasser som karbondioksid ( $\text{CO}_2$ ) fra skipsfart og bidrag til global oppvarming omfattes ikke av denne rapporten. Skadelige effekter på økosystemer i sjøen og på land vil omtales, mens hovedvekten legges på konsentrasjoner av aktuelle komponenter i luft og potensielle skadelige helseeffekter hos mennesker som bor og oppholder seg i verdensarvfjordene med mye cruiseskiptrafikk.

Luftforurensning er en av de viktigste årsakene til tidlig død og helseskader på verdensbasis, og skadelige effekter har blitt påvist ved lave konsentrasjoner i luft.[2] Nitrogendioksid ( $\text{NO}_2$ ), svevestøv ( $\text{PM}_{10}$  og  $\text{PM}_{2,5}$ ) og svoveldioksid ( $\text{SO}_2$ ) regnes som de viktigste forurensende stoffene i luft i områder med høy andel skipstrafikk. Dette på grunnlag av størrelsen på utslippene, typiske konsentrasjoner i atmosfæren og potensielle helseskader.[3] Disse komponentene er derfor undersøkt nærmere i denne rapporten.

#### Nitrogendioksid

Nitrogenoksider ( $\text{NO}_x$ ) dannes ved forbrenning av drivstoff ved høy temperatur. Spesielt dieselmotorer har et høyt utslipp av  $\text{NO}_x$ . Selve utslippene består i hovedsak av nitrogenmonoksid ( $\text{NO}$ ) og mindre mengder nitrogendioksid ( $\text{NO}_2$ ). I tillegg til å være avhengig av type drivstoff, vil andelen  $\text{NO}_2$  i uteluft også være avhengig av atmosfæriske forhold da  $\text{NO}$  kan oksideres i luft til nitrogendioksid ( $\text{NO}_2$ ) ved tilstedeværelse av ozon ( $\text{O}_3$ ). Videre kan  $\text{NO}$  gjendannes fra  $\text{NO}_2$  ved absorpsjon av energi fra sollys. De frie oksygenatomene ( $\text{O}$ ) som dannes reagerer med oksygen i atmosfæren og danner ozon.  $\text{NO}_x$ -forbindelser inngår også i en rekke andre kjemiske reaksjoner i atmosfæren. Forhold som solinnstråling, nedbør, ozonkonsentrasjon og avstand til utslippskilden vil derfor være bestemmende for fordelingen mellom  $\text{NO}$  og  $\text{NO}_2$  i luft ved ulike områder og til ulike tidspunkt.

$\text{NO}_2$  er den mest relevante forbindelsen å vurdere når det gjelder helseskader hos mennesker.[4] Inhalering av  $\text{NO}_2$  kan utløse betennelsesreaksjoner i kroppen, celledød og tap av lungefunksjon. Grenseverdier for menneskers helse foreligger derfor for komponenten  $\text{NO}_2$ .

#### Svevestøv

Svevestøv har svært kompleks og varierende sammensetning og inngår i en rekke kjemiske reaksjoner og fysikalske prosesser i atmosfæren.[5] Kildene til svevestøv kan være både naturlige og menneskeskapt. Forbrenning av fossilt drivstoff er en av de viktigste utslippskildene. Veitrafikk på land vil også bidra til utslipp av svevestøv, både i form av forbrenningspartikler i eksos fra kjøretøy og ved at støv virvles opp i lufta ved slitasje av bremseklosser, dekk og asfalt.

Svevestøv kan deles inn i ulike størrelsesfraksjoner basert på størrelsen på partiklene. Vanlig brukte størrelsesfraksjoner ved vurdering av utendørs luftkvalitet inkluderer partikler med diameter mindre enn  $10\ \mu\text{m}$ ,  $2,5\ \mu\text{m}$  og  $1\ \mu\text{m}$  ( $\text{PM}_{10}$ ,  $\text{PM}_{2,5}$  og  $\text{PM}_1$ ), og partikler med diameter mindre enn  $0,1\ \mu\text{m}$ , eller ultrafine partikler ( $\text{PM}_{0,1}$ ). Den grove partikkelfraksjonen ( $\text{PM}_{2,5-10}$ ) i svevestøv i byluft kommer hovedsakelig fra veislitasje, mens den fine ( $\text{PM}_{0,1-2,5}$ ) og ultrafine fraksjonen for det meste stammer fra forbrenning. Partikkelstørrelse anses å være en avgjørende faktor for potensielle helseskadelige effekter av svevestøv. Studier indikerer at  $\text{PM}_{10}$  hovedsakelig er forbundet med effekter på luftveissystemet, mens  $\text{PM}_{2,5}$  er forbundet med skadelige virkninger på hjerte- og karsystemet.

#### Svoveldioksid

Forurensning av svoveldioksid kan føre til skadelige helseeffekter, særlig forverring av sykdom og økt dødelighet hos astmatikere.[6] Virkningen av inhalering av  $\text{SO}_2$  er hovedsakelig sammentrekning av luftveiene og dermed redusert lungefunksjon. Det skal imidlertid relativt høye konsentrasjoner i luft til for å produsere slike effekter. Utslippene og konsentrasjonene i uteluft av  $\text{SO}_2$  har blitt redusert betraktelig i den vestlige verden de siste tiårene, og  $\text{SO}_2$  utgjør derfor ikke noen helseisiko de fleste steder i Norge.

Utslipp fra skip fra forbrenning av svovelholdig drivstoff har vært et betydelig bidrag til de totale utslippene av svoveloksider ( $\text{SO}_x$ ) i Europa.[7] Nye utslippskrav har derimot bidratt til å redusere disse utslippene. Dette gjelder spesielt innenfor utslippskontrollområder definert av IMO (ECA-områder) og ved operasjon i havn hvor det i dag benyttes drivstoff med lavt svovelinnhold eller renseteknologi for å tilfredsstille utslippskravene.

### 2.1.2 Utslipp til sjø

Utslipp til sjø fra skipsfart kan medføre betydelige skadelige virkninger på marine økosystemer.[8] Aktuelle utslipp inkluderer kloakk, gråvann, ballastvann, oljeforbindelser, bunnstoffer og søppel.

Cruiseskip er utstyrt med kloakkbehandlingssystem/rencesystemer iht. gjeldende krav for å minimere helserisiko og skade på miljø fra kloakk. Slike systemer skal hindre utslipp av skadelige stoffer som koliforme bakterier og at synlige partikler slippes ut. Det stilles tekniske krav til biokjemisk oksygenbehov knyttet til nitrifisering i renseprosessen og krav til pH-innhold i utslippsvann. Videre stilles det krav til nitrogen og fosfor innhold som kan slippes ut for å unngå tilførsel av næringssalter som kan medføre økt planteproduksjon og algeoppblomstring i sjøen. Mindre skip som ferjer og fjordcruisebåter har normalt enklere kloakkbehandlingssystem.

Gråvann kan behandles spesielt eller knyttes opp mot kloakksystemene om bord. Ballastvann skal håndteres i henhold til ballastvannforskriften som stiller krav til hvordan utskifting og håndtering av ballastvann skal skje. Normalt er det ikke utskifting av ballastvann i norske fjorder.

Bunnstoffer påføres skipsskrog for å hindre begroing slik at skroget holdes så glatt som mulig for å minimere motstand i vann og slik at skipet kan holde ønsket hastighet med minst mulig drivstofforbruk. Det er i dag forbud mot å benytte giftige bunnstoff som kan påvirke marine organismer.

Det stilles krav til utslipp av lensevann, og dette skal ikke inneholde mer enn 15 ppm olje.

## 2.2 Reguleringer og grenseverdier

### 2.2.1 Utslipp til luft

Følgende del inneholder en utfyllende presentasjon av relevante internasjonale konvensjoner og nasjonale lover, forskrifter, retningslinjer og ikke-juridiske grenser relatert til utslipp til luft og sjø fra skipsfart og lokal luftkvalitet.

Utslipp til luft fra skipsfart er regulert gjennom den internasjonale konvensjonen MARPOLs vedlegg VI.[9] Av internasjonale avtaler og regelverk er også EU-direktiv 2005/33/EC[10] som omhandler svovelinnholdet i marint brensel, og Gøteborgprotokollen, som omfatter utslipp av blant annet SO<sub>x</sub> og NO<sub>x</sub>, gjeldende. Kravene til lokal luftkvalitet er nedfelt i forurensningsforskriftens kapittel 7[11], som i hovedsak er i samsvar med EUs luftkvalitetsdirektiv[12]. I tillegg er det utarbeidet en retningslinje (T-1520) som brukes i arealplanlegging og som inneholder sonegrenser for luftforurensning.[13] Det foreligger også luftkvalitetskriterier for en rekke komponenter i luft, utarbeidet av Folkehelseinstituttet.[14] Nettstedet luftkvalitet.info opererer med varslingsklasser for kortere tidsperioder for enkelte komponenter.[15] For de minste partiklene, størrelsesfraksjonene PM<sub>1</sub> og PM<sub>0,1</sub>, foreligger det ikke grenseverdier.

Resultatene fra spredningsberegningene er vurdert opp mot grenseverdiene for tiltak i forurensningsforskriftens kapittel 7, og varslingsklassene gitt som timenivåer.

#### MARPOL vedlegg VI

Den internasjonale konvensjon om hindring av forurensning fra skip (MARPOL) ble implementert av FNs internasjonale sjøfartsorganisasjon IMO i 1973[9], og gjelder som forskrift i Norge (Forskrift om miljømessig sikkerhet for skip og flyttbare innretninger, Klima- og miljødepartementet, 2012)[16]. Utslipp til luft fra skipsfart reguleres av MARPOLs vedlegg VI Hindring av luftforurensning fra skip og flyttbare innretninger. Vedlegg VI ble vedtatt i 1997, og en revisjon ble implementert i 2010.

Konvensjonen inneholder detaljerte bestemmelser om forhold som kontroll av utslipp av NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, partikler, VOC og ozonnedbrytende stoffer, avfallsforbrenning om bord, reparasjoner og kvaliteten på brennolje.

MARPOL definerer spesifikke utslippskontrollområder (ECA-områder, «Emission Control Areas») der det gjelder særlige utslippskrav for SO<sub>x</sub> og NO<sub>x</sub>. ECA-områdene omfatter kysten langs Nord-Amerika, Østersjøen, Den engelske kanal samt deler av Nordsjøen opp til 62 °N.

Kravene som gjelder for utslipp av NO<sub>x</sub> i MARPOL refereres til som Tier I-, Tier II- og Tier III-standarder. Utslippskravene er relatert til maksimalt motorturtall på fartøyene. Kravene i Tier I gjelder for skip bygd etter år 2000, mens de strengere Tier II-grensene gjelder for skip bygd etter 2011. I utslippskontrollsoner gjelder Tier III-krav for skip bygd etter 2016.

#### EU-direktiv 2005/33/EC

EU-direktiv 2005/33/EC, vedtatt i EU i 2012 og innlemmet i EØS-avtalen i 2014, setter krav til svovelinnholdet i drivstoff for skip i EU slik at disse er i samsvar med kravene i MARPOL.[10] Grensen for marint drivstoff som benyttes i EU/EØS-området er i henhold til den globale grensen på 3,5 vektprosent, fra 2020 på 0,5 %. I utslippskontrollområdene er grensen på 0,1 %, gjeldende fra 2015. For maringassolje er grensen på 0,1 % i alle områder. Særsilt for EU gjelder en grense på 0,1 % for skip som ligger til kai eller ved anker i et havneområde, og en grense på 1,5 % for passasjerskip i rute innad i eller til og fra EU/EØS-områder.

#### Gøteborgprotokollen

Gøteborgprotokollen ble vedtatt i 1999, trådte i kraft i 2005 og ble revidert i 2012, og er ratifisert av de fleste landene i Europa, USA og noen asiatiske stater.[17] Protokollen inneholder krav til utslipp av forurensende stoffer som fører til forsuring, overgjødning, ozondannelse og dannelse og partikler, og omfatter dermed SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub> og visse flyktige organiske forbindelser. Landene som har ratifisert protokollen har forpliktet seg til visse prosentvise utslippsreduksjoner av de aktuelle forbindelsene. Norge har forpliktet seg til å redusere utslippene av for eksempel SO<sub>2</sub> og NO<sub>2</sub> med henholdsvis 10 % og 23 % i forhold til basisåret 2005.

#### EUs luftkvalitetsdirektiv

Europaparlaments- og rådsdirektiv 2008/50/EF om luftkvalitet og renere luft for Europa (EUs luftkvalitetsdirektiv) regulerer komponentene SO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>2</sub>, svevestøv (PM<sub>10</sub> og PM<sub>2,5</sub>), bly, benzen, CO og bakkenær ozon, og inneholder bestemmelser om og krav til rapportering av tiltaksplaner, overvåkningsprogram og kvalitetssikring av luftkvalitetsvurderinger.[12] Direktivet ble vedtatt i 2008, og er også innlemmet i den norske forurensningsforskriften. Grenseverdiene gitt i luftkvalitetsdirektivet i Annex XI og XIV er dermed sammenfallende med grenseverdiene for tiltak gitt i forurensningsforskriftens § 7-6. Unntaket er for PM<sub>2,5</sub>, der Norge har innført en strengere grenseverdi: Årsgrenseverdi for PM<sub>2,5</sub> ble i Norge innskjerpet til 15 µg/m<sup>3</sup> gjeldende fra 1. januar 2016, mot luftkvalitetsdirektivets gjeldende årsgrenseverdi på 25 µg/m<sup>3</sup>, som endres til 20 µg/m<sup>3</sup> i 2020.

#### Forurensningsforskriftens kapittel 7

Forskrift om begrensning av forurensning (forurensningsforskriften) kapittel 7. Lokal luftkvalitet[11], med hjemmel i Lov om vern mot forurensninger og om avfall (forurensningsloven)[18], inneholder bestemmelser om ansvarsforhold og utførelse av måleprogrammer, og de juridisk bindende grenseverdiene for utendørs luft. Bestemmelsene i kapittel 7 «har som formål å fremme menneskers helse og trivsel og beskytte vegetasjon og økosystemer ved å sette minstekrav og målsettingsverdier til luftkvalitet og sikre at disse blir overholdt (...)».

Grenseverdiene er maksimumskonsentrasjoner i utendørsluft for gitte midlingstider, eventuelt med antall tillatte overskridelser. Forurensningsforskriftens § 7-6 angir grenseverdier for komponentene SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> og NO<sub>x</sub>, PM<sub>10</sub> og PM<sub>2,5</sub>, bly, benzen og karbonmonoksid (CO), se Tabell 1.

**Tabell 1. Grenseverdier for tiltak for utendørs luft, i henhold til Forskrift om begrensning av forurensning (forurensningsforskriften) § 7-6.[11]**

Komponent	Midlingstid	Grenseverdi	Antall tillatte overskridelser
<b>Svoveldioksid</b>			
1. Timegrenseverdi for beskyttelse av menneskets helse	1 time	350 µg/m <sup>3</sup>	Maks. 24 ganger pr. kalenderår
2. Døgn grenseverdi for beskyttelse av menneskets helse	1 døgn (fast)	125 µg/m <sup>3</sup>	Maksimum 3 ganger pr. kalenderår
3. Grenseverdi for beskyttelse av økosystemet	Kalenderår og i vinterperioden (1/10–31/3)	20 µg/m <sup>3</sup>	
<b>Nitrogendioksid og nitrogenoksider</b>			
1. Timegrenseverdi for beskyttelse av menneskets helse	1 time	200 µg/m <sup>3</sup> NO <sub>2</sub>	Maks. 18 ganger pr. kalenderår
2. Årsgrenseverdi for beskyttelse av menneskets helse	Kalenderår	40 µg/m <sup>3</sup> NO <sub>2</sub>	
3. Grenseverdi for beskyttelse av vegetasjonen	Kalenderår	30 µg/m <sup>3</sup> NO <sub>x</sub>	
<b>Svevestøv PM<sub>10</sub></b>			
1. Døgn grenseverdi for beskyttelse av menneskets helse	1 døgn (fast)	50 µg/m <sup>3</sup>	Maks. 30 ganger pr. kalenderår
2. Årsgrenseverdi for beskyttelse av menneskets helse	Kalenderår	25 µg/m <sup>3</sup>	
<b>Svevestøv PM<sub>2,5</sub></b>			
Årsgrenseverdi for beskyttelse av menneskets helse	Kalenderår	15 µg/m <sup>3</sup>	
<b>Bly</b>			
Årsgrenseverdi for beskyttelse av menneskets helse	Kalenderår	0,5 µg/m <sup>3</sup>	
<b>Benzen</b>			
Årsgrenseverdi for beskyttelse av menneskets helse	Kalenderår	5 µg/m <sup>3</sup>	
<b>Karbonmonoksid</b>			
Grenseverdi for beskyttelse av menneskets helse	Maks. daglig 8-timers gjennomsnitt	10 mg/m <sup>3</sup>	

Forurensningsforskriftens § 7-7 angir også målsetningsverdier for arsen, kadmium, nikkel og benzo(a)pyren (Tabell 2), som skal tilstrebes overholdt «såfremt dette ikke vil innebære uforholdsmessig store omkostninger».

**Tabell 2. Målsetningsverdier for utendørs luft, i henhold til Forskrift om begrensning av forurensning (forurensningsforskriften) § 7-7.[11]**

Komponent	Midlingstid	Målsetningsverdi
Arsen	Kalenderår	6 ng/m <sup>3</sup>
Kadmium	Kalenderår	5 ng/m <sup>3</sup>
Nikkel	Kalenderår	20 ng/m <sup>3</sup>
Benzo(a)pyren	Kalenderår	1 ng/m <sup>3</sup>

### Retningslinje T-1520

Retningslinje for behandling av luftkvalitet i arealplanlegging (T-1520) brukes som en veileder for å vurdere lokal luftkvalitet i byggesaksbehandling og arealplanlegging.[13] Veilederen spesifiserer grenser for gul og rød sone for luftkvalitet basert på nivåer av PM<sub>10</sub> og NO<sub>2</sub> (Tabell 3). Nedre grense for rød sone tilsvarer grenseverdien for NO<sub>2</sub> i henhold til forurensningsforskriftens § 7-6, mens grensen for rød sone for PM<sub>10</sub> gitt i T-1520 tillater færre overskridelser enn den juridiske grenseverdien. I gul sone har personer med alvorlig luftveis- og hjerte-karsykdom økt risiko for

forverring av sykdommen, mens friske personer sannsynligvis ikke vil oppleve helseeffekter. I rød sone har personer med luftveis- og hjertekarsykdom økt risiko for helseeffekter, i hovedsak barn med luftveislidelser og eldre med luftveis- og hjertekarsykdom.

**Tabell 3. Nedre grenser for gul og rød sone for vurdering av lokal luftkvalitet, i henhold til Retningslinje for behandling av luftkvalitet i arealplanlegging (T-1520).[13]**

Komponent	Luftforurensningszone	
	Gul sone	Rød sone
PM <sub>10</sub>	35 µg/m <sup>3</sup> 7 døgn per år	50 µg/m <sup>3</sup> 7 døgn per år
NO <sub>2</sub>	40 µg/m <sup>3</sup> vintermiddel <sup>1</sup>	40 µg/m <sup>3</sup> årsmiddel
Helserisiko	Personer med alvorlig luftveis- og hjertekarsykdom har økt risiko for forverring av sykdommen. Friske personer vil sannsynligvis ikke ha helseeffekter.	Personer med luftveis- og hjertekarsykdom har økt risiko for helseeffekter. Blant disse er barn med luftveislidelser og eldre med luftveis- og hjertekarsykdom mest sårbare.

<sup>1</sup> Vintermiddel ekskluderer verdier fra og med 1. mai til og med 31. oktober

### Luftkvalitetskriteriene

Folkehelseinstituttet har utarbeidet et sett luftkvalitetskriterier, som er satt «så lavt at de aller fleste kan utsettes for disse nivåene uten at det oppstår skadevirkninger på helsa»[14] (Tabell 4). Arbeidet er basert på gjennomgang av litteratur om aktuelle luftforurensende komponenter og skadelige helseeffekter. Forskning på luftforurensning og helse har påvist helseskader ved nivåer lavere enn gjeldende grenseverdier for enkelte komponenter, og er bakgrunnen for at luftkvalitetskriteriene er satt forholdsvis lavt.

**Tabell 4. Luftkvalitetskriteriene, utarbeidet av Folkehelseinstituttet og Miljødirektoratet (2013).[14]**

Komponent	Midlingstid	Luftkvalitetskriterier
PM <sub>10</sub>	Døgn	30 µg/m <sup>3</sup>
PM <sub>10</sub>	År	20 µg/m <sup>3</sup>
PM <sub>2,5</sub>	Døgn	15 µg/m <sup>3</sup>
PM <sub>2,5</sub>	År	8 µg/m <sup>3</sup>
CO	15 min	80 mg/m <sup>3</sup>
CO	Time	25 mg/m <sup>3</sup>
CO	8-timer	10 mg/m <sup>3</sup>
NO <sub>2</sub>	15 min	300 µg/m <sup>3</sup>
NO <sub>2</sub>	Time	100 µg/m <sup>3</sup>
NO <sub>2</sub>	År	40 µg/m <sup>3</sup>
Ozon	Time	100 µg/m <sup>3</sup>
Ozon	8-timer	80 µg/m <sup>3</sup>
SO <sub>2</sub>	15 min	300 µg/m <sup>3</sup>
SO <sub>2</sub>	Døgn	20 µg/m <sup>3</sup>
B[a]P	År	0,1 ng/m <sup>3</sup>
Arsen	År	2 ng/m <sup>3</sup>
Bly	År	0,1 µg/m <sup>3</sup>
Kadmium	År	2,5 ng/m <sup>3</sup>
Krom (Cr VI)	År	0,1 ng/m <sup>3</sup>
Kvikksølv	År	0,2 µg/m <sup>3</sup>
Mangan	År	0,15 µg/m <sup>3</sup>
Nikkel	År	10 ng/m <sup>3</sup>
Vanadium	Døgn	0,2 µg/m <sup>3</sup>

### Varslingsklasser for luftkvalitet

Nettstedet luftkvalitet.info er utviklet og driftes av Norsk institutt for luftforskning (NILU), på vegne av Miljødirektoratet og i samarbeid med Statens vegvesen, kommunene og industrien.[19] På luftkvalitet.info presenteres resultatene av målingene som utføres av luftkvaliteten i Norge, samt annen viktig informasjon om lokal luftkvalitet.

For å kunne gi god og tydelig informasjon om lokal luftkvalitet og varsle om episoder med nivåer av luftforurensning som kan utgjøre en helserisiko, har Folkehelseinstituttet, Vegdirektoratet og Miljødirektoratet utarbeidet nasjonale varslingsklasser, sist revidert i 2015.[15] Varslingsklassene reflekterer den nyeste kunnskapen som foreligger om nedre grenser for helseeffekter. Klassene er gitt som konsentrasjonsintervaller for døgn- eller timesmiddel for komponentene PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> og O<sub>3</sub>, og gitt for fire ulike fargekodede nivåer: lite, moderat, høyt, svært høyt, med tilsvarende kategorier for helserisiko, henholdsvis liten, moderat, betydelig og alvorlig, se Tabell 5.

**Tabell 5. Varslingsklasser for luftkvalitet, utarbeidet av Folkehelseinstituttet, Vegdirektoratet og Miljødirektoratet (2015).[15]**

Varslingsklasser	Forurensningsnivå	Helserisiko	PM <sub>10</sub> Døgn (µg/m <sup>3</sup> )	PM <sub>2,5</sub> Døgn (µg/m <sup>3</sup> )	PM <sub>10</sub> Time* (µg/m <sup>3</sup> )	PM <sub>2,5</sub> Time* (µg/m <sup>3</sup> )	NO <sub>2</sub> Time (µg/m <sup>3</sup> )	SO <sub>2</sub> Time (µg/m <sup>3</sup> )	O <sub>3</sub> Time (µg/m <sup>3</sup> )
	Lite	Liten	< 30	< 15	< 50	< 25	< 100	< 100	< 100
	Moderat	Moderat	30-50	15-25	50-80	25-40	100-200	100-350	100-180
	Høyt	Betydelig	50-150	25-75	80-400	40-150	200-400	350-500	180-240
	Svært høyt	Alvorlig	> 150	> 75	> 400	> 150	> 400	> 500	> 240

\* Timenivåene for PM<sub>10</sub> og PM<sub>2,5</sub> er beregnet fra døgnnivåene, slik at disse samsvarer for norske forhold

### 2.2.2 Utslipp til sjø

Regelverket knyttet til ulike typer utslipp til sjø fra skipsfart er oppført i MARPOLs vedlegg I-V[9], som, i likhet med Vedlegg VI for regulering av utslipp til luft, gjelder som forskrift i Norge. Som for regelverket for utslipp til luft, gjelder egne skjerpede bestemmelser for utslipp til sjø fra fartøy i de definerte utslippskontrollområdene.

MARPOLs Vedlegg I omhandler utslipp og forurensning av olje og oljeholdige forbindelser fra fartøy. Her inngår også kravene til utslipp av oljeholdig lensevann, hvor det er satt en øvre grense på 15 ppm olje i vannet.

Vedlegg II inneholder bestemmelser for håndtering og utslipp av skadelige stoffer i bulk.

Vedlegg III inneholder regler om hindring av forurensning fra skadelige stoffer som transporteres til sjøs i emballert form. Vedlegget regulerer håndtering av skadelige stoffer som transporteres i emballert form om bord på skip, herunder emballering, merking, dokumentasjon, oppbevaring og mengdebegrensninger.

Vedlegg IV inneholder bestemmelser om håndtering, rensing og kloakkanlegg, og tømning av avløpsvann fra skip.

Vedlegg V tar for seg regelverket som omhandler utslipp av ulike typer søppel til sjø og prosedyrer for tømning. Det er forbud mot utslipp av plast. Kun utslipp av matavfall tillates under bestemte betingelser, og ikke-miljøskadelige vaskevann- og lasterester.

Forskrift om hindring av spredning av fremmede organismer via ballastvann og sedimenter fra skip (ballastvannforskriften) inneholder bestemmelser for håndtering av ballastvann i norsk territorialfarvann.[20] Urenset ballastvann skal i all hovedsak kun slippes ut på havdyp over 200 meter minst 200 nautiske mil fra land. Dersom rensing av ballastvann benyttes, gjelder detaljerte bestemmelser for teknologi og utslipp. Ballastvann kan leveres til godkjente mottaksanlegg.



### 3. UTVALGTE FJORDOMRÅDER OG SITUASJON

Norges kyst har et stort antall fjorder, og mange av fjordområdene er svært populære turistmål. Flere fjorder har forholdsvis stor skipstrafikk, både av småbåter, hurtigbåter, ferger, Hurtigruten og store cruiseskip.

Ved en del fjordområder har innbyggerne og turister opplevd perioder med betydelige mengder synlige utslipp særlig fra cruiseskip og med røykskyer som har dekket store deler av områdene. Dette oppleves som visuelt skjemmende, og utløser bekymring for mulige helseskader for mennesker og skadelige effekter på naturen ved fjordene og fjellene.

Fjordene som ble undersøkt nærmere i denne studien, Geirangerfjorden, Aurlandsfjorden inn til Flåm og Nærøyfjorden, ble valgt ut på grunnlag av antall anløp av cruiseskip i løpet av sommersesongen og deres status som verdensarvområder.

Geirangerfjorden er en fjord i Stranda kommune i Møre og Romsdal. Den utgjør den ene av de to innerste, trange armene av Sunnylvsfjorden, som igjen er en av Storfjordens armer. Selve Geirangerfjorden er 15 kilometer lang. Fjorden er omkranset av bratte fjellsider, med høyder opptil 1700 moh. Innerst i Geirangerfjorden i sørøst ligger bygda Geiranger, med et innbyggertall på like i overkant av 200. Det ligger også noen hus på Møllsæter langs Ørnevegen på nordsiden av fjorden. Geirangerfjorden og Geiranger besøkes av et stort antall turister hvert år. Mange ankommer via båt, inkludert bilferger, og i sommersesongen Hurtigruten og cruiseskip.

Lenger sør ligger Aurlandsfjorden, en arm sørøst i Sognefjorden i Sogn og Fjordane. Nærøyfjorden er en sidearm av Aurlandsfjorden sørvest i Aurland kommune. Innerst i Nærøyfjorden i sør ligger det lille tettstedet Gudvangen, mens Nærøy ligger lenger nord i fjorden. I øst fortsetter Aurlandsfjorden til tettstedene Aurlandsvangen i øst og Flåm innerst i fjorden i sør. Fjordene er dype og trange, med bratte fjellsider på alle sider. Stedene er populære turistmål, med betydelig grad av cruiseskiptrafikk.

Både Geirangerfjorden, Aurlandsfjorden og Nærøyfjorden står på UNESCOs verdensarvliste. Vedtaket ble fattet i 2005, med de vakre, unike fjordlandskapene og særegne geologien som grunnelse.

## 4. METODE

Utslipp til luft og sjø fra skipstrafikken og spredningen av luftforurensning i de utvalgte fjordområdene ble undersøkt ved gjennomføring av ulike aktiviteter: en spørreundersøkelse rettet mot skipstrafikk i de tre aktuelle fjordene, videoovervåking av området ved Geirangerfjorden, estimering av utslipp fra all skipsfart, og modellering av spredningen av luftforurensning sluppet ut fra cruiseskip ved alle tre fjordene. Spredningsmodelleringen omfattet meteorologisk WRF-modellering, estimering av utslipp fra cruiseskip ved bruk av AIS-data og IHS Fairplay-databasen, og spredningsberegninger med modellen CALPUFF.

Informasjon fra spørreundersøkelsen ble benyttet til å komplettere og korrigere beregningene av utslipp fra cruiseskip. Utslippsberegningene ble også sjekket ved å sammenholde med bildematerialet fra videoovervåkingen. Resultatene fra den meteorologiske modelleringen og spredningsmodelleringen ble validert og vurdert opp mot målinger av meteorologiske parametere og luftforurensning foretatt i samme periode i Geirangerfjorden.

### 4.1 Spørreundersøkelse: Utslipp til luft og vann fra skipstrafikk

En spørreundersøkelse ble gjennomført rettet mot passasjerskip som opererer i norske fjorder for å kartlegge operasjonsdata og prosedyrer med betydning for utslipp til luft og sjø. Undersøkelsen ble utført av SINTEF MARINTEK som underleverandør til Rambøll som del av prosjektet for kartlegging av utslipp fra cruisetrafikk i norske fjordområder. Oppdraget, hensikt, metodikk og resultater relatert til spørreundersøkelsen er beskrevet i detalj i en separat rapport.[21] En oppsummering av metodikken bak utarbeidelsen, distribusjonen og analysen av spørreskjemaene er oppgitt nedenfor.

Et spørreskjema ble utarbeidet med formål å kartlegge teknisk informasjon om skipene og operasjonsprofil. Den første delen av skjemaet inneholdt generelle spørsmål om fartøyets navn, IMO-registreringsnummer og byggeår. Hoveddelen besto av spørsmål relatert til spesifikasjoner for skipsmaskineri (antall hoved- og hjelpemotorer, kraft, type), drivstoff (type, svovelinnhold), teknologi for utslippsreduksjon ( $\text{NO}_x$ -,  $\text{SO}_x$ - og PM-reduksjonssystemer) og utslipp til sjø (utslipp av kloakk og gråvann, rensesystemer). Det ble også spurt etter operasjonsdata spesifikt for seiling og ligging til havn i Geirangerfjorden.

Skjemaet ble distribuert til alle passasjerskip som besøkte de aktuelle fjordene i løpet av perioden mai-september 2016. Cruiseskip fikk tilsendt web-baserte skjemaer via deres norske agenter, mens Hurtigruten og lokale ferjer og passasjerbåter ble kontaktet direkte. Alle Hurtigrutenfartøyene svarte på undersøkelsen, mens svarprosenten for cruiseskipene og de lokale ferjene var på rundt 50 %. Selv om svarprosenten for cruiseskipene var forholdsvis lav, var alderen på skipene som svarte sammenlignbar med alderen på cruiseskipflåten på verdensbasis. Resultatene fra spørreundersøkelsen vurderes derfor å være representative for cruiseskipene, men noe mer uvisse for de lokale ferjene ettersom det ikke foreligger informasjon om fartøyene som ikke svarte.

Data for tekniske forhold og operasjonsprofil ble gjennomgått og benyttet til justering av inngangsdataene brukt til beregning av utslipp fra cruiseskip, se del 4.4.

### 4.2 Videoovervåking av Geirangerfjorden

Skipstrafikken i Geirangerfjorden ble overvåket ved videoovervåking i deler av cruisesesongen 2016. Et GoPro Hero5 Black-kamera ble montert og installert ved en privat eiendom sør i Geiranger, med utsikt ut over Geirangerfjorden. Kameraet var forhåndsprogrammert til å ta bilder av området hvert 30. minutt. Det ble montert opp 4. august 2016, og tok bilder hvert 30. minutt ut september måned. Professor Jörg Löffler fra Universitetet i Bonn, Tyskland og Katrin Blomvik, daglig leder i Stiftinga Geirangerfjorden Verdsarv, utførte monteringen av kameraet og driftet videoovervåkingen. I etterkant av bildeopptakene ble bildene analysert visuelt, det ble undersøkt

at de ikke inneholdt noen identifiserbar informasjon, og deretter ble det laget en «time-lapse»-video som viser skipsbevegelser og synlige utslipp fra skorsteinene i tidsperioden. Bilder som viste dannelse av betydelige røykskyer ut fra fartøyer ble sortert ut, og tidspunkt og fartøyets identitet ble notert.

Hensikten med videoovervåkingen var å kunne følge skipenes bevegelser over tid, og observere røykskyer sluppet ut fra fartøyene som opererte i Geirangerfjorden visuelt. På denne måten ble det samlet inn bildemateriale over en lengre, sammenhengende tidsperiode i cruiseskipesongen som ga en indikasjon på størrelsen på utslippene og spredningen, og hvorvidt problemet med store, synlige røykskyer skyldtes enkeltfartøyer, værforhold og/eller tilfeldigheter. Videobildene ble også brukt til å verifisere AIS-datamaterialet, og til å vurdere utslippsestimatene og spredningsberegningene. GoPro-bildematerialet ble supplert med bilder fokusert nærmere på fjordområdet tilsendt av Sjøfartsdirektoratet og Stiftinga Geirangerfjorden Verdsarv.

### 4.3 Meteorologisk modellering

#### 4.3.1 Modell-konfigurering

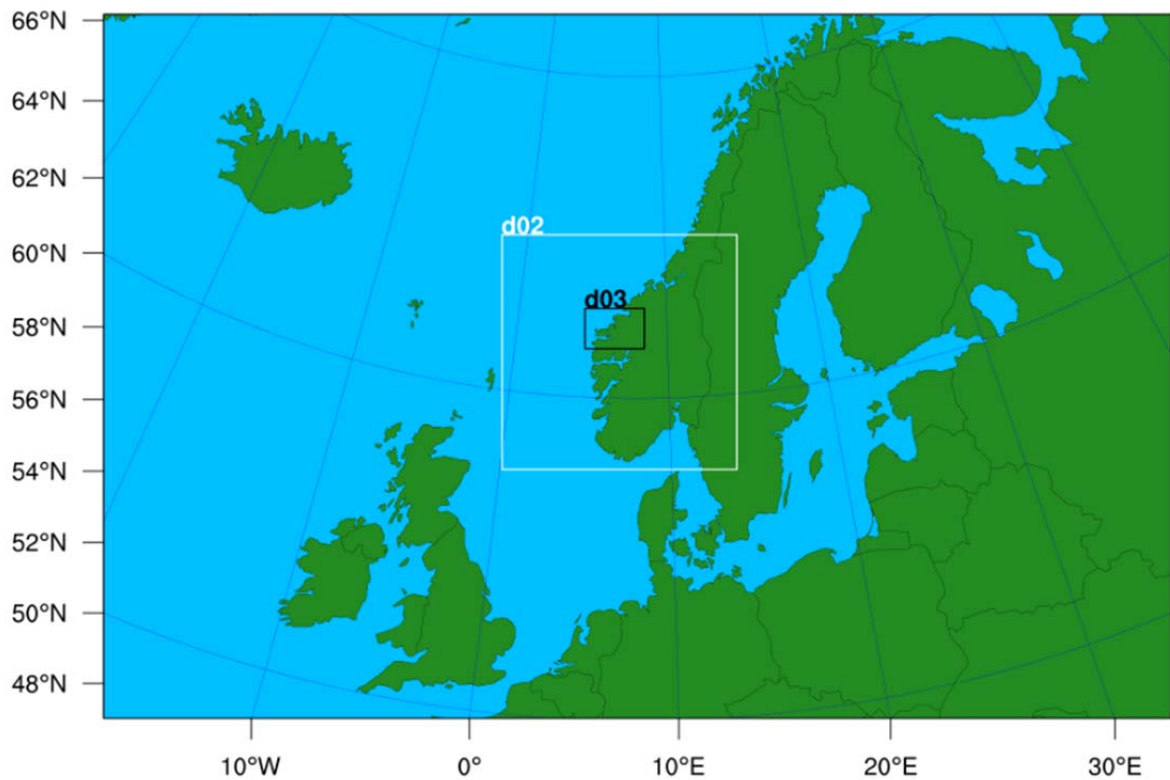
Den meteorologiske modelleringen ble foretatt med «The Weather Research and Forecasting Model» (WRF) med «Advanced Research dynamic solver».[22] WRF er et avansert mesoskala numerisk værprediksjonssystem utviklet for bruk både til operasjonell værvarsling og forskning på atmosfæriske forhold. Systemet inneholder separate moduler som beregner ulike typer fysikalske prosesser som overflateenergi og jordsmonnsinteraksjoner, turbulens, sky-mikrofysikk og atmosfærisk stråling. Brukeren kan velge mellom mange ulike systemer avhengig av type fysikalsk prosess. «WRF Preprocessing System» (WPS) genererer initiale- og grensebetingelser til bruk i WRF, basert på topografiske datasett, informasjon om arealbruk, og atmosfæriske og oseaniske modeller i større skala. I følgende avsnitt presenteres modelloppsettet, inngangsdata og parametere som ble brukt for WRF-simuleringene for de utvalgte norske fjordområdene for sommerseongen 2016.

#### 4.3.2 Valg av modell

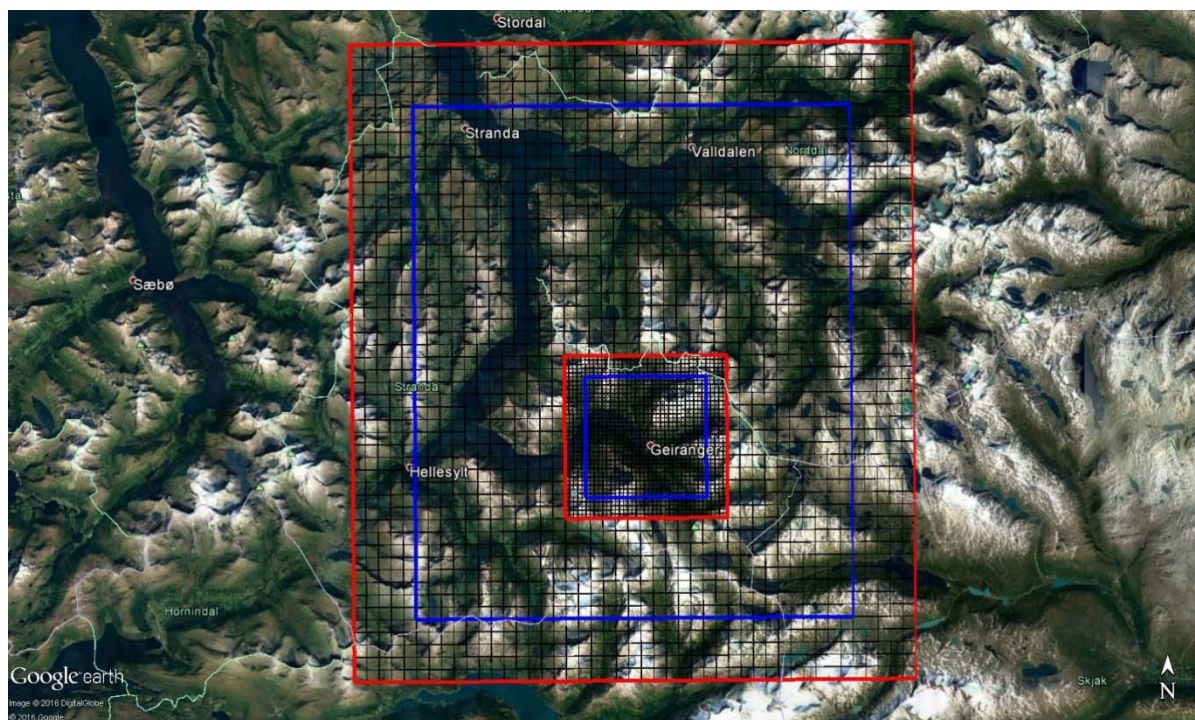
Den offentlig tilgjengelige versjonen av WRF, versjon 3.8.1, ble brukt til den meteorologiske simuleringen. Dette var den nyeste versjonen av WRF som var tilgjengelig på det tidspunktet simuleringen ble utført. WPS versjon 3.8.1 ble også brukt til prosessering av inngangsdataene til modellen.

#### 4.3.3 Konfigurering av horisontalt domene

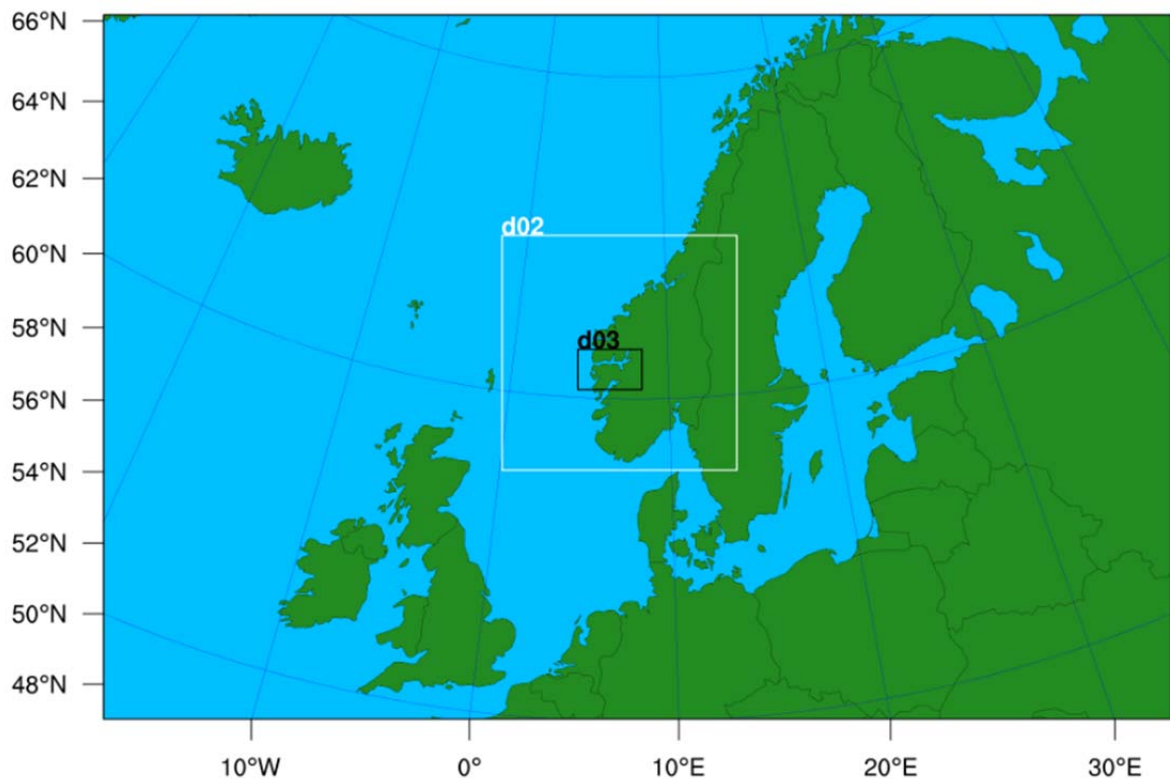
WRF-simuleringen ved de aktuelle norske fjordene består av to sett nestede rutenett som simuleres samtidig, med en indre horisontal oppløsning på 300 meter. Utbredelsen til WRF-rutenettene er skalert ut fra hoved-rutenettene med en faktor på tre. I tillegg består begge rutenettene av fem nestede domener med oppløsning 24,3 km (d01), 8,1 km (d02), 2,7 km (d03), 900 m (d04) og 300 m (d05). De ytterste domenene, d01 og d02, deles av begge rutenettene. De tre innerste domenene er spesifikke for Geirangerfjorden- og Aurlandsfjorden/Nærøyfjorden-rutenettene med 300 m-rutenettet sentrert over de omtrentlige cruiseskip-destinasjonene i fjordene. Figur 2 og Figur 4 viser de tre ytre domenene, d01, d02 og d03, for henholdsvis Geirangerfjorden og Aurlandsfjorden/Nærøyfjorden. De 900 meters og 300 meters domenene, d04 og d05, er lagt opp på terrengkart for hvert sted i henholdsvis Figur 3 og Figur 5. Konfigurasjonen for hvert nestede domene inkluderer en buffer på fem rutenett-celler i all retninger for å unngå numerisk støy langs WRF-domenegrensene, som kan påvirke de meteorologiske inngangsdataene til luftkvalitetsmodellen. Slik numerisk støy kan forekomme nær grensene til WRF-domeneløsningen når grensebetingelsene kommer i balanse med de numeriske algoritmene i WRF. Rutenettene ble definert på en «Lambert Conformal Conic» (LCC)-projeksjon sentrert ved 61°N, 8°Ø, med faktiske breddegrader 50°N og 70°N.



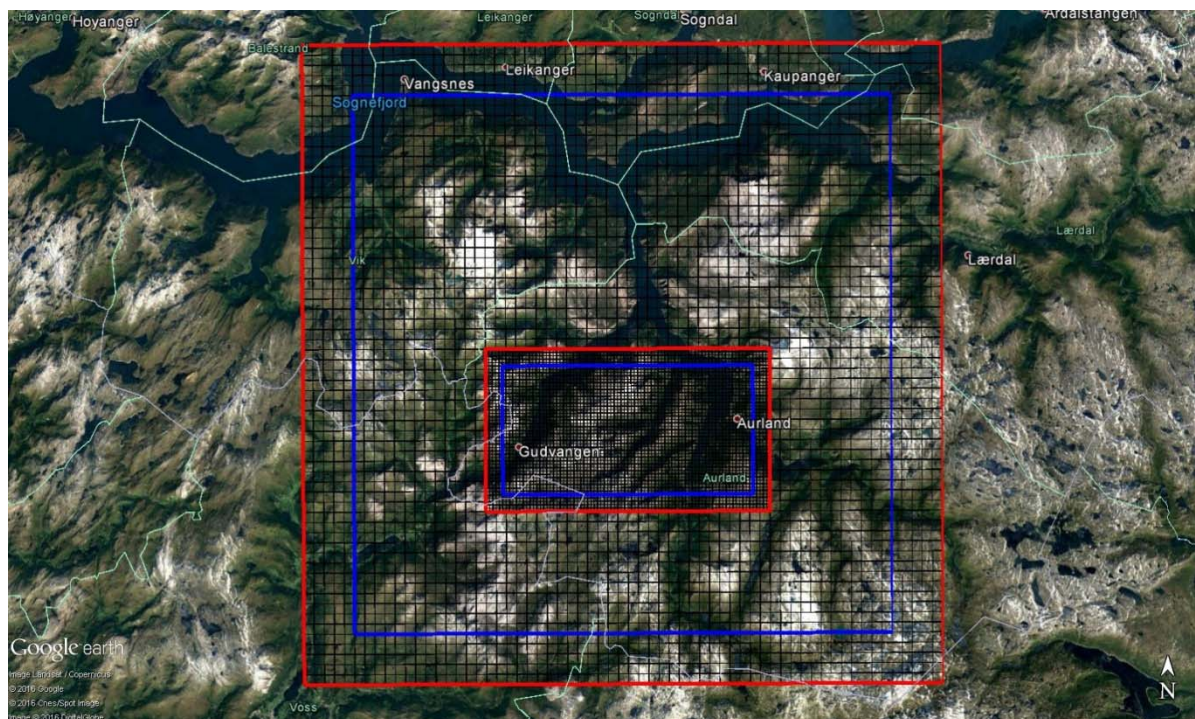
Figur 2. WRF-modelleringsdomenene med 24,3 km (d01, ytterkanten på bildet), 8,1 km (d02) og end 2,7 km (d03) oppløsning, for Geirangerfjord-rutenettet.



Figur 3. WRF-modelleringsdomenene med 900m og 300m oppløsning (henholdsvis ytterste og innerste firkant), for Geirangerfjord-rutenettet. Rød firkant markerer det fulle WRF-domenet, mens blå firkant markerer det faktisk benyttede beregningsområdet.



Figur 4. WRF-modelleringsdomenene med 24,3 km (d01, ytterkanten på bildet), 8,1 km (d02) og and 2,7 km (d03) oppløsning, for Nærøyfjorden/Aurlandsfjorden-rutenettet.



Figur 5. WRF-modelleringsdomenene med 900m og 300m oppløsning (henholdsvis ytterste og innerste firkant), for Nærøyfjorden/Aurlandsfjorden-rutenettet. Rød firkant markerer det fulle WRF-domenet, mens blå firkant markerer det faktisk benyttede beregningsområdet.

#### 4.3.4 Definerings av vertikalt domene

WRF-modelleringen ble basert på 33 vertikale lag med et overflatelag med omtrent 40 meters dybde. Det vertikale domenet, presentert både som sigma (vertikale koordinater i WRF; betegner en andel av trykkforskjellen mellom planetens overflate og toppen på modellen) og som omtrentlige høydekoordinater, er vist i Tabell V2-1 i Vedlegg 2.

#### 4.3.5 Topografisk grunnlagsmateriale

Informasjon om topografi til WRF-modellen ble hentet ut ved bruk av standard WRF-terrengdatabaser. De tre innerste domenene ble basert på de nyeste «Global 30 Arc-Second Elevation» (GTOPO30)-data[23], som er 30-sekunders (omtrent 900-meters) data. WPS foretar numerisk utjevning av de topografiske inngangsdataene for å oppnå numerisk stabilitet. Det ble forsøkt å bruke høyoppløselige (omtrent 30-meters) høydedata fra ASTER-satellitten, men dette forårsaket for mye numerisk ustabilitet i WRF-kjøringene på grunn av det ekstreme terrenget i fjordområdene. Selv om oppløsningen på terreng-inngangsdataene er grovere enn oppløsningen på rutenettet på 300 meter, er fjordområdene likevel tilstrekkelig representert i modellen, som vist i Figur V5-1 og V5-2 i Vedlegg 5.

#### 4.3.6 Vegetasjonstype- og arealdekkkart

Kartdata for vegetasjonstyper og arealdekke ble ekstrahert fra «United States Geological Survey» (USGS) databaser for arealdekke fra de nyeste WRF-databasene som kommer med WRF-inndeling. Domenene på 24,3 km og 8,1 km var basert på 2-minutts globale data, mens de mer høyoppløselige domenene var basert på 30-sekunders data.

#### 4.3.7 Atmosfæriske forhold

WRF er avhengig av resultater fra andre modeller eller re-analyser for informasjon om initiale- og grensebetingelser. Det første anslaget tas fra «European Centre for Medium Range Weather Forecasts» (ECMWF) arkiver for «Interim re-analysis» (ERA-Interim).[24]

#### 4.3.8 Tidsintegrasjon

Tredjegrads Ruge-Kutta-integrasjon ble benyttet.

#### 4.3.9 Valg for diffusjon

Horisontal Smagorinsky førsteordens avslutning med sjetteordens numerisk diffusjon og undertrykket oppjustert diffusjon ble brukt.

#### 4.3.10 Vanntemperatur

Data for vanntemperatur ble hentet ut fra «Group for High Resolution Sea Surface Temperature» (GHRSSST)[25], som har en horisontal oppløsning på 1 km.

#### 4.3.11 Datatilpasning

Objektiv-analyseprogrammet OBSGRID ble kjørt for å kunne inkorporere data fra observasjonsarkivet «Meteorological Assimilation Data Ingest System» (MADIS)[26], inkludert MADIS-metar, -sao og maritime observasjoner. Disse dataene inkorporeres deretter i ERA-grensebetingelsene og brukes inn i WRF-datatilpasningen. Spesifikt ble WRF-modellen kjørt med «analysis nudging», dvs. «Four Dimensional Data Assimilation» (FDDA), for domenene på 24,3 km og 8,1 km. På begge domenene ble «analysis nudging»-koeffisienter på  $3 \times 10^{-4}$  brukt for vind og temperatur, og tilsvarende for blandings-ratio koeffisienter på  $1,0 \times 10^{-4}$ . «Analysis nudging» for vind, temperatur og blandingsratio ble benyttet over det planetariske grenseskiktet. Det finnes ikke nok observasjoner innenfor hvert domene til å benytte «analysis nudging» på domenene med oppløsning på 2,7 km og finere.

#### 4.3.12 Fysikk

Valgene relatert til fysikk som ble foretatt i denne anvendelsen er presentert i Tabell V2-2 i Vedlegg 2. Ulike cumulus-parameteroppsett ble brukt for de to fjorddomenene for å unngå WRF-modellfeil forårsaket av vertikal ustabilitet i Nærøyfjorden-domenet.

#### 4.3.13 Anvendelse

WRF-modelleringen ble utført i 5,5 døgn lange bolker som ble startet opp ved 12.00 UTC (universaltid) hver femte dag. Modellresultatene var utgangsdata hvert 60. minutt, og utgangsfilene ble delt opp i 12-timers intervaller. Tolv timers «spin-up» ble inkludert i hver 5-døgns bolk før dataene ble benyttet i den etterfølgende evalueringen.

#### 4.3.14 Validering av WRF-modellen

WRF-simuleringene for de utvalgte fjordområdene for sommersesongen 2016 ble validert ved hjelp av kvantitative og kvalitative metoder. Oppsummert ble den kvantitative evalueringen foretatt ved sammenligning av prediksjonene fra WRF-simuleringene med observerte meteorologiske data fra relevante værstasjoner. På grunn av mangel på meteorologiske stasjoner som måler vindforhold ved de aktuelle fjordene ble det utført en kvalitativ analyse av den modellerte vinden ved å tolke resultatene sett opp mot terrenget i området.

Metodologien og resultatene for evalueringen av WRF-modellytelsen er beskrevet i detalj i Vedlegg 3.

### 4.4 Estimering av utslipp til luft

Totale utslipp til luft ble estimert for alle fartøy som besøkte verdensarvfjordene i løpet av sommermånedene juni, juli og august 2016. Cruiseskip og passasjerskip omfattet i denne studien fartøy som er registrert utelukkende som cruise- eller passasjerskip i internasjonale skipsdatabaser, mens resterende fartøy inkludert skip som er registrert som kombinasjonstype som for eksempel passasjer-/RoRo-skip omtales som andre fartøy. Lokale ferjer og Hurtigruten er registrert som kombinasjonstyper, og inngår derfor i kategorien andre fartøy.

For cruiseskip og passasjerskip ble utslipp av komponentene  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{PM}_{10}$  og  $\text{PM}_{2,5}$  beregnet ved bruk av skipsidentifiseringsdata og informasjon om hvert skip tilgjengelig i skipsdatabaser.  $\text{NO}_x$ -utslipp fra andre fartøy ble beregnet ved bruk av tilgjengelige utslippsfaktorer for  $\text{NO}_x$  og skipsdata fra spørreundersøkelsen rettet mot skip i de aktuelle områdene. Utslipp av  $\text{NO}_x$ ,  $\text{PM}_{10}$  og  $\text{PM}_{2,5}$  fra trafikk på land i verdensarvområdene ble beregnet på bakgrunn av trafikktall og utslippsfaktorer for utslipp fra veitrafikk.

#### 4.4.1 $\text{NO}_x$ -utslipp fra andre fartøy

$\text{NO}_x$  utgjør de dominerende utslippene til luft fra skipsfart. Utslipp av  $\text{NO}_x$  til luft fra andre fartøy som lokale ferjer og Hurtigruten som besøkte verdensarvområdene Geirangerfjorden, Aurlandsfjorden og Nærøyfjorden fra og med 1. juni til og med 31. august 2016 ble beregnet med grunnlag i data fra spørreundersøkelsen omtalt i avsnitt 4.1 og etablerte utslippsfaktorer.

Skip som besøker Geirangerfjorden, Aurlandsfjorden og Nærøyfjorden i sommersesongen inkluderer lokale ferjer og fjordcruise, og i Geirangerfjorden Hurtigruten. Disse fartøyene ble i spørreskjemaet bedt om å anslå drivstofforbruk for hver rundtur. For Hurtigruten ble drivstofforbruk innenfor sonen innerst i Geirangerfjorden estimert. Antall turer i områdene ble avlest fra rutetabeller. Totale utslipp av  $\text{NO}_x$  ved ferdsel i verdensarvfjordene i løpet av perioden juni-august 2016 ble beregnet basert på disse dataene og utslippsfaktorer for  $\text{NO}_x$  hentet fra EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook[27]. For Hurtigruten ble gjennomsnittlig  $\text{NO}_x$ -utslippsfaktor beregnet basert på innsamlede data om antall motorer, årsmoell, effekt og turtall fra spørreundersøkelsen, se grunnlagsdata og beregning i Tabell V4-1.

#### 4.4.2 Utslipp til luft fra cruise- og passasjerskip

AIS-data ble bestilt og tilsendt fra Kystverkets nettverk AIS Norge[28]. Datasettet inneholdt fartøysidentifikasjon i form av IMO- og MMSI-nummer, posisjon, kurs og hastighet med høy oppløsning. Programmeringsspråket Python ble brukt til å prosessere den store datamengden. Datamengden ble redusert til kun å inneholde bevegelser innenfor de definerte beregningsområdene. Beregningsområdene for estimering av utslipp fra cruiseskip ved hjelp av AIS-data er de samme som beskrevet i delen om meteorologisk modellering.

For å beregne utslipp trengtes også fartøyskarakteristikker som fartøystype, byggeår, bruttotonnasje, fremdriftsmotorkraft, maskintype, motorturtall og hastighet. Denne informasjonen ble innhentet ved å sammenstille MMSI- og IMO-numrene fra AIS-dataene med IHS Fairplay-registerdata[29]. Disse dataene, sammen med data fra spørreundersøkelsen foretatt av SINTEF, kunne brukes som grunnlag for å estimere utslippene fra cruiseskiptrafikken innenfor beregningsområdene for månedene juni-august 2016.

Analysen av dataene inkluderte pre-prosessering, bestemmelse av reiser, bestemmelse av inn- og utseiling, aktivitetsberegning og utslippsberegning.

##### Pre-prosessering av data

AIS-dataene mottatt fra Kystverket inneholdt 402,7 millioner registreringer av skipsbevegelser for perioden 1. juni til 31. august 2016 som dekket beregningsområdene for de to fjordområdene. Først ble dataene kombinert med Fairplay-registerdata for å kunne inkludere nødvendige fartøyskarakteristikker. Fartøy identifisert som «cruiseskip» eller «passasjerskip» i Fairplay-databasen ble beholdt i datasettet.

##### Bestemmelse av reiser

Individuelle fartøysreiser som omfattet beregningsområdene ble bestemt for å kunne beregne fartsprofiler basert på dataene for lokasjon og tidspunkt. I denne sammenhengen defineres en «reise» som et individuelt fartøys sammenhengende sett punkter som reiser innenfor beregningsområdene. Dataregistreringer utenfor beregningsområdene ble fjernet fra datasettet. Reiser som besto av 10 registreringer eller mindre (vanligvis mindre enn en time i beregningsområdet) ble utelatt og antatt ukomplette.

##### Aktivitetsanalyser

Aktiviteten, i kWt, ble bestemt mellom hver dataregistrering for en reise for bruk sammen med utslippsfaktorer. Gjennomfarts-varigheten fra punkt til punkt ble beregnet ved bruk av forskjellen i tidsangivelsen mellom hver registrering for en reise. Motorenergi ble beregnet for fremdriftsmotorer, hjelpemotorer og dampkjeler ved å multiplisere belastning (i kW) med tid for hver sekvens. Detaljer rundt disse beregningene er beskrevet i følgende avsnitt.

##### *Fremdriftsmotorer*

Aktiviteten til fremdriftsmotorer ble beregnet på grunnlag av total hovedmotorkraft og belastningsfaktor. Hovedmotorkraft var rapportert for nesten alle fartøy i Fairplay-databasen. For fartøy som manglet informasjon om hovedmotorkraft (i 0,3 % av tilfellene), ble estimerer basert på type fartøy fra «United States Environmental Protection Agency» (US EPA)s Current Methodologies in Preparing Mobile Source Port-Related Emission Inventories (EPA CMEI)[30] benyttet, se Tabell V4-2 i Vedlegg 4.

Belastningsfaktoren assosiert med motorene ble beregnet ved bruk av propelloven:

$$\text{Belastningsfaktor} = \left( \frac{\text{Faktisk hastighet}}{\text{Maksimumshastighet}} \right)^3$$



Den faktiske hastigheten fås fra AIS-dataene. Marsjfarten, den hastigheten et skip holder over lange avstander, rapporteres i Fairplay-databasen, og regnes for å utgjøre 94 % av maksimumshastigheten.[30] Beregning tilbake til maksimumshastighet gir belastningsfaktor for hver registrering, og ved å multiplisere fremdriftskraften med belastningsfaktoren fås et grovt estimat på aktiviteten. Tilleggsjusteringer på grunn av lavere motoreffektivitet ved liten last foretas på grunnlag av forurensende komponent, som forklart nærmere i delen om utslipp.

#### *Hjelpemotorer og dampkjeler*

Hjelpemotor- og dampkjeelekraft rapportert i Fairplay-databasen er ofte ufullstendig og, i noen tilfeller, feilaktig. Spørreskjemaundersøkelsen utført av SINTEF ga noen indikasjoner på hjelpemotorkraft, men disse dataene varierte fra 450 kW til mer enn 75 000 kW. Dette skyldes at det er store forskjeller på skipsstørrelse og at enkelte skip med dieselelektrisk propulsjonssystem definerer alle motorer som hjelpemotorer. For å få mer fullstendige data for motorkraft for AIS-registreringene, ble tall for belastningsfaktorer for hjelpemaskiner og motorbelastning for dampkjeler tatt fra EPA CMEI, se henholdsvis Tabell V4-3 og V4-4 i Vedlegg 4. Standard belastningsfaktorer for hjelpemotorer er klassifisert etter hastighet: marsjhastighet (> 12 knop), sone for redusert hastighet (> 9 knop og < 12 knop) eller manøvrering (> 1 knop og < 9 knop). Standard energiforbruksrater for dampkjeler rapportert i EPA CMEI ble utledet fra energiforbruksdata, og motorbelastningen ble dermed bestemt uten bruk av belastningsfaktorer. Aktiviteten fra dampkjeler ble kun beregnet for fartøy under manøvrering og hotellmodus ettersom det ikke antas at dampkjeler er i bruk når fremdriftsmotorene genererer nok varme (for eksempel under marsjhastighet og soner for redusert hastighet). Dampkjeebelastningen er den samme for ligge i havn- og manøvreringsmodus.

#### Utslipp

Utslipp assosiert med ferdselen mellom etterfølgende registreringer i en reise ble bestemt ved bruk av aktiviteten beregnet som forklart i tidligere avsnitt, og utslippsfaktorer med enhet i g/kWt. Utslippsfaktorer ble valgt på grunnlag av motorhastighet, drivstoff, svovelinhold i drivstoffet (0,25 % svovel basert på gjennomsnittlig tur-vektet drivstofforbruk fra spørreundersøkelsesdata), og belastning på fremdriftsmotor. Pre-kontrollerte utslippsfaktorer for de ulike motortypene er vist i Tabell V4-5 i Vedlegg 4.

Motorhastighet, i omdreininger per minutt (rpm), ble i hovedsak hentet ut fra Fairplay-databasen. Registreringene ble definert som sakte (< 130 rpm), medium (130-1400 rpm) eller høye (> 1400 rpm) basert på rapportert motorhastighet. Mangler i Fairplay-registeret ble dekket på grunnlag av type motor: For totaktsmotorer ble det antatt lav hastighet, og for firetaktsmotorer ble medium hastighet valgt ettersom dette er mest utbredt i hovedmotorene i de fleste skip. For resten av registreringene som manglet enten motorhastighet eller arbeidstakt i Fairplay-databasen ble den hyppigst registrerte hastigheten fylt inn (talt som motorhastighet i henhold til antall reiser, ikke antall registreringer), altså medium hastighet.

Når en beregnet belastningsfaktor er på under 20 %, reduseres skipets motoreffekt og utslippsraten justeres oppover. For å korrigere for denne reduserte effekten, ble registreringer med slike lave belastninger multiplisert med justeringsfaktorer, se Tabell V4-6 i Vedlegg 4.

Utslippene for ferdsel fra ett punkt til det neste innenfor en reise ble estimert ved å multiplisere aktivitetsdata utledet fra registreringene i Fairplay-databasen og utslippsfaktorene. De resulterende utslippssegmentene for hver reise, for hver type fartøy, ble aggregert inn i et 100-meters rutenett lagt over beregningsområdet for å få de totale utslippene for hver rutenett-celle.

#### 4.4.3 Utslipp til luft fra veitrafikk

Utslipp til luft fra kjøretøytrafikken ved veiene i de aktuelle fjordområdene ble beregnet for å undersøke det relative bidraget fra veitrafikken sett opp mot utslippene fra skipsfarten. Beregninger av utslipp av PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub> og NO<sub>x</sub> til luft fra eksos og utslipp av PM<sub>10</sub> fra slitasje av dekk,

bremseklosser og asfalt fra veiene i områdene ble foretatt. Utslipp av SO<sub>2</sub> fra veitrafikk er omtrent lik null.

Trafikktall for hovedveiene i området det foreligger tall for ble hentet ut fra Statens vegvesens Nasjonal vegdatabank (NVDB)[31]. Tilgjengelige sesongjusterte trafikktall ble tilsendt fra Statens vegvesen. Utslipp av PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub> og NO<sub>x</sub> i eksos fra kjøretøy fra forbrenning av fossilt brennstoff er beregnet på bakgrunn av utslippsfaktorer hentet ut fra The Handbook Emission Factors for Road Transport[32]. Utslippsfaktorer for 2015 ble benyttet. For utslipp av svevestøv fra slitasje av dekk og bremseklosser, og asfalt, ble utslippsfaktorer hentet fra The Norwegian Emission Inventory 2016[33] og EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016[34], se Tabell V4-7 i Vedlegg 4. Veistrekningene som inngikk i beregningene er oppført i Tabell V4-8 i Vedlegg 4.

#### 4.5 Spredningsmodellering

For å kunne vurdere lokal luftkvalitet ved verdensarvområdene Geirangerfjorden, Aurlandsfjorden og Nærøyfjorden ble spredningen av NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub> og PM<sub>2,5</sub> sluppet ut fra cruise- og passasjer-skiptrafikk i perioden juni-august 2016 beregnet i henhold til gjeldende regelverk.

##### 4.5.1 CALPUFF-systemet

Spredningsberegningene ble utført med spredningsmodellen CALPUFF, en ikke-steady state lag-ransk puff-modell[35]. CALPUFF-modelleringsystemet kan ta hensyn til sekundær aerosoldannelse, deponering av gasser og partikler, våt- og tørravsetningsprosesser, komplekse tredimensjonale vindforhold og luftfuktighet. Beregningene ble foretatt for rutenettinndelte reseptorpunkter i de tre fjordområdene. Terrengkart brukt i CALPUFF for de to beregningsområdene (Geirangerfjorden og Aurlandsfjorden/Nærøyfjorden) er vist i henholdsvis Figur V5-1 og V5-2 i Vedlegg 5. Ettersom avstanden mellom kildereseptorpunktene var relativt kort ble påvirkning av sekundær aerosoldannelse ikke inkludert. I modelleringen ble USEPAs nyeste standardversjon av CALPUFF, versjon 5.8.4 (utgitt 14. desember 2015), benyttet, i kombinasjon med CALPOST versjon 6.221, nivå 080724 for post-prosessering, og USEPAs «Mesoscale Model Interface Program» (MMIF) versjon 3.3[36] for konvertering av WRF-modelleringsresultatene til et format som kan importeres inn i CALPUFF.

De beregnede utslippene basert på AIS-data ble summert på timesbasis innenfor hver rutenettcelle med 100 meters oppløsning som dekket selve fjordene. Utslippene ble modellert som tidsvarierende punktkilder. Prosesseringen av AIS-dataene resulterte i en celle-for-celle og time-for-time utslippsfil (PTEMARB.DAT) som ble utarbeidet i samsvar med formatet som kreves for bruk i CALPUFF. Hver celle fungerte som en individuell kilde og ble modellert ut fra sentrum. På timesbasis, ble rutenettceller som ikke hadde noen AIS-rapporterte fartøy gitt en utslippsratio på null. Parametere for skipenes skorsteiner (høyde og diameter og utslippstemperatur og -hastighet) ble bestemt ved å relatere fartøyenes identifikasjonsnummer i AIS til fartøysparameterne i Fairplay-databasen. Fartøy som ikke ble funnet i databasen ble kryssreferert med data fra SINTEFs spørreundersøkelse. Når skorsteinshøydene hadde blitt bestemt, ble gjennomsnittlig høyde for fjordene beregnet og brukt. Det var nødvendig å bruke gjennomsnittet ettersom utslippene ble summert for hver rutenettcelle, og hver celle kunne inneholde flere enn ett fartøy. Skorsteinsparameterne brukt i analysen er oppført i Tabell V5-1 i Vedlegg 5.

##### 4.5.2 Post-prosessering

Modelleringsresultatene ble prosessert ved bruk av CALUTIL og CALPOST. Disse verktøyene muliggjorde beregninger og ekstraksjon av konsentrasjonsmål som var sammenlignbare med gjeldende grenseverdier. Rutenettinndelte og diskrete reseptorer ble benyttet i CALPUFFs beregningsområde. De rutenettinndelte reseptorene ble vurdert ved 100-meters intervaller, mens de diskrete reseptorene ble brukt ved utvalgte plasseringer enten for å sammenligne med tilgjengelige måleresultater eller for å vurdere påvirkning ved spesifikke sensitive steder (bebodde områ-

der). Bildene fra GoPro-kameraet som ble montert ved Geirangerfjorden i deler av cruisesesongen ble også brukt til å verifisere identiteten til og utslippene fra cruiseskipene.

#### 4.5.3 Konvertering av beregnede resultater for $\text{NO}_x$ til konsentrasjoner av $\text{NO}_2$

Utslippsfaktorer foreligger for  $\text{NO}_x$  samlet, og konsentrasjoner som beregnes av CALPUFF er derfor for  $\text{NO}_x$ . Grenseverdier gjelder imidlertid for  $\text{NO}_2$ , og de beregnede konsentrasjonene av  $\text{NO}_x$  må derfor omregnes til  $\text{NO}_2$ -konsentrasjoner for å kunne relatere spredningskartene til grenseverdier.

I CALPUFF brukes «Ambient Ratio Method» versjon 2 (ARM2)[37], som er metoden som er anbefalt av USEPA for  $\text{NO}_x$ - $\text{NO}_2$ -konvertering for timesgjennomsnittsdata. Metoden ble utviklet basert på måledata for  $\text{NO}_x$  og  $\text{NO}_2$  foretatt med en times oppløsning over en periode på ti år fra over 580 målestasjoner. En polynomisk ligning ble tilpasset etter den øvre delen av en graf over forholdet mellom målt  $\text{NO}_2/\text{NO}_x$ -ratio og  $\text{NO}_x$ -konsentrasjoner i ppb:

$$\begin{aligned} \text{NO}_2 = & -5,176 \times 10^{-16}\text{NO}_x^6 + 1,005 \times 10^{-12}\text{NO}_x^5 - 7,288 \times 10^{-10}\text{NO}_x^4 + 2,296 \times 10^{-07}\text{NO}_x^3 \\ & - 1,981 \times 10^{-05}\text{NO}_x^2 - 5,148 \times 10^{-03}\text{NO}_x + 1,244 \times 10^{+00} \end{aligned}$$

Andelen  $\text{NO}_2$  reduseres dermed med økende konsentrasjon av  $\text{NO}_x$  i luft. USEPA anbefaler en maksimum  $\text{NO}_2/\text{NO}_x$ -ratio på 0,9 og en minimumsratio på 0,2.

## 5. RESULTATER

I det følgende er resultatene fra de ulike aktivitetene knyttet til kartleggingen av utslipp til luft og sjø fra skipstrafikk ved verdensarvfjordene Geirangerfjorden, Aurlandsfjorden og Nærøyfjorden for sommeren 2016 presentert. Beregninger av utslipp fra alle fartøy og veitrafikk på land, modellering av spredning av utslipp fra cruise- og passasjerskip ved verdensarvområdene (juni-august), spørreundersøkelsen rettet mot skipstrafikken ved de tre fjordene (mai-september) og videoovervåking ved Geirangerfjorden (starten av august til ut september måned) ble utført i forbindelse med oppdraget fra Sjøfartsdirektoratet. Deler av resultatene fra kartleggingen ble validert og/eller vurdert opp mot pågående målinger av meteorologi og luftforurensning i Geirangerfjorden.

### 5.1 Spørreundersøkelse: Utslipp til luft og sjø fra skipstrafikk

Det følgende avsnittet oppsummerer hovedfunnene fra spørreundersøkelsen som ble sendt ut til passasjerskip som besøkte de tre fjordene sommersesongen 2016. En detaljert presentasjon av resultater fra spørreundersøkelsen foreligger i egen rapport.[21]

Totalt 72 unike cruiseskip, 11 hurtigruteskip og 13 lokale skip (ferjer e.l.) ble registrert i Geirangerfjorden, Aurlandsfjorden og Nærøyfjorden i løpet av perioden fra og med 1. mai til og med 30. september 2016. Alle hurtigruteskipene leverte inn svar, mens svarprosenten var i overkant av 50 % for cruiseskipene og de lokale passasjerskipene. Selv om svarprosenten for cruiseskipene og lokale skip var forholdsvis lav, er de innrapporterte dataene for cruiseskipene vurdert å være tilstrekkelig representative på bakgrunn av aldersfordelingen av skipene. Andelen av utslippene til luft som de lokale ferjene står for kunne estimeres med høy grad av nøyaktighet for fartøyene som svarte på undersøkelsen, mens estimatene for skipene som ikke svarte er forbundet med noe usikkerhet.

#### 5.1.1 Cruiseskip

Skipenes alder har stor betydning for utslipp til luft ettersom kravene til skipsmaskineri og rensesystemer er avhengig av byggeår. Ca. 60 % av skipene som svarte på spørreundersøkelsen ble bygget før år 2000, og er derfor ikke pålagt å følge Tier I-kravene. Til sammenligning var ca. 50 % av alle besøkende cruiseskip i 2016 skip bygget før år 2000. Skipsmaskineriets ytelse, både hoved- og hjelpemotorer, økte generelt sett proporsjonalt med skipenes tonnasje og passasjerkapasitet. De fleste skipene har fire eller flere hovedmotorer og hjelpemotorer. Drivstoff som brukes er for det meste destillat (marin gassolje), mens 12 % bruker tungolje.

Spørreundersøkelsen tydeliggjorde at de aller fleste skipene benytter bunkersolje med mindre enn 0,10 % svovel når skipet ligger til kai eller anker. Benyttes bunkers med høyere svovelinnhold, er det installert scrubbersystem om bord. NO<sub>x</sub>-utslippsnivå (Tier I, II, III) er knyttet til skipenes alder (byggeår). 20-25 % av skipene oppgir at de har NO<sub>x</sub>-reduksjonsteknologi installert. Dette kan være SCR-anlegg, EGR-system eller annet NO<sub>x</sub>-reduserende tiltak.

SCR-system vil redusere NO<sub>x</sub>-utslippsfaktor med i størrelsesorden 85-90 % slik at motorene tilfredsstiller IMO Tier III-krav, og 9-12 % av skipene hadde slike systemer på henholdsvis hoved- og hjelpemotorer. EGR-systemer har mindre NO<sub>x</sub>-reduserende effekt, men med slike systemer oppnås IMO Tier II-krav, og 9 % av skipene opplyste at de hadde slike systemer for både hoved- og hjelpemotorene. I tillegg hadde 3-6 % gjennomført andre NO<sub>x</sub>-reduserende tiltak for henholdsvis hoved- og hjelpemotorene om bord.

Den siste delen av spørreskjemaet spurte etter operasjonsprofil for besøk i de aktuelle fjordene. Ved ferdsel i den innerste delen av fjorden inn mot Geiranger (sone 4 i spørreskjemaet) var gjennomsnittsfarten på 10 knop. De fleste skipene lå i havn mellom fire og ti timer. Gjennomsnittlige ytelse på fremdrifts- og hjelpemotorer ved ferdsel innenfor sone 4 var på henholdsvis 8611 kW og 5594 kW. Hastighet og motorytelse ved Aurlandsfjorden/Nærøyfjorden var omtrent

tilsvarende som for Geirangerfjorden. Særlig for Nærøyfjorden var det forholdsvis lite innrapporterte data, ettersom det er vesentlig mindre skipstrafikk her sammenlignet med de andre verdensarvfjordene.

Lavere fart medfører lavere ytelsesbehov som dermed bidrar til lavere drivstofforbruk. På den annen side vil spesifikt drivstofforbruk for motorene øke ved lav last, det samme gjelder også spesifikke utslipp til av NO<sub>x</sub>, PM og sot. Seilingstiden vil også øke. Som et eksempel vil reduksjon av hastigheten fra 10 til 5 knop sannsynligvis bidra til reduserte totale utslipp, men netto gevinst er det ikke mulig å anslå uten detaljerte data for skip og maskineri om bord. For å få et riktig bilde anbefales at det gjennomføres analyser basert på data for "off-design"-operasjon for skip og maskineri.

#### Utslipp til sjø

Utslipp til sjø ble også kartlagt i spørreundersøkelsen. Aktuelle utslipp er rensset, behandlet og ubehandlet kloakk, gråvann og utslipp i forbindelse med scrubbersystem om bord. Alle cruiseskipene som svarte oppgir at de har rensesystemer for kloakk spesifisert i henhold til ulike IMO-krav som har vært gjeldende.

Over 90 % oppgir at de ikke har utslipp av behandlet eller ubehandlet kloakk og 94 % at de ikke har utslipp av gråvann når de opererer i de aktuelle fjordene.

Besvarelse for "Utslipp til sjø fra scrubbere" viser at lav andel av skipene har slik installasjon eller benytter denne i fjordene da de fleste skipene benytter MGO med lavt svovelinnhold i disse områdene. Kommentarer beskriver muligheter til å kjøre "closed loop" i havn og skjermede farvann med oppsamling og "open loop" med utslipp til sjø i andre områder. Utslipp til sjø renses iht. gjeldende krav.

#### 5.1.2 Andre fartøy

Sju av de 13 lokale ferjene eller andre rutegående fartøyene som ble registrert svarte på spørreundersøkelsen. Alle disse fartøyene bruker drivstoff med svovelinnhold på mindre enn 0,05 %. Ingen hadde installert noe system for NO<sub>x</sub>-reduksjon, slik at standard utslippsfaktorer for skipstypene vil gi et godt estimat på utslipp til luft.

Også for lokale rutegående fartøy og Hurtigruten ble det innhentet operasjonelle data for hastighet, tid i havn og motorspesifikasjoner, slik at omtrentlig drivstofforbruk og utslipp til luft kan beregnes. Disse estimatene kan benyttes som inngangsdata i spredningsmodellering.

Utslipp til sjø fra ferjene oppgis å være behandlet kloakk og gråvann, ca. 0,5 -2 m<sup>3</sup> per dag i Geirangerfjorden og opptil 6 m<sup>3</sup> per dag ytterst i Aurlandsfjorden. En av ferjene oppgir også at det slippes ut små mengder lensevann (0,1 m<sup>3</sup>). For ferjer og lokale båter oppga ferjene som svarte at de slipper ut små mengder behandlet kloakk, men det er ikke spesifisert hvilke systemer som finnes om bord på disse båtene.

For tre av hurtigruteskipene som besøker Geiranger skjer utslipp til sjø av rensset kloakk og gråvann i alle soner. Ingen av skipene slipper ut lensevann. Alle hurtigruteskipene har kloakkbehandlingssystem i henhold til MARPOL, (MEPC.159(55), MEPC.2(VI), MEPC.227(64)) unntatt de to eldste skipene som har oppbevaringstanker om bord.

## 5.2 Videoovervåking av Geirangerfjorden

Bildene fra GoPro-kameraet som var montert sør for Geirangerfjorden fra starten av august og ut september måned viste at enkelte fartøy tidvis førte til dannelse av synlige røykskyer. Både ved klarvær og ved overskyede værforhold kunne det observeres røykskyer. Bilder tatt i løpet av sommeren 2016 tilsendt fra Sjøfartsdirektoratet og Stiftinga Geirangerfjorden Verdsarv



a)



b)

Figur 6. Eksempler på bilder som viser dannelse av synlige røykskyer av utslippene fra fartøy som ferdes i Geirangerfjorden. a) er tilsendt fra Sjøfartsdirektoratet og Stiftinga Geirangerfjorden Verdsarv, mens b) er tatt av GoPro-kameraet som var montert sør for Geirangerfjorden og fotograferte hvert 30. minutt i perioden 4. august til 30. september 2016. Dato og klokkeslett for når bilde b) ble tatt er angitt på bildet.

dokumenterte klart slike episoder i større detalj. Eksempler på slike episoder med observerbare røykskyer som legger seg over fjorden er vist i Figur 6 og i Vedlegg 1.

Av cruiseskipene som besøkte Geirangerfjorden i perioden var det i overkant av 20 unike fartøy (av totalt 181 fartøy med AIS-transpondere) som dannet markante røykskyer; en del av disse

besøkte området flere ganger i løpet av cruisesesongen. Det er ofte flere enn ett cruiseskip til stede på samme tid i Geirangerfjorden som kan avgi synlig røyk. Det kan ut fra bildene klart observeres at også enkelte av de lokale ferjene, som ikke er registrert i skipsdatabasen som utelukkende cruiseskip/passasjerskip, produserer godt synlige utslipp.

Røyk betegner synlige avgasser fra forbrenning eller industriprosesser.[38] Hovedbestanddelene er gasser, som nitrogen, oksygen, karbondioksid og vanndamp. Partiklene i røyk er synlige; disse kan bestå av aske, uforbrent stoff og sot.

Gassene i røyk fra forbrenning i motorer har ingen farge ved utslipp til luft i aktuelle konsentrasjoner. Men partikler og væsker i eller fra avgassene kan eller vil være synlige. Sot danner svarte partikler og røyk som blir svart eller grå avhengig av konsentrasjon. Uforbrente hydrokarboner danner en blålig røyk. Vanndamp vil ofte kondensere til små dråper når den avkjøles et stykke fra skorsteinen og går over til væske. Vanndampen vil da danne en hvit røyk, eller grå om skyen blir tilstrekkelig konsentrert eller tykk. NO er en fargeløs gass, mens NO<sub>2</sub> er en rødbrun gass. Storparten av NO<sub>x</sub> er NO ut fra pipa, men konverteres delvis til NO<sub>2</sub> i atmosfæren etter hvert.

I alle bilder med synlig røyk fra skip, ser vi hvit røyk som åpenbart består hovedsakelig av kondensert vanndamp. På noen av bildene kan vi også se røyk med tydelig innhold av sot eller andre partikler. Det gjelder typisk for skip som starter opp motorene for å forlate havna. I slike situasjoner er det trolig også innslag av uforbrente hydrokarboner som danner blålig røyk. Hoveddelen av NO<sub>x</sub> er NO ut fra skorsteinene. NO er en fargeløs gass, som etter hvert delvis konverteres til NO<sub>2</sub>. Den vil likevel ikke bli synlig i aktuelle konsentrasjoner.

### 5.3 Meteorologi simulert med WRF

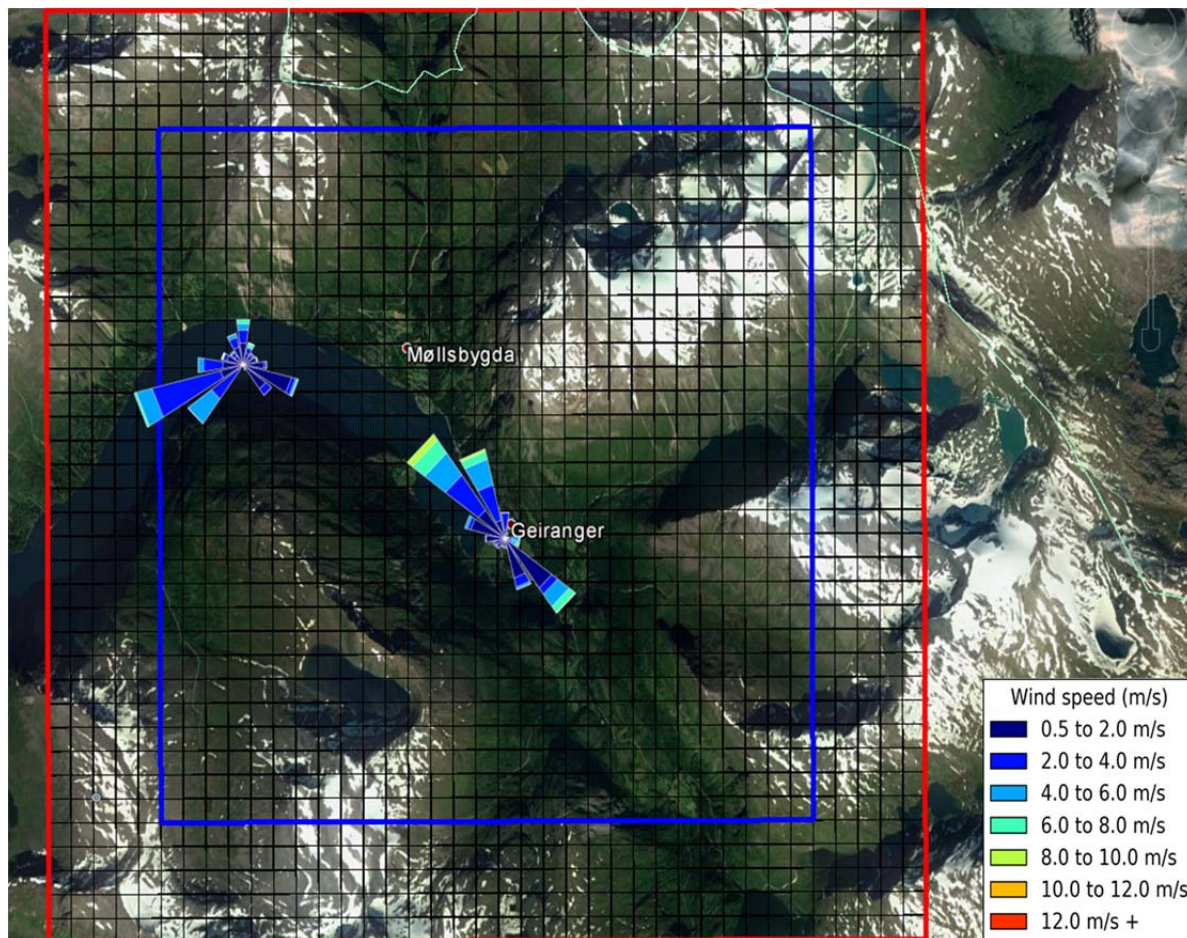
Vindroser som framstiller vindhastigheter fordelt på vindretning for sommersesongen 2016 for domenene med 300 meters oppløsning for Geirangerfjorden og for Aurlandsfjorden/Nærøyfjorden simulert med WRF er vist i henholdsvis Figur 7 og 8.

Den modellerte vinden viser at vindhastigheten generelt er forholdsvis lav ved begge fjordområdene, for det meste under 6,0 m/s i løpet av modelleringsperioden. Vindretningene ved begge beregningsområdene bestemmes i hovedsak av terrenget; vinden følger fjordene og dalsøkkene, som forventet.

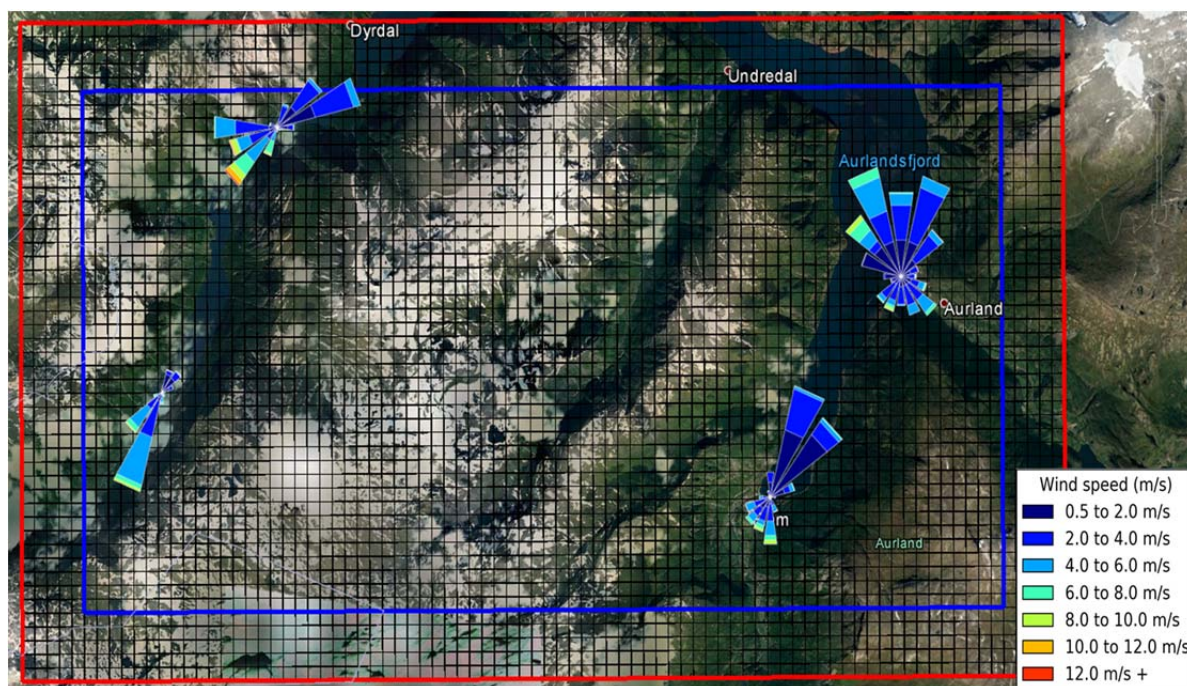
Nordvest i beregningsområdet for Geirangerfjorden, ved Skagen, er dominerende vindretning hovedsakelig fra sør-sørvest og mot fjellområdene i nord (Figur 7). Nær Geiranger blåser vinden for det meste fra nordvest, altså fra fjorden og inn mot bygda. Det blåser også en del fra motsatt retning og ut mot fjorden. Dominerende vindretning ved Geirangerfjorden tilsier dermed at utslipp fra skipstrafikken i fjorden har betydelig potensiale for å spres ut i retning boligområdene i Geiranger.

I Nærøyfjorden følger også vinden i hovedsak terrenget, men dominerende vindretning er fra land i sørvest og ut over fjorden (Figur 8), noe som innebærer at beboerne i Gudvangen innerst i Nærøyfjorden og Nærøy sannsynligvis blir lite eksponert for utslipp fra cruisetrafikken i området. Ved Dyrdal lenger nord blåser det i tillegg en del fra nordøst, noe som kan spre luftforurensning inn mot boligene i dette området.

I motsetning til Nærøyfjorden, er dominerende vindretning ved fjordarmen i øst, Aurlandsfjorden, i hovedsak fra nord-nordøst fra fjorden og direkte inn mot Flåm innerst i fjorden. Ved Aurlandsvangen blåser vinden både fra nordvest og nordøst, slik at tettstedet i perioder kan bli utsatt for luftforurensning fra skipstrafikken i fjorden.



Figur 7. Vindroseplott som framstiller frekvensfordelingen av vindhastigheter, og vindretninger fordelt på sektorer på 22,5° simulert med WRF, for Geirangerfjorden.



Figur 8. Vindroseplott som framstiller frekvensfordelingen av vindhastigheter, og vindretninger fordelt på sektorer på 22,5° simulert med WRF, for Nærøyfjorden og Aurlandsfjorden.



## 5.4 Utslipp til luft i verdensarvfjordene

### 5.4.1 Totale utslipp til luft

Totale beregnede utslipp av NO<sub>x</sub> fra cruiseskip- og passasjerskip, sammenlignet med andre typer fartøy som besøkte fjordene samt veitrafikken på land i områdene i perioden juni-august 2016 er framstilt i Tabell 6. Estimerte utslipp av PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub> og SO<sub>2</sub> fra cruise- og passasjerskip og veitrafikk er også vist.

**Tabell 6. Utslipp av nitrogenoksider (NO<sub>x</sub>), svevestøv (PM<sub>10</sub> og PM<sub>2,5</sub>) og svoveldioksid (SO<sub>2</sub>) i tonn for perioden juni-august 2016 fra cruise- og passasjerskip og veitrafikk, og av NO<sub>x</sub> for andre fartøy, i områdene ved de utvalgte fjordområdene. Andelen NO<sub>x</sub>-utslipp de ulike kildene utgjorde av de totale utslippene av NO<sub>x</sub> er angitt i prosent.**

	Geirangerfjorden				Aurlandsfjorden + Nærøyfjorden			
	NO <sub>x</sub>	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2,5</sub>	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2,5</sub>	SO <sub>2</sub>
Cruise- og passasjerskip	67,9 (81 %)	2,15	1,97	9,44	46,1 (84 %)	2,24	2,05	10,1
Andre fartøy	14,1 (17 %)				4,8 (9 %)			
Veitrafikk	1,75 (2 %)	0,066	0,052		3,7 (7 %)	0,25	0,19	

Utslippsestimatene viser at NO<sub>x</sub> er klart dominerende sammenlignet med de andre undersøkte komponentene fra skipsfart, mens det slippes ut langt mindre partikler og SO<sub>2</sub>. Særlig SO<sub>2</sub>-utslipp fra andre kilder vil være ubetydelige ettersom de aller fleste mindre passasjerskipene benytter marin gassolje med lavt svovelinnhold. Utslippene av SO<sub>x</sub> fra kjøretøy er tilnærmet lik null. For å estimere bidraget fra andre kilder til luftforurensning som andre typer fartøy enn cruise/passasjerskip, og kjøretøytrafikk på veiene i området, ble derfor kun NO<sub>x</sub>-utslippene sammenstilt.

Tabell 6 viser at utslippene av NO<sub>x</sub> fra veitrafikken og andre fartøy utgjorde en mindre prosentandel av de totale utslippene: andre fartøy sto for 17 % av utslippene i Geirangerfjorden og kun 9 % i Nærøyfjorden/Aurlandsfjorden, mens tilsvarende tall for veitrafikk var 2 % og 7 %. Spredningsmodelleringen utført i denne studien vurderes derfor å gi en tilstrekkelig god indikasjon på luftkvaliteten i de aktuelle områdene for hele perioden juni-august selv om kun utslippene fra fartøy klassifisert utelukkende som cruise- eller passasjerskip var inkludert i disse beregningene. Det ble imidlertid observert dannelse av godt synlige røykskyer også fra enkelte andre fartøy som ikke var inkludert i beregningene, og veitrafikken i området kan være høy i enkelte perioder, som diskutert nærmere i *Del 6. Diskusjon og vurderinger*.

### 5.4.2 Utslipp fra cruise- og passasjerskip

Totale utslipp av NO<sub>x</sub>, svevestøv (PM<sub>10</sub> og PM<sub>2,5</sub>) og SO<sub>2</sub> fra cruise- og passasjerskip i løpet av perioden juni-august 2016 i verdensarvfjordene beregnet på grunnlag av AIS-data og IHS Fairplay-registreringer er oppført i Tabell 7. Utslippstallene er vist inndelt etter motortype (framdriftsmaskineri, hjelpemaskineri og dampkjeler).

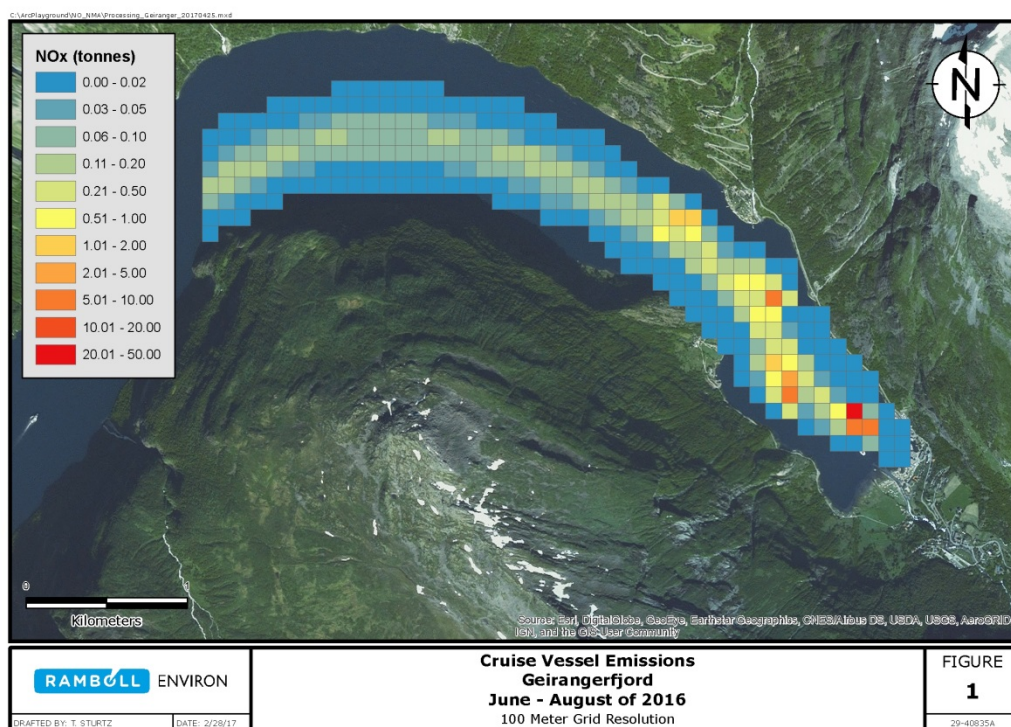
**Tabell 7. Utslipp (i tonn) av nitrogenoksider (NO<sub>x</sub>), svoveldioksid (SO<sub>2</sub>) og svevestøv (PM<sub>10</sub> og PM<sub>2,5</sub>) fra cruise- og passasjerskip i løpet av sommermånedene juni, juli og august 2016 i Geirangerfjorden, Aurlandsfjorden inn mot Flåm og Nærøyfjorden.**

	Geirangerfjorden				Aurlands-/Nærøyfjorden			
	NO <sub>x</sub>	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2,5</sub>	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2,5</sub>	SO <sub>2</sub>
Fremdriftsmaskineri	2,2	0,05	0,05	0,19	5,5	0,13	0,12	0,50
Hjelpemaskineri	64,1	1,4	1,3	6,1	37,1	0,82	0,75	3,5
Dampkjeler	1,7	0,26	0,24	1,3	3,5	0,56	0,51	2,7
<b>Totalt</b>	<b>67,9</b>	<b>1,7</b>	<b>1,6</b>	<b>7,6</b>	<b>46,1</b>	<b>1,5</b>	<b>1,4</b>	<b>6,7</b>

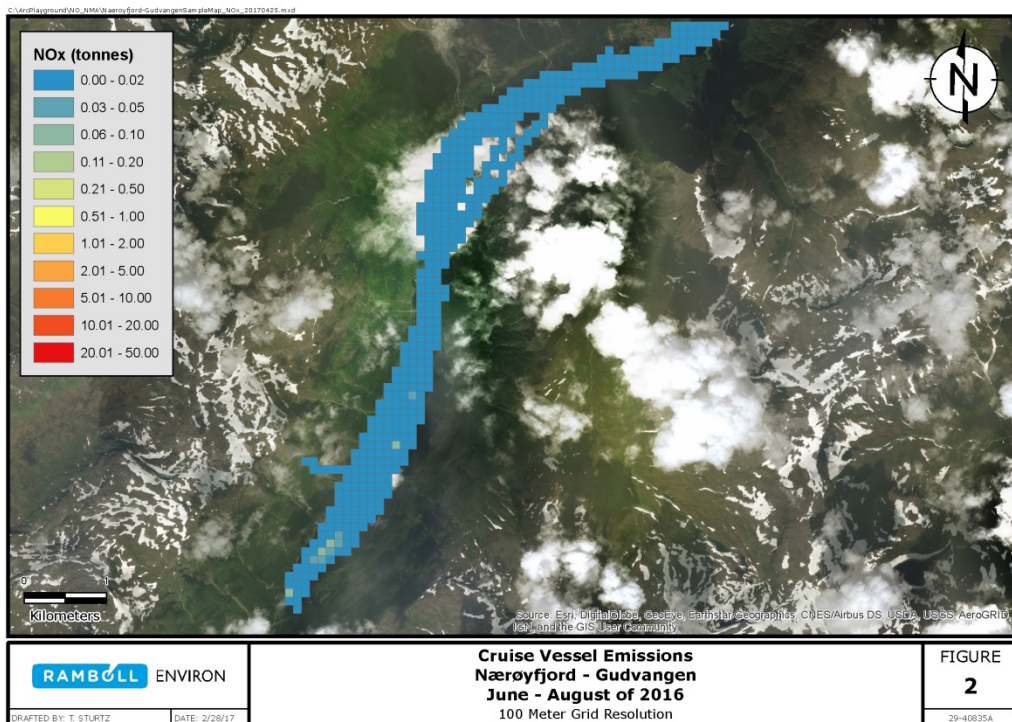
For beregningsområdene var de totale utslippene i løpet av perioden klart høyest fra hjelpemotorene, som går ved alle typer operasjonsmodus; for eksempel var totale utslipp av NO<sub>x</sub> 64,1 tonn i Geirangerfjorden og 37,1 tonn i Aurlandsfjorden inn til Flåm og Nærøyfjorden samlet. Fremdriftsmotorene er ikke i operasjon når fartøyene ligger i havn (hotell), og dampkjelene opererer kun under manøvrering og hotell.

Utslippsdataene ble benyttet som inngangsdata til CALPUFF-spredningsmodelleringssystemet. Utslippene ble formateret til å inneholde utslippsrater på timesbasis per rutenett-celle for perioden fra og med juni til og med august måned. Figur 9, 10 og 11 viser totale modellerte NO<sub>x</sub>-utslipp for hele cruisesesongen i henholdsvis Geirangerfjorden, Nærøyfjorden nær Gudvangen, og Aurlandsfjorden nær Flåm. Disse celle-aggregerte utslippene ble omgjort til et CALPUFF-inngangsdataformat som tidsvarierende punktkilder.

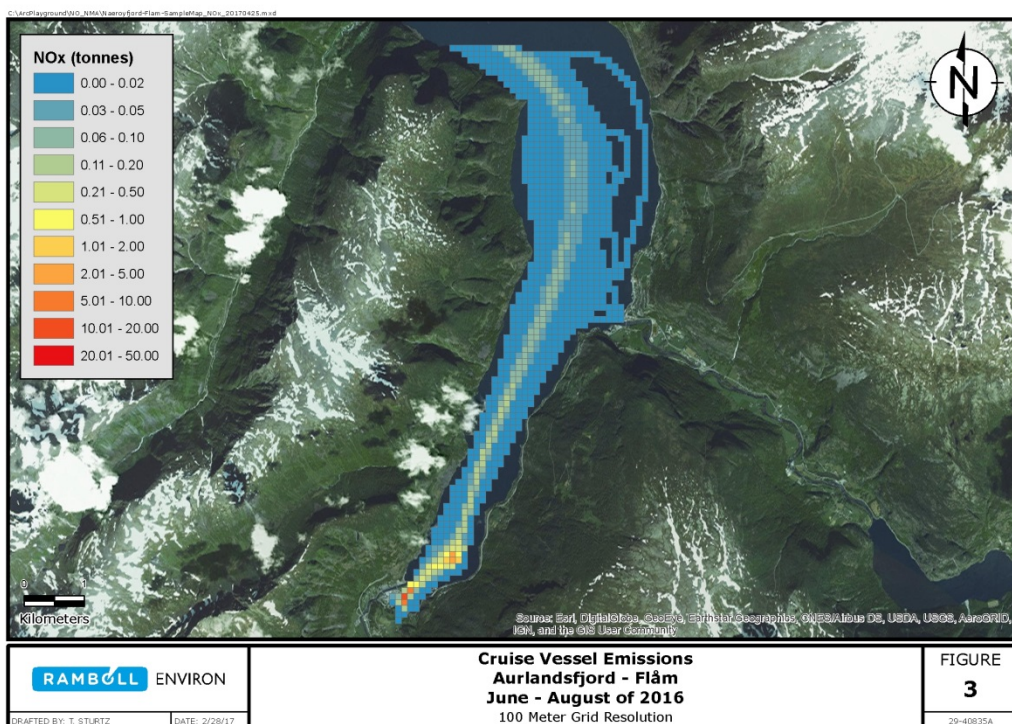
Som det framgår av Figurene 9-11, var NO<sub>x</sub>-utslippene størst innerst i fjordene nær de vanligste liggestedene for cruiseskipene i løpet av cruiseskipesongen 2016. Utslippene overstiger ikke 0,2 tonn for noen av 100-meters rutenettcellene ytterst i fjordarmene, og når maksimum på mellom 20 og 50 tonn enkelte steder nær Geiranger og Flåm. I Nærøyfjorden var utslippene gjennomgående lave, der ingen rutenettceller hadde utslipp over 0,2 tonn. SO<sub>2</sub> og svevestøv (PM<sub>10</sub> og PM<sub>2,5</sub>) hadde stort sett samme utslippsprofil, det vil si fordeling av utslippene med tid og sted, i de tre fjordene som NO<sub>2</sub>, med noe lavere nivåer. Utslippskartene for disse komponentene er derfor ikke vist.



Figur 9. Beregnede totale utslipp av nitrogenoksider (NO<sub>x</sub>), i tonn, i Geirangerfjorden for cruiseskipesongen 2016 (fra og med 1. juni til og med 31. august).



Figur 10. Beregnede totale utslipp av nitrogenoksider (NO<sub>x</sub>), i tonn, i Nærøyfjorden til Gudvangen for cruiseskipsesongen 2016 (fra og med 1. juni til og med 31. august).



Figur 11. Beregnede totale utslipp av nitrogenoksider (NO<sub>x</sub>), i tonn, i Aurlandsfjorden til Flåm for cruiseskipsesongen 2016 (fra og med 1. juni til og med 31. august).

### 5.5 Spredning av luftforurensning fra cruisetrafikk i de aktuelle fjordområdene

Kart som viser spredning av NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> og PM<sub>2,5</sub> er vist i henholdsvis Figur 12, 13 og 14 for Geirangerfjorden og i henholdsvis Figur 15, 16 og 17 for Aurlandsfjorden ved Flåm. Spredningskartene er vist i større format i Vedlegg 6.

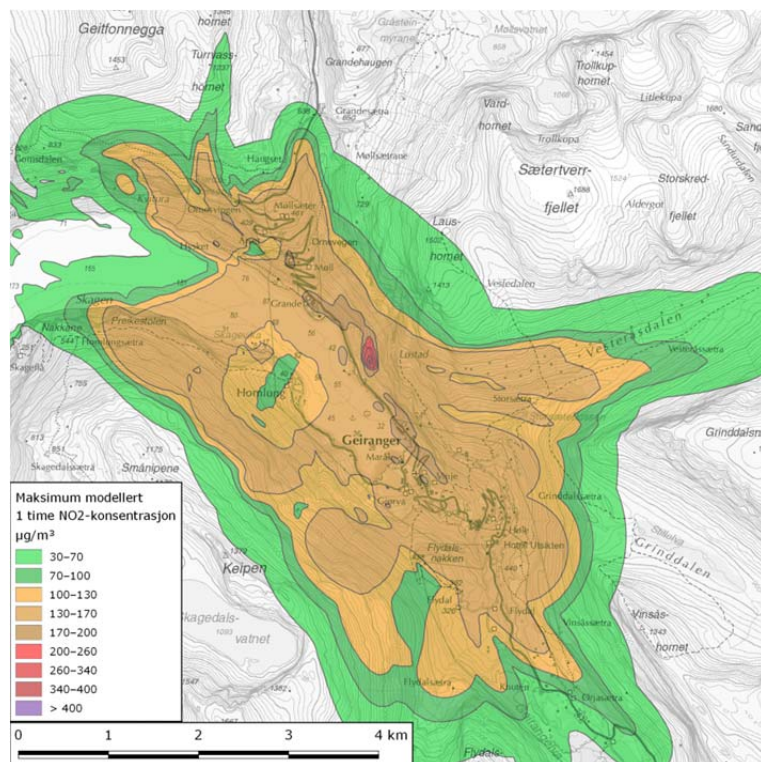
De modellerte forurensende komponentene lå for det aller meste under grenseverdier for tiltak gitt som døgnmiddel (SO<sub>2</sub> og PM<sub>10</sub>) eller timemiddel (SO<sub>2</sub> og NO<sub>2</sub>) for utendørs luft i forurensningsforskriften. Konsentrasjoner av NO<sub>2</sub> overskred timegrenseverdien på 200 µg/m<sup>3</sup> for kun én periode på en time innenfor to mindre, ubebodde områder i fjellsiden på nordøstsiden av Geirangerfjorden, og ute i Aurlandsfjorden nær Flåm. Få områder hadde NO<sub>2</sub>-konsentrasjoner like oppunder timegrenseverdien; de aller fleste stedene var konsentrasjonene under 170 µg/m<sup>3</sup>.

Ettersom nivåene av aktuelle stoffer i luft kun ble modellert for en tidsperiode på noen måneder, kunne ikke nivåene relateres til grenseverdiene for tiltak med kalenderår som midlingstid, eller maksimum antall overskridelser av døgn grenseverdiene i løpet av et kalenderår. Varslingsklassene gitt på luftkvalitet.info foreligger som timesmiddel for alle de undersøkte komponentene, og gir nedre grenser for forurensningsnivå som er relatert til helserisiko. Modellering av overskridelser minst én time i løpet av beregningsperioden av nedre grenser for varslingsklassene utarbeidet av Folkehelseinstituttet, Vegdirektoratet og Miljødirektoratet vurderes derfor som de mest relevante grensene å vurdere spredningen i fjordområdene etter. Varslingsklassene er angitt med fargekoder: oransje (moderat forurensningsnivå og helserisiko), rød (høyt forurensningsnivå, betydelig helserisiko) og lilla varslingsklasse (svært høyt forurensningsnivå, alvorlig helserisiko). I byområder er det disse grensene som brukes for å varsle befolkningen om når det forekommer nivåer av luftforurensning som anses å utgjøre en helserisiko for utsatte grupper, eventuelt hele befolkningen. Det presiseres imidlertid at disse grensene ikke utgjør juridisk bindende grenseverdier for tiltak.

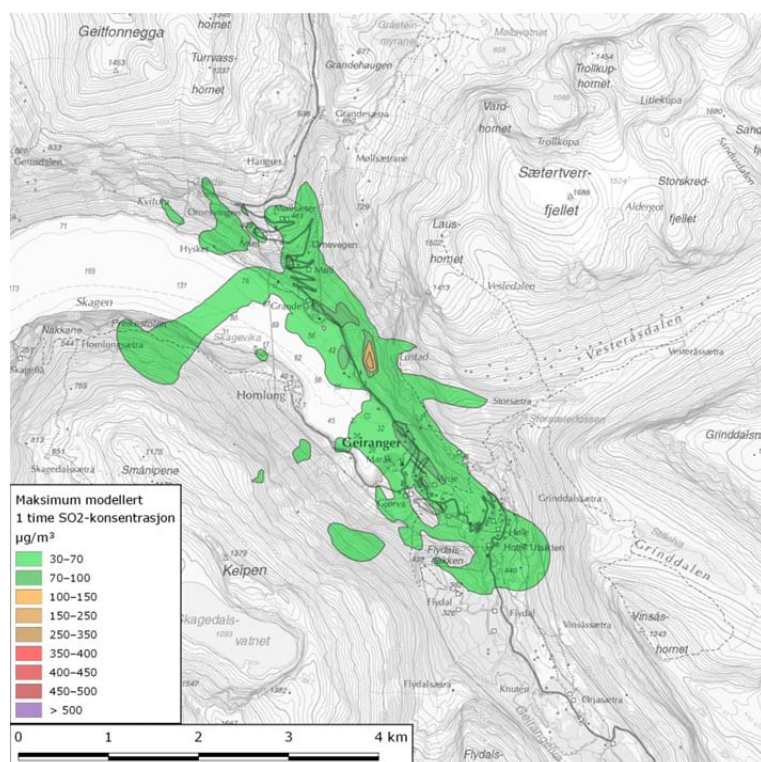
Det var hovedsakelig NO<sub>2</sub> som forekom i konsentrasjoner som overskred varslingsklassene gitt som timesmiddel i løpet av kortere perioder ved Geiranger og Flåm. Ved Geirangerfjorden ble nedre grense for oransje varslingsklasse overskredet minst én gang over et forholdsvis stort område som dekket mesteparten av Geiranger, området nordøst for Geirangerfjorden inkludert Ørnevegen og fjellsiden sørvest for fjorden opp til Skagen (Figur 12). Utslipp fra cruiseskip i fjorden har altså medført moderate nivåer av NO<sub>2</sub> i disse områdene over kortere perioder, noe som tilsvarer moderat helserisiko. Moderat helserisiko innebærer at skadelige helseeffekter kan forekomme hos mennesker med eksisterende luftveissykdommer som astma eller hjerte-karsykdom. Konsentrasjonene oversteg nedre grense for rød varslingsklasse ved et mindre område på nordøstsiden av fjorden ved foten av Sætertverrfjellet, tilsvarende området der grenseverdien i henhold til forurensningsforskriften ble overskredet, men det ligger ingen boliger innenfor denne sonen.

Ved Flåm innerst i den østre armen av Aurlandsfjorden oversteg også konsentrasjonene av NO<sub>2</sub> nedre grense for oransje varslingsklasse i et større område sør for fjorden over størstedelen av tettstedet, og deler av fjellsidene sør, øst og vest for fjorden (Figur 15). NO<sub>2</sub>-nivåer som tilsvarte rød varslingsklasse forekom ved et lite område ute i fjorden nordøst for Flåm. Ingen av områdene ved Nærøyfjorden ble utsatt for forhøyede konsentrasjoner av noen av stoffene som ble undersøkt i denne studien.

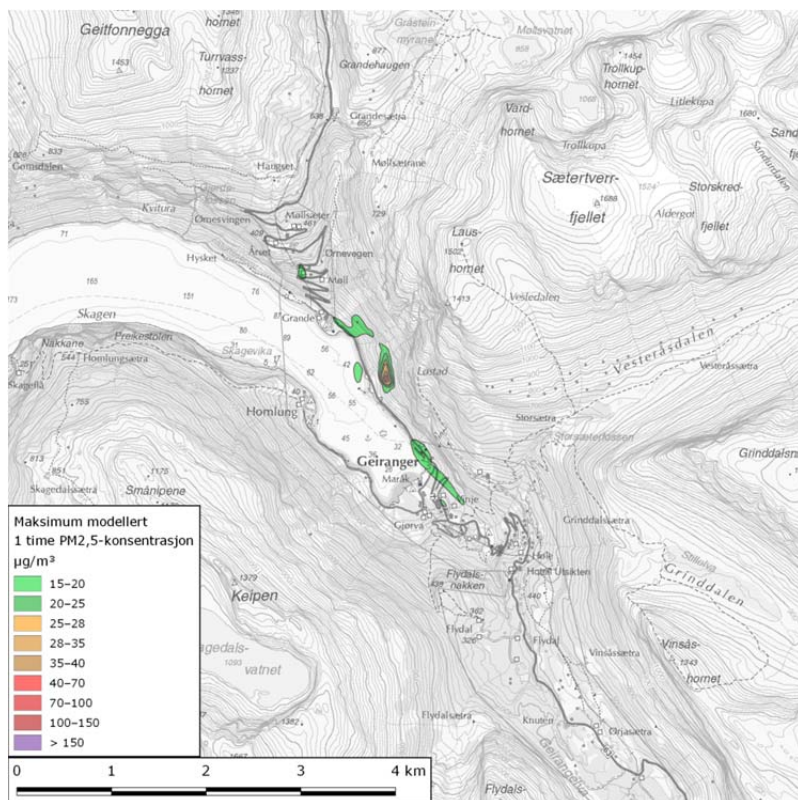
Forhøyede nivåer av SO<sub>2</sub> og PM<sub>2,5</sub> kunne forekomme kun innenfor små områder ute i fjorden i Aurlandsfjorden nær Flåm, og i fjellsiden nordvest for Geiranger. Området i Aurlandsfjorden der oransje varslingsklasse for SO<sub>2</sub> og PM<sub>2,5</sub> ble overskredet var like ved ett av cruiseskipene i fjorden. Overskridelsene av oransje og, for PM<sub>2,5</sub>, rød varslingsklasse på et lite område på sørvestsiden av Sætertverrfjellet i Geiranger, skyldes mest sannsynlig utslipp fra et cruiseskip lenger nordvest i fjorden nær Skagen som har spredd seg med vinder fra nordvest.



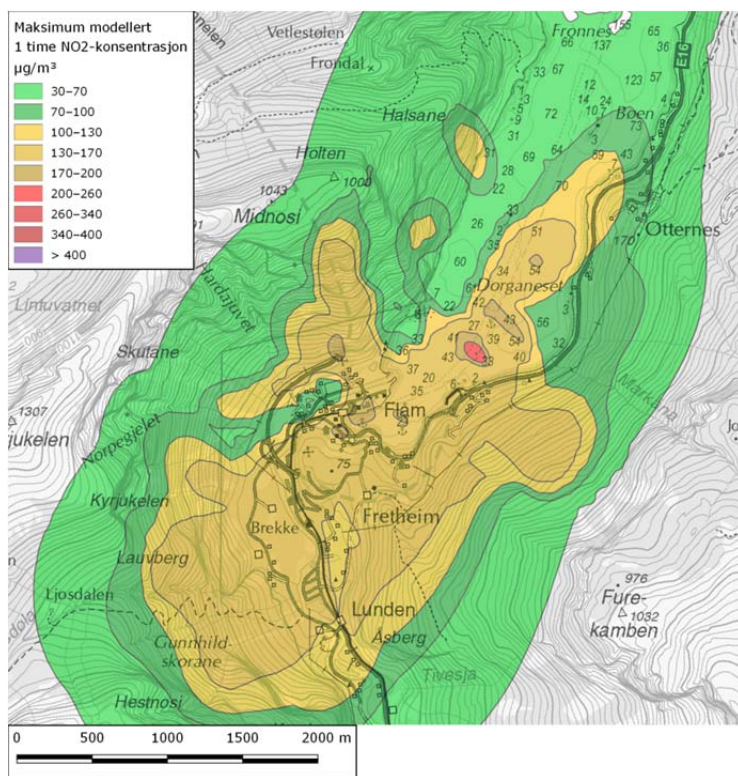
Figur 12. Spredningskart som viser modellerte konsentrasjoner av nitrogendioksid (NO<sub>2</sub>) sluppet ut fra cruise- og passasjerskip i området ved Geiranger i løpet av perioden 1. juni til 31. august 2016. Spredningen er illustrert med fargekoder som tilsvarer minst én overskridelse av de ulike varslingsklassene for luftkvalitet gitt som timesmiddel, utarbeidet av Folkehelseinstituttet, Vegdirektoratet og Miljødirektoratet.



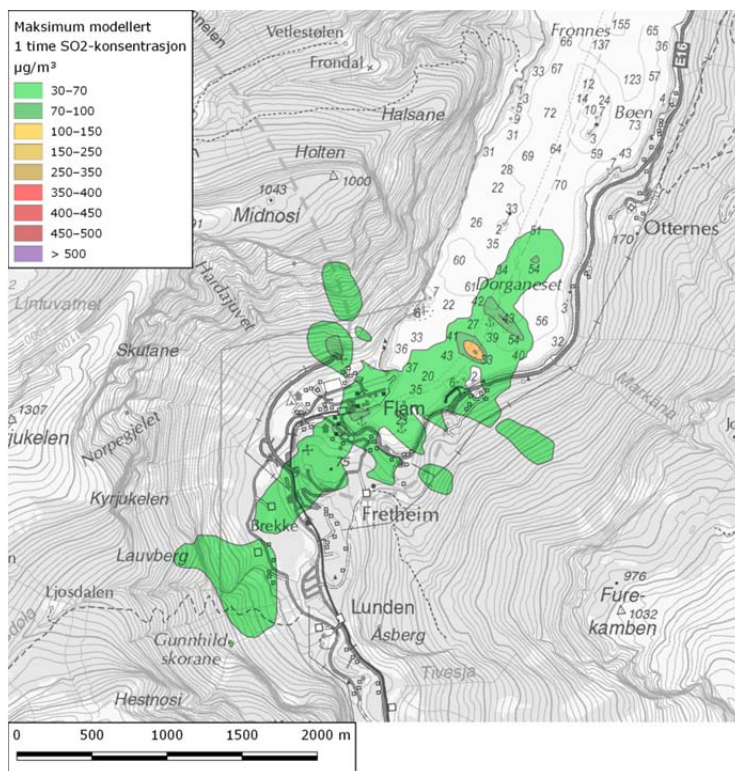
Figur 13. Spredningskart som viser modellerte konsentrasjoner av a) svoveldioksid (SO<sub>2</sub>) sluppet ut fra cruise- og passasjerskip i området ved Geiranger i løpet av perioden 1. juni til 31. august 2016. Spredningen er illustrert med fargekoder som tilsvarer minst én overskridelse av de ulike varslingsklassene for luftkvalitet gitt som timesmiddel, utarbeidet av Folkehelseinstituttet, Vegdirektoratet og Miljødirektoratet.



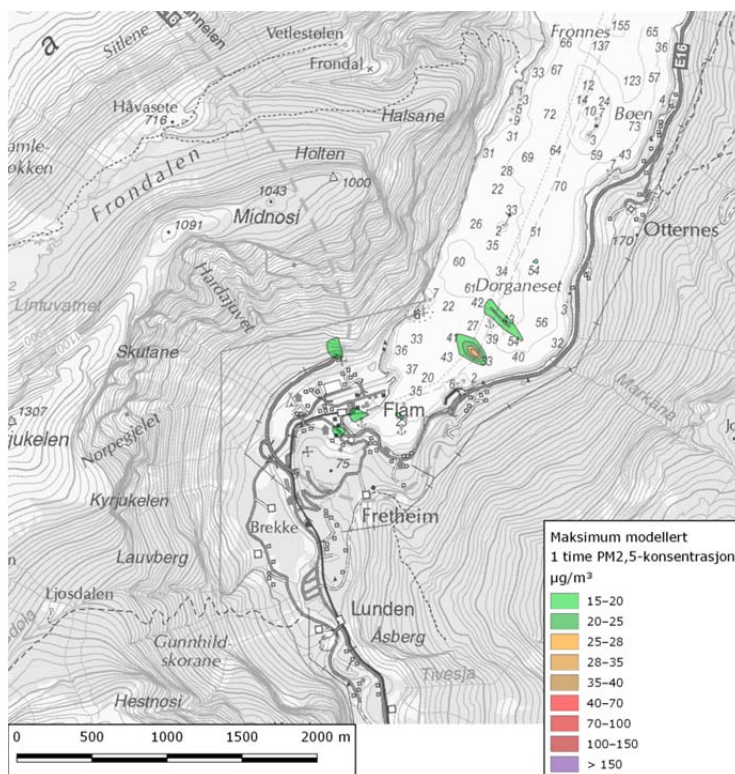
Figur 14. Spredningskart som viser modellerte konsentrasjoner av svevestøv ( $PM_{2,5}$ ) sluppet ut fra cruise- og passasjerskip i området ved Geiranger i løpet av perioden 1. juni til 31. august 2016. Spredningen er illustrert med fargekoder som tilsvarer minst én overskridelse av de ulike varslingsklassene for luftkvalitet gitt som timesmiddel, utarbeidet av Folkehelseinstituttet, Vegdirektoratet og Miljødirektoratet.



Figur 15. Spredningskart som viser modellerte konsentrasjoner av nitrogendioksid ( $NO_2$ ) sluppet ut fra cruise- og passasjerskip i området ved Flåm innerst i Aurlandsfjorden i løpet av perioden 1. juni til 31. august 2016. Spredningen er illustrert med fargekoder som tilsvarer minst én overskridelse av de ulike varslingsklassene for luftkvalitet gitt som timesmiddel, utarbeidet av Folkehelseinstituttet, Vegdirektoratet og Miljødirektoratet.



Figur 16. Spredningskart som viser modellerte konsentrasjoner av svoveldioksid (SO<sub>2</sub>) sluppet ut fra cruise- og passasjerskip i området ved Flåm innerst i Aurlandsfjorden i løpet av perioden 1. juni til 31. august 2016. Spredningen er illustrert med fargekoder som tilsvarer minst én overskridelse av de ulike varslingsklassene for luftkvalitet gitt som timesmiddel, utarbeidet av Folkehelseinstituttet, Vegdirektoratet og Miljødirektoratet.



Figur 17. Spredningskart som viser modellerte konsentrasjoner av svevestøv (PM<sub>2,5</sub>) sluppet ut fra cruise- og passasjerskip i området ved Flåm innerst i Aurlandsfjorden i løpet av perioden 1. juni til 31. august 2016. Spredningen er illustrert med fargekoder som tilsvarer minst én overskridelse av de ulike varslingsklassene for luftkvalitet gitt som timesmiddel, utarbeidet av Folkehelseinstituttet, Vegdirektoratet og Miljødirektoratet.

Konsentrasjonene av  $PM_{10}$  var gjennomgående lave, langt under både grenseverdiene i henhold til forurensningsforskriften og varslingsklassene. Spredningskart for  $PM_{10}$  er derfor ikke fremstilt i rapporten. Målinger foretatt ved Geirangerfjorden viste derimot forhøyede konsentrasjoner av finere partikler særlig ved havneområdet; dette er diskutert nærmere i Diskusjons- og vurderingsdelen.



## 6. DISKUSJON OG VURDERINGER

### 6.1 Meteorologisk modellering

Kvantitativ analyse av WRF-kjøringene for 2016 indikerte at WRF simulerte temperatur, luftfuktighet og vindhastighet nøyaktig i de aktuelle fjordområdene, når disse sammenlignes med tilgjengelige meteorologiske måledata. Skjevhet og feil assosiert med modellerte månedlige gjennomsnittlige variabler var vel innenfor etablerte METSTAT-standarder for komplekst terreng. En begrensning med evalueringen er mangelen på komplette meteorologiske data innenfor WRF-modelleringsdomenene med 300 meters oppløsning ved Geirangerfjorden og Nærøyfjorden/Aurlandsfjorden. I tillegg indikerte evalueringen av vindretning simulert med WRF noen avvik fra tilgjengelige observasjoner, særlig for Geirangerfjorden-domenet. Vindretning er svært vanskelig å modellere nøyaktig over komplekst fjellterreng. Dette gjaldt særlig for rutenettcellene med lavere oppløsning, som var de eneste som hadde tilstrekkelige observasjoner fra værstasjoner for analysen. På grunn av dette ble det også foretatt en kvalitativ analyse av WRF-simulert vind innenfor 300 meters-rutenettet. WRF-vindrosene i fjordene så ut til å korrespondere godt med det lokale fjellterrenget.

Det at det er såpass få komplette meteorologiske stasjoner i de norske fjordområdene gjør det nødvendig å benytte meteorologisk modellering med WRF for å kunne få representative spredningsforhold til bruk i luftkvalitetsmodellering.

### 6.2 Utslipp til luft og sjø ved fjordområder fra cruiseskip

Metodene som ble brukt i denne studien gir gode, nøyaktige estimater for utslipp basert på faktiske skipsbevegelser fra AIS-data og informasjon for hvert skip fra IHS Fairplay-databasen og den gjennomførte spørreskjemaundersøkelsen. I løpet av sommermånedene juni, juli og august 2016 var utslippene høyest i fjorden utenfor Geiranger og Flåm. Utslipp av NO<sub>x</sub> fra cruise- og passasjerskip var klart dominerende.

Bildene fra videoovervåkingen av Geirangerfjorden viste at fartøy som ferdes i fjorden i perioder medfører dannelse av godt observerbare røykskyer som kan dekke store deler av fjorden. Synlige røykskyer oppsto ved forskjellige værforhold, fra ulike typer fartøy og både ved inn- og utreise. Det er vanskelig å bruke denne typen bilder til å si noe om innholdet i røykskyene som kan observeres eller konsentrasjoner. Bildene kan imidlertid indikere at det kan forekomme episoder med høye utslipp fra enkeltskip som skyldes operasjonelle forhold ved inn- eller utreise. Slike episoder kan ikke fanges opp av metoden brukt til utslippsberegning, som benytter gjennomsnittlige utslippsfaktorer, og kan ha ført til en underestimert utslipp for kortere perioder.

Utslipp til sjø er et begrenset problem når det gjelder cruiseskipene ettersom nesten ingen av disse oppgir å slippe ut ubehandlet eller behandlet kloakk eller gråvann i verdensarfjordene, eller å ha utslipp i forbindelse med scrubbersystemer. Andre fartøy slipper imidlertid rutinemessig ut behandlet kloakk og gråvann i fjordområdene, og eventuelt små mengder lensevann.

### 6.3 Vurdering av spredning av luftforurensning og lokal luftkvalitet ved fjordområdene

Spredningsberegningene foretatt for de tre fjordene for sommermånedene juni-august i 2016 ga hovedsakelig lave konsentrasjoner av SO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub> og PM<sub>2,5</sub>. Grenseverdier for tiltak i forurensningsforskriftens kapittel 7 ble overskredet i mindre, ubebodde områder ved Geirangerfjorden og Aurlandsfjorden. Nivåene av SO<sub>2</sub> og PM<sub>10</sub> var vel under grenseverdiene for tiltak. NO<sub>2</sub>-konsentrasjonene var tidvis forhøyede ved Geiranger og Flåm. Dette kan periodevis utgjøre en moderat helseisiko i henhold til varslingsklassene.

Beregningene som ble foretatt i dette prosjektet var begrenset til fartøy klassifisert som cruise- eller passasjerskip, som klart dominerte når det gjaldt utslipp av luftforurensning i perioden juni-august i de verdensarvområdene. Videoovervåkingen av Geirangerfjorden viste imidlertid at flere mindre rutegående kombinasjonstype-fartøy, i likhet med enkelte cruise- og passasjerskip, had-

de utslipp som produserte synlige røykskyer. Utslippsberegningene som sammenlignet bidraget fra cruise- og passasjerskip sammenlignet med andre fartøy viste at utslippene fra førstnevnte klart dominerer i områdene i løpet av sommerperioden, men at bidraget fra enkelte av de resterende fartøyene kan bety at spredningen er noe større enn det som fremgår av beregningene foretatt i denne studien.

Ettersom utslippene av luftforurensende komponenter fra kjøretøy ved veiene i fjordområdene kun utgjorde en liten andel av utslippene fra cruiseskipene som besøkte fjordene i sommerperioden, er ikke veitrafikkutslippene inkludert i spredningsberegningene. I disse områdene er det imidlertid store årsvariasjoner i trafikkmengden langs veiene, med langt mer trafikk i turistseongen i sommermånedene sammenlignet med vinterperioden. Særlig når turister fra cruiseskipene eller andre passasjerskip ankommer land går det mange busser. I denne studien ble foreliggende sesongtall for utslipp på ukesbasis benyttet i utslippsberegningene. Det kan likevel tenkes at det kan forekomme så høye trafikkmengder i korte perioder at det kan påvirke luftkvaliteten negativt.

Det er viktig å være klar over usikkerheter forbundet med modellering av lokal luftkvalitet og antakelser gjort i beregningene:

- Meteorologiske forhold varierer mellom årstider og år, og meteorologi målt ved en målestasjon kan avvike fra forholdene ved nærliggende områder.
- Utslippsfaktorer som er benyttet i utslippsberegningene er gjennomsnittstall, og vil avhenge av forhold som driftsprofil. Det er også noen usikkerheter forbundet med informasjon om fartøyene registrert i Fairplay-databasen.
- Fordelingen mellom NO og NO<sub>2</sub> i luft varierer avhengig av meteorologiske forhold og atmosfærisk sammensetning.
- I spredningsmodelleringen ble kun utslipp fra cruise- og passasjerskipene i fjordene inkludert ettersom disse er sterkt dominerende med hensyn på totale utslipp i områdene på sommeren. Andre typer fartøy, småbåter, veitrafikk og andre kilder til utslipp er derfor ikke inkludert i spredningsberegningene.

For verifisering av modellerte konsentrasjoner kan det utføres målinger, som beskrevet i avsnittet under. Målinger gir faktiske konsentrasjoner for en gitt tid, men kun for plasseringen for måleinstrumentene, og er også forbundet med usikkerheter. Spredningsberegninger gir et bilde på spredningen innenfor et større område, og kan identifisere spesifikke områder som vil være utsatt for redusert luftkvalitet. Slike beregninger gir mest nøyaktige resultater over lengre tidsperioder. Målinger og spredningsmodellering gir altså ulik type informasjon om luftkvaliteten i et område, og kan brukes til å verifisere og utfylle hverandre.

#### 6.4 Målinger i området ved Geirangerfjorden

Et omfattende måleprogram ble startet opp i Geirangerfjorden i 2016. Prosjektet er finansiert av Stiftinga Geirangerfjorden Verdsarv, og koordineres av Professor Jörg Löfflers forskningsgruppe. Utstyr for målinger av en rekke meteorologiske parametere og luftforurensende stoffer (NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>1</sub> og ozon) er satt opp permanent ved tre ulike plasseringer nær Geirangerfjorden for kontinuerlig overvåking over en periode på 30 år.

Den første årsrapporten for målingene i Geirangerfjordområdet for 2016 foreligger, med resultater rapportert for perioden fra mai 2015 til september 2016 for to stasjoner: ved havneområdet og ved fjordsenteret lenger oppe i høyden.[39] SO<sub>2</sub>-nivåene var lave i hele perioden. Konsentrasjonene av PM<sub>10</sub> som døgnmiddel lå under grenseverdien på 50 µg/m<sup>3</sup> i løpet av hele perioden det ble rapportert for. Nivåene av størrelsesfraksjonen PM<sub>1-2,5</sub> var noe forhøyede, særlig i sommerperioden, selv om årsmiddelet ikke overgikk grenseverdien for tiltak på 15 µg/m<sup>3</sup>. Det ble målt relativt høye konsentrasjoner av PM<sub>1</sub> i deler av tidsperioden; denne størrelsesfraksjonen foreligger det ikke grenseverdier for. På grunn av mangel på NO<sub>x</sub>/NO<sub>2</sub>-data og lave nivåer av de

resterende undersøkte komponentene var det ikke mulig å få validert resultatene fra spredningsmodelleringen med målingene.

Folkehelseinstituttet har kommet med en uttalelse til målingene utført i Geirangerfjorden, som er tilgjengelig via Stiftinga Geirangerfjorden Verdsarv. I brevet presiseres det at de målte nivåene av  $PM_{2,5}$  og  $PM_1$  er forhøyede i området, og at de vurdert opp mot luftkvalitetskriteriene i perioder vil kunne føre til forverring av sykdom hos sårbare grupper av befolkningen.

Det har også tidligere vært utført målinger av luftforurensning i Geirangerfjorden. Norsk institutt for luftforskning (NILU) målte konsentrasjoner av  $PM_{10}$  og  $NO_2$  i løpet av deler av cruisesesongen i 2010.[40] Grenseverdien for  $NO_2$  timesmiddel ble ikke overskredet i løpet av måleperioden, mens det ble registrert to overskridelser av  $PM_{10}$  døgnmiddel-kravet. Ettersom det tillates 35 overskridelser av døgnmidelet, og det antas at de høyeste nivåene forekom i måleperioden, ble det konkludert med at antall overskridelser hverken for  $NO_2$  eller  $PM_{10}$  ikke var høyere enn tillatt antall for hele året.

Målinger utført ved Geiranger tyder altså på at konsentrasjonene av svevestøv særlig ved havneområdet tidvis kan være problematiske. Nivåer målt ved kaien kan tenkes i stor grad å skyldes andre utslippskilder enn cruiseskip, som små og mellomstore fartøy som ligger til havn og bil- og busstrafikk, som ikke var inkludert i beregningene foretatt i denne studien.

## 6.5 Forslag til avbøtende tiltak

Ettersom sjøgående fartøy kan medføre betydelige utslipp til luft i verdensarvfjordene som kan utgjøre en risiko for menneskers helse og naturmiljøet og som tidvis fører til dannelse av uønskede røykskyer som legger seg over områdene, er det viktig å vurdere mulige tiltak for å redusere slike utslipp. En rekke ulike tiltak har blitt gjennomført både internasjonalt, regionalt og nasjonalt, og utslippsgrenser og andre restriksjoner blir stadig skjerpet. Regelverket for reduksjon av utslipp fra skipsfart og regler for energieffektivitet for fartøy har blitt skjerpet gjennom MARPOL. De strengere reglene for svovelinnhold i drivstoff innen EU/EØS-området er eksempler på særegne regionale krav. Enkeltstater i USA som California har også innført strengere krav til utslipp og renseteknologi ved havner.

Hovedformålet med tiltakene vil være å redusere utslippene fra ulike typer fartøy. Strengere krav til utslippsreducerende teknologi kan innføres, for eksempel at alle skip må tilfredsstille Tier II- eller Tier III-kravene med hensyn på  $NO_x$ -utslipp. Kravene til svovelinnhold i drivstoff kan også skjerpes inn ytterligere, slik at svovelinnholdet må være under 0,1 % i alle fjordområder, også utenfor utslippskontrollområdene. Forbud mot tungolje kan vedtas dersom dette er mulig, slik at alle fartøy for eksempel kun kan benytte marin dieselolje. I tillegg kan det settes utslippsgrenser som alle eller enkelte fartøy må overholde. For å oppnå slike krav må muligens en del eldre skip oppgradere motorer og etterinstallere nødvendig renseteknologi som for eksempel eksosgass-resirkulasjonssystemer (EGR) eller selektiv katalytisk reduksjon (SCR) for å redusere  $NO_x$ -utslipp. Scrubbersystemer er primært laget for å redusere  $SO_x$ -utslippene men bidrar også til å fjerne partikler fra eksosgass. Med tanke på utslipp til sjø, kan det arbeides for å vedta forbud mot utslipp både av rensed og urensed kloakk nær fjordene.

Begrensninger i skipstrafikk er tiltak som er innført for eksempel i fjordområder ved Glacier Bay nasjonalpark i Alaska. I Glacier Bay er det innført både en grense på maksimum to cruiseskip per dag, og en sesonggrense. Cruiseskip som ønsker å besøke området må søke om tilgang og dokumentere miljøtiltak de har implementert. Dette er et svært effektivt tiltak som både begrenser skipstrafikken betraktelig og sørger for at kun skip med god teknologi for utslippsreduksjon har adgang. I utgangspunktet er det også ønskelig for de fleste med mye turisme i de norske fjordene. Det er i tillegg store forskjeller mellom fjordområder i Norge og i Alaska når det gjelder forutsetninger som gjeldende regelverk, innbyggertall, naturtyper og turisme. Arbeid for reduksjon i utslipp fra eksisterende skipstrafikk er trolig mer aktuelt og ønskelig i Norge. Ett aktuelt

tiltak kunne være å arbeide for å utvide dagens utslippskontrollområder til å omfatte hav- og fjordområder nord for den eksisterende grensen. Dagens ECA i Nordsjøen går opp til 62 °N, og omfatter dermed Aurlandsfjorden og Nærøyfjorden, men ikke Geirangerfjorden.

Det kan også innføres krav til rapportering av tekniske forhold ved skipene som er av betydning for utslipp. Det vil måtte avgjøres hvilken type fartøy som skal omfattes av et slikt krav, hvilke instanser det skal rapporteres til, og om håndteringen vil være overkommelig i forhold til nytteverdien.

For alle aktuelle tiltak må det foretas avveininger mellom potensiell nytteverdi og negative konsekvenser. Målet med tiltakene er å redusere utslippene, noe som kan redusere risikoen for skadelige helseeffekter og negative effekter på naturen i områdene, samt medføre mindre dannelse av synlige røykskyer. I tillegg kan tiltak som utbygging av landstrøm stimulere næringslivet og gi arbeidsplasser lokalt. Slike tiltak vil imidlertid også omfatte betydelige investeringer, og det må bestemmes hvem som skal dekke disse kostnadene. Det vil generelt være mange spørsmål knyttet til gjennomføringen av ulike tiltak relatert til forankring i lovverk, ansvarlige myndigheter, hvilke områder og hvilke typer fartøy kravene skulle gjelde for, måling og vurdering av effekter, og kontroll med og sanksjoner ved brudd på regler. Mange interessenter er involvert: Lokale innbyggere i fjordområdene, turister, eiere av fartøy, lokalt næringsliv og lokale, nasjonale og internasjonale myndigheter.

På grunnlag av undersøkelsene utført som del av denne studien, vurderes problemene rundt utslipp og effekter på lokal luftkvalitet i disse områdene å medføre en viss forhøyet risiko for helseskader i perioder.

Ett av hovedproblemene i områdene er dannelse av større mengder synlig røyk i kortere perioder. Dannelse av røyk ved oppstart av kald motor er en problemstilling som særlig gjelder eldre motorer med dårlig regulering. For fartøy som benytter scrubbersystemer, kan det gjøres tiltak for å varmeveksle eller tørke eksosen etter scrubber slik at vandampen ikke synes. Dialog med fokus på operasjonelle tiltak som reviderte prosedyrer ved kaldstart av motorer, spesifikke forbedringer til avgang og generell bevissthet rundt utslipp kan bidra til å avbøte på problemet med dannelse av røykskyer i de aktuelle områdene.

## 7. KONKLUSJON

Kartleggingen av utslipp til luft og sjø fra skipsfart i verdensarvfjordene Geirangerfjorden, Aurlandsfjorden og Nærøyfjorden for perioden tydet på at luftkvaliteten særlig ved Geiranger og Flåm tidvis kan være problematisk og muligens medføre noe økt risiko for helseskader.

De beregnede utslippene i løpet av sommermånedene juni, juli og august 2016 var størst for  $\text{NO}_x$ , og høyest i områdene nær Geiranger og Flåm der cruiseskipene regelmessig lå til havn. Spredningsberegningene foretatt med CALPUFF viste også gjennomgående høyere konsentrasjoner og størst spredning av  $\text{NO}_2$  sammenlignet med  $\text{SO}_2$ ,  $\text{PM}_{2,5}$  og  $\text{PM}_{10}$ . Store deler av områdene ved Geirangerfjorden inkludert Geiranger og Flåm i Aurlandsfjorden hadde tidvis  $\text{NO}_2$ -nivåer som kan klassifiseres som moderate og utgjøre en moderat helserisiko, i henhold til varslingsklassene. Nivåene av  $\text{SO}_2$  og  $\text{PM}_{10}$  var vel under de foreliggende grenseverdiene for tiltak i utendørs luft gitt i forurensningsforskriftens kapittel 7, mens  $\text{NO}_2$ -konsentrasjonene oversteg timegrenseverdien over en kort tidsperiode i mindre områder som er ubebodde. For det aller meste av tiden og de fleste stedene ved verdensarvfjordene var konsentrasjonene av de undersøkte komponentene godt under grenseverdiene i henhold til forurensningsforskriften.

Utslippsberegningene foretatt i studien viste at cruise- og passasjerskipene klart dominerte når det gjaldt utslipp til luft i sommermånedene juni-august i verdensarvområdene. Bilder tatt med det utplasserte GoPro-kameraet over Geirangerfjorden viste at synlige røykskyer ble dannet også fra enkelte andre rutegående kombinerttype-skip. Ettersom kun utslipp fra cruise- og passasjerskipene var inkludert i spredningsmodelleringen, er spredningen av luftforurensning i områdene muligens noe større enn det beregningene viser.

Det er først og fremst ferjer og Hurtigruten, i tillegg til enkelte cruiseskip, som slipper ut rensket kloakk og gråvann til sjø i verdensarvfjordene. De aller fleste fartøyene som ferdes i fjordene har ifølge spørreundersøkelsen ikke utslipp av lensevann og stoffer fra scrubbersystemer.

En rekke tiltak for reduksjon i utslipp til luft og sjø fra cruiseskip og andre fartøy som anløper verdensarvfjordene samt andre fjordområder i Norge kan potensielt gjennomføres. Tiltak kan rettes mot skjerpede krav til utslipp, renseteknologi, drivstofftype, motortype og operasjon/drift på alle skip, eller det kan innføres begrensninger i antall skip som får besøke visse definerte områder. Utvidelse av utslippskontrollområdene nordover og innføring av flere særkrav til slike områder kunne vurderes for å omfatte flere fjordområder og tilpasse utslippsreglement til disse. Utbygging av landstrøm i fjordområdene vil også kunne redusere utslippene til luft i betydelig grad.

## REFERANSER

- [1] V. Eyring, H. W. Köhler, J. van Aardenne, og A. Lauer, "Emissions from international shipping: 1. The last 50 years," *J. Geophys. Res.*, vol. 110, no. D17, p. D17305, 2005.
- [2] S. S. Lim *m.fl.*, "A comparative risk assessment of burden of disease and injury attributable to 67 risk factors og risk factor clusters in 21 regions, 1990-2010: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2010.," *Lancet (London, Englog)*, vol. 380, no. 9859, pp. 2224-60, Dec. 2012.
- [3] J. J. Corbett, J. J. Winebrake, E. H. Green, P. Kasibhatla, V. Eyring, og A. Lauer, "Mortality from Ship Emissions: A Global Assessment," *Environ. Sci. Technol.*, vol. 41, no. 24, pp. 8512-8518, Dec. 2007.
- [4] Folkehelseinstituttet (FHI), "03. Nitrogendioksid (NO2) - Forurensninger i uteluft - FHI," 2015. [Online]. Tilgjengelig fra: <https://www.fhi.no/nettpub/mihe/uteluft/03.-nitrogendioksid-no2---forurensn/>. [Hentet: 26-Apr-2017].
- [5] Folkehelseinstituttet (FHI), "04. Svevestøv - Forurensninger i uteluft," *The Lancet*, Dec-2012. [Online]. Tilgjengelig fra: <https://www.fhi.no/nettpub/mihe/uteluft/04.-svevestov--forurensninger-i-ut/>. [Hentet: 26-Apr-2017].
- [6] Folkehelseinstituttet (FHI), "06. Svoveldioksid (SO2) - Forurensninger i uteluft," *Inhalation Toxicology*, Jan-2015. [Online]. Tilgjengelig fra: <https://www.fhi.no/nettpub/mihe/uteluft/06.-svoveldioksid-so2---forurensn/>. [Hentet: 26-Apr-2017].
- [7] Sjøfartsdirektoratet, "Nye svovelkrav fra IMO - Sjøfartsdirektoratet," 2016. [Online]. Tilgjengelig fra: <https://www.sjofartsdir.no/aktuelt/nyheter/nye-svovelkrav-fra-imo/>. [Hentet: 26-Apr-2017].
- [8] J. F. Lindgren, M. Wilewska-Bien, L. Granhag, K. Ogersson, og K. M. Eriksson, "Discharges to the Sea," in *Shipping og the Environment*, Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2016, pp. 125-168.
- [9] International Maritime Organization (IMO), "International Convention for the Prevention of Pollution from Ships (MARPOL)," 2017. [Online]. Tilgjengelig fra: [http://www.imo.org/en/about/conventions/listofconventions/pages/international-convention-for-the-prevention-of-pollution-from-ships-\(marpol\).aspx](http://www.imo.org/en/about/conventions/listofconventions/pages/international-convention-for-the-prevention-of-pollution-from-ships-(marpol).aspx). [Hentet: 06-Apr-2017].
- [10] European Maritime Safety Agency (EMSA), "Directive 2005/33/EC," 2005. [Online]. Tilgjengelig fra: <http://www.emsa.europa.eu/implementation-tasks/environment/item/97.html>. [Hentet: 26-Apr-2017].
- [11] Klima- og miljødepartementet, "Forskrift om begrensning av forurensning (forurensningsforskriften) FOR 2004-06-01, 2004. [Online]. Tilgjengelig fra: <http://www.lovdata.no/cgi-wift/ldles?doc=/sf/sf/sf-20040601-0931.html#map040>. [Hentet: 13-Mar-2017].
- [12] European Union (EU), "Directive 2008/50/EC on ambient air quality and cleaner air for Europe," 2008. [Online]. Tilgjengelig fra: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2008:152:0001:0044:en:PDF>. [Hentet: 26-Apr-2017].
- [13] Miljøverndepartementet, "Retningslinje for behogling av luftkvalitet i arealplanlegging (T-1520)," 2012. [Online]. Tilgjengelig fra: <https://www.regjeringen.no/contentassets/3b1e1d20ee364e61ab2949814a9212ca/t-1520.pdf>. [Hentet: 13-Mar-2017].
- [14] Folkehelseinstituttet; Miljødirektoratet, "Luftkvalitetskriterier - Virkninger av luftforurensning på helse Rapport 2013:9," Oslo, 2013.
- [15] Folkehelseinstituttet; Vegdirektoratet; Miljødirektoratet, "Varslingsklasser for luftkvalitet," 2015. [Online]. Tilgjengelig fra: [http://www.luftkvalitet.info/Libraries/Rapporter/Varslingsklasser\\_informasjonsbrosjyre.sflb.ashx](http://www.luftkvalitet.info/Libraries/Rapporter/Varslingsklasser_informasjonsbrosjyre.sflb.ashx). [Hentet: 13-Mar-2017].
- [16] Klima- og miljødepartementet, *Forskrift om miljømessig sikkerhet for skip og flyttbare innretninger FOR-2012-05-30-488*. Forskrift, 2012.
- [17] The United Nations Economic Commission for Europe (UNECE), "Gothenburg Protocol," 2012. [Online]. Tilgjengelig fra: <http://www.unece.org/environmental-policy/conventions/envlrapwelcome/guidance-documents-og-other-methodological->

- materials/gothenburg-protocol.html. [Hentet: 26-Apr-2017].
- [18] Klima- og miljødepartementet, "Lov om vern mot forurensninger og om avfall (forurensningsloven)," *Lovdata*, 2015. [Online]. Tilgjengelig fra: <https://lovdata.no/dokument/NL/lov/1981-03-13-6>. [Hentet: 13-Mar-2017].
- [19] Norsk institutt for luftforskning (NILU); Statens vegvesen; Miljødirektoratet, "Luftkvalitet.info." [Online]. Tilgjengelig fra: <http://www.luftkvalitet.info/home.aspx>. [Hentet: 13-Mar-2017].
- [20] Klima- og miljødepartementet, "Forskrift om hindring av spredning av fremmede organismer via ballastvann og sedimenter fra skip (ballastvannforskriften). FOR-2009-07-07-992," 2009. [Online]. Tilgjengelig fra: <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2009-07-07-992>. [Hentet: 27-Apr-2017].
- [21] D. Stenersen, "Operasjonsdata fra skipsfart i Geiranger, Nærøy- og Aurlogsfjorden. Datainnsamling fra cruiseskip og lokal trafikk. Versjon 2.0, rapportnr. 302002020-1," 2016.
- [22] W. C. Skamarock og J. B. Klemp, "A time-split nonhydrostatic atmospheric model for weather research and forecasting applications," 2007.
- [23] U.S. Geological Survey (USGS), "Global 30 Arc-Second Elevation (GTOPO30)," 2015. [Online]. Tilgjengelig fra: <https://lta.cr.usgs.gov/GTOPO30>. [Hentet: 27-Apr-2017].
- [24] The European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF), "ERA-Interim," *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, Apr-2017. [Online]. Tilgjengelig fra: <http://www.ecmwf.int/en/research/climate-reanalysis/era-interim>. [Hentet: 27-Apr-2017].
- [25] Group for High Resolution Sea Surface Temperature (GHRSSST), "GHRSSST – The Group for High Resolution Sea Surface Temperature," 2017. [Online]. Tilgjengelig fra: <https://www.ghrsst.org/>. [Hentet: 27-Apr-2017].
- [26] National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), "Meteorological Assimilation Data Ingest System (MADIS)," 2017. [Online]. Tilgjengelig fra: <https://madis.ncep.noaa.gov/>. [Hentet: 27-Apr-2017].
- [27] C. Trozzi og R. De Lauretis, "International maritime navigation, international inlog navigation, national navigation (shipping), national fishing, military (shipping), and recreational boats. In: EMEP/EEA air pollutant emission inventory - 2016 guidebook," 2016. [Online]. Tilgjengelig fra: <http://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2016>.
- [28] Kystverket, "AIS Norge," 2017. [Online]. Tilgjengelig fra: <http://www.kystverket.no/AIS>. [Hentet: 26-Apr-2017].
- [29] International Maritime Organization (IMO), "IHS Fairplay - The source for maritime information and insight," 2017. [Online]. Tilgjengelig fra: <http://www.ihsfairplay.com/IMO/imo.html>. [Hentet: 25-Apr-2017].
- [30] U.S. Environmental Protection Agency (EPA), "Current Methodologies in Preparing Mobile Source Port-Related Emission Inventories Final Report April 2009," 2009. [Online]. Tilgjengelig fra: <https://archive.epa.gov/sectors/web/pdf/ports-emission-inv-april09.pdf>. [Hentet: 25-Apr-2017].
- [31] Statens vegvesen, "Nasjonal vegdatabank (NVDB)," 2017. [Online]. Tilgjengelig fra: <http://www.vegvesen.no/fag/teknologi/Nasjonal+vegdatabank>. [Hentet: 26-Apr-2017].
- [32] HBEFA, "The Handbook Emission Factors for Road Transport (HBEFA)." [Online]. Tilgjengelig fra: <http://www.hbefa.net/e/index.html>. [Hentet: 15-Feb-2017].
- [33] T. Sandmo, "The Norwegian Emission Inventory 2016. Documents 2016/22," 2016.
- [34] L. Ntziachristos og P. Boulter, "1.A.3.b.vi Road transport: Automobile tyre and brake wear; 1.A.3.b.vii Road transport: Automobile road abrasion," in *European Environment Agency (EEA): EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016*, 2016.
- [35] Exponent Engineering and Scientific Consulting, "Official CALPUFF Modeling System," 2017. [Online]. Tilgjengelig fra: <http://www.src.com/>. [Hentet: 26-Apr-2017].
- [36] United States Environmental Protection Agency (USEPA), "Related Programs: Mesoscale Model Interface Program (MMIF)," 2017. [Online]. Tilgjengelig fra: [https://www3.epa.gov/scram001/dispersion\\_related.htm](https://www3.epa.gov/scram001/dispersion_related.htm). [Hentet: 26-Apr-2017].
- [37] RTP Environmental Associates Inc., "Ambient Ratio Method Version 2 (ARM2) for use with AERMOD for 1-hr NO<sub>2</sub> Modeling. Development and Evaluation Report," 2013.
- [38] Store norske leksikon, "Røyk – avgass," 2015. [Online]. Tilgjengelig fra: [https://snl.no/røyk\\_-\\_avgass](https://snl.no/røyk_-_avgass). [Hentet: 27-Apr-2017].

- [39] J. Löffler, "Long-Term Air Quality Monitoring Program UNESCO World Natural Heritage 'Geiranger Fjord', Norway. Annual Scientific Report 2016," 2016.
- [40] I. Haugsbakk og D. Tønnesen, "Luftkvalitet Geiranger Sommeren 2010 OR 87/2010," 2010.
- [41] Ramboll Environ US Corp., "Support Software - Comprehensive Air Quality Model with Extensions (CAMx) - METSTAT," 2015. [Online]. Tilgjengelig fra: <http://www.camx.com/download/support-software.aspx>. [Hentet: 27-Apr-2017].
- [42] C. Emery, E. Tai, og G. Yarwood, "Enhanced meteorological modeling and performance evaluation for two Texas ozone episodes. Prepared for the Texas Natural Resource Conservation Commission (now TCEQ), by ENVIRON International Corp, Novato, CA," 2001. [Online]. Tilgjengelig fra: <https://www.tceq.texas.gov/assets/public/implementation/air/am/contracts/reports/mm/EnhancedMetModelingOgPerformanceEvaluation.pdf>. [Hentet: 27-Apr-2017].
- [43] S. Kemball-Cook, Y. Jia, C. Emery, og R. Morris, "Alaska MM5 Modeling for the 2002 Annual Period to Support Visibility Modeling. Utarbeidet for the Western Regional Air Partnership, by ENVIRON International Corp., Novato, CA. Oppsummert på: [https://www3.epa.gov/scram001/adhoc/emery\\_ak\\_2005.pdf](https://www3.epa.gov/scram001/adhoc/emery_ak_2005.pdf)," 2005.
- [44] D. McNally, "2km MM5 Performance Goals," 2009. [Online]. Tilgjengelig fra: <https://www3.epa.gov/scram001/adhoc/mcnally2009.pdf>. [Hentet: 27-Apr-2017].



## **VEDLEGG 1 BILDER FRA GEIRANGERFJORDEN**

Eksempler på bilder av fartøy som besøkte Geirangerfjorden og som produserte synlige røyk-skyer er vist nedenfor. Bildene ble tatt med et GoPro-kamera montert ved en privat eiendom i Geiranger med utsikt ut over fjorden, med 30 minutters intervaller i perioden 4. august til 30. september 2016. Dato og tidspunkt er markert på bildene.





## **VEDLEGG 2**

### **SPESIFIKASJONER FOR METEOROLOGISK MODELLERING MED WRF**

Spesifikasjoner valgt for WRF-modellen for simulering av meteorologi for områdene ved Geirangerfjorden og Nærøyfjorden/Aurlandsfjorden for sommermånedene juni-august 2016 er oppført nedenfor. Detaljene for det vertikale domenet er vist i Tabell V2-1, mens fysikk brukt i modellen er vist i Tabell V2-2.

**Tabell V2-1. Oversikt over definerte vertikale lag i WRF-simuleringene.**

WRF-lag	Sigma*	Trykk (mb)	Høyde (m)	Tykkelse (m)
33	0,0000	100	15 999	1230
32	0,0270	124	14 769	1262
31	0,0600	154	13 507	1288
30	0,1000	190	12 219	1357
29	0,1500	235	10 862	1161
28	0,2000	280	9701	1018
27	0,2500	325	8683	910
26	0,3000	370	7773	824
25	0,3500	415	6949	755
24	0,4000	460	6194	562
23	0,4400	496	5633	530
22	0,4800	532	5103	501
21	0,5200	568	4602	477
20	0,5600	604	4125	453
19	0,6000	640	3672	413
18	0,6380	674	3259	355
17	0,6720	705	2904	332
16	0,7050	735	2572	304
15	0,7360	762	2268	284
14	0,7660	789	1984	267
13	0,8000	816	1717	243
12	0,8220	840	1474	203
11	0,8450	861	1271	182
10	0,8660	879	1089	170
9	0,8860	897	919	159
8	0,9100	915	761	140
7	0,9200	930	620	130
6	0,9380	944	490	113
5	0,9520	957	377	104
4	0,9650	969	273	94
3	0,9770	979	179	78
2	0,9870	988	101	62
1	0,9950	996	39	39
0	1,0000	1013	0	

\*Sigma betegner en andel av trykkforskjellen mellom planetens overflate og toppen på modellen, og utgjør de vertikale koordinatene i WRF-modellen.

**Table V2-2. Valg for fysikk brukt i WRF-simuleringene for meteorologi ved norske fjordområder sommeren 2016.**

WRF-behandling	Opsjon valgt	Bemerkninger
Mikrofysikk	Thompson	System med is-, snø- og hagl-prosesser egnet for høyoppløselige simuleringer
Langbølget stråling	RRTMG	"Rapid Radiative Transfer Model" (RRTM) for GCM inkluderer tilfeldig skydekke og forbedret effektivitet sammenlignet med RRTM
Kortbølget stråling	RRTMG	Som ovenfor, men for kortbølget stråling
Landoverflatemodell (LSM)	Noah	System med jordtemperatur og fuktighet i fire lag, fraksjonert snølag og fysikk for frossent jordsmonn
Planetarisk grenseskikt (PBL)-system	YSU	Ikke-lokalt K-system med eksplisitte innblandings-lag og parabolisk K-profil i ustabile blandede lag
Cumulus-parameterisering	Multiskala Kain-Fritsch ble brukt for Geirangerfjorden-domenet.  Grell-Freitas ble brukt for Nærøyfjorden/Aurlandsfjorden-domenet for å unngå feil forårsaket av vertikal ustabilitet innenfor rutenettcellene	MSKF benytter skala-avhengig dynamisk justeringstidsskala, LCC-basert. Bruker også ny trigger-funksjon basert på Bechtold.  GF er et skala-avhengig grunt cumulus-system med svært lite dyp konveksjon

## **VEDLEGG 3**

### **VALIDERING AV WRF-MODELL**

En kvantitativ evaluering av WRF-simuleringene for de norske fjordene ble foretatt. Evalueringen sammenlignet meteorologiske observasjoner med WRF-prediksjoner for sammenfallende tid og sted. Den følgende teksten inneholder en oppsummering av evalueringen av WRF-simuleringens modellytelse ved bruk av METSTAT. I tillegg ble det utført en kvalitativ analyse av WRF-sommervinden nær cruiseskip-destinasjonene. Ettersom det ikke finnes komplette vindobservasjonsdata innenfor noen av 300 meters-domenene, ble WRF-vindrosene tolket i henhold til det lokale terrenget.

### Kvantitativ evaluering ved bruk av METSTAT

En kvantitativ evaluering av ytelsen til WRF-simuleringene ble utført ved bruk av integrerte timesvise meteorologiske målinger og den offentlig tilgjengelige METSTAT-programvaren for modellevaluering[41]. METSTAT beregner statistiske mål på ytelse for skjevhet, feil og korrelasjon for overflatevind, temperatur og blandingsratio (dvs. vanndamp eller fuktighet). For å evaluere av en meteorologisk modellsimulering for bruk til luftkvalitetsmodellering brukes en rekke standarder for måling av ytelse. Tabell V3-1 lister opp standardene for måling av ytelse for meteorologiske modeller i enkle[42] og komplekse[43] situasjoner. De enkle standardene ble utviklet for å analysere meteorologiske modeller for bruk for enkelt, for det meste flatt terreng og enkle meteorologiske forhold (f.eks. stabilt høytrykk). Disse modellene oppnår god ytelse, og ble for det meste brukt i luftkvalitetsmodelleringstudier (f.eks. ozonmodellering som del av amerikanske «State Implementation Plan»). De komplekse standardene ble utviklet i forbindelse med modellering av regional tåke i det mellomstatlige samarbeidsprosjektet «Western Regional Air Partnership» (WRAP) i USA, og er standarder for måling av ytelse for mer komplekse forhold, som fjellterrenget nær fjordene. McNally (2009)[44] analyserte flere årlige kjøringene som inkluderte forhold med komplekst terreng, og foreslo et alternativt sett med standarder for temperatur under mer komplekse forhold. Hensikten med standardene er å gi en forståelse for hvor gode eller dårlige resultatene er relativt til andre modellapplikasjoner.

De initiale WRF-meteorologivariablene ble sammenlignet med standardene for å gi en indikasjon på ytelsen til WRF-modellen. Disse standardene inkluderer skjevhet og feil i temperatur, vindretning og blandingsratio, bias relatert til vindhastighet, og middelavvik («Root Mean Squared Error», RMSE) mellom modellen og databasene.

**Tabell V3-1. Standarder for vurdering av ytelse til meteorologiske modeller for enkle og komplekse forhold**

Parameter	Emery m.fl. (2001)[42]	Kemball-Cook m.fl. (2005)[43]	McNally (2009)[44]	Resultatkriterier
Forhold	Enkle	Komplekse	Komplekse	Komplekse
Temperatur - skjevhet	$\leq \pm 0,5$ K	$\leq \pm 2,0$ K	$\leq \pm 1,0$ K	$\leq \pm 1,0$ K
Temperatur - feil	$\leq 2,0$ K	$\leq 3,5$ K	$\leq 3,0$ K	$\leq 3,0$ K
Fuktighet - skjevhet	$\leq \pm 1,0$ g/kg	$\leq \pm 0,8$ g/kg	$\leq \pm 1,0$ g/kg	$\leq \pm 1,0$ g/kg
Fuktighet - feil	$\leq 2,0$ g/kg	$\leq 2,0$ g/kg	$\leq 2,0$ g/kg	$\leq 2,0$ g/kg
Vindhastighet - skjevhet	$\leq \pm 0,5$ m/s	$\leq \pm 1,5$ m/s	(ikke vurdert)	$\leq \pm 1,5$ m/s
Vindhastighet - RMSE	$\leq 2,0$ m/s	$\leq 2,5$ m/s	(ikke vurdert)	$\leq 2,5$ m/s
Vindretning - skjevhet	$\leq \pm 10$ grader	(ikke vurdert)	(ikke vurdert)	$\leq \pm 10$ grader
Vindretning - feil	$\leq 30$ grader	$\leq 55$ grader	(ikke vurdert)	$\leq 55$ grader



Resultatene fra WRF-simuleringen ble sammenholdt med norske meteorologiske data. Data fra alle værstasjonene er samlet i en klimadatabase, som driftes av Meteorologisk institutt og er åpent tilgjengelig via eKlima. Mange stasjoner med tilstrekkelige data er plassert innenfor WRF-domenene med 24,3 km, 8,1 km og 2,7 km oppløsning. Noen stasjoner gir også observasjoner innenfor 900 meters-domenene for hvert fjordområde.

Et standard sett statistiske mål fra METSTAT-pakken ble brukt i evalueringen. Disse målene ble beregnet for times-, døgn- og månedlige data for vindhastighet, vindretning, temperatur og fuktighet ved overflaten, ved bruk av tilgjengelige målte værdata. Målene på ytelsen til WRF-meteorologimodellen ble sammenlignet med standardmålene for ytelse for enkle og komplekse modeller ved bruk av «fotball»- («soccer»)-plott. «Fotball»-plott bruker to mål på modellytelse som verdier for x- og y-aksen (f.eks. skjevhet i temperatur som x og feil i temperatur som y), sammen med standardene for ytelse. Jo nærmere symbolene er origo, jo bedre er modellens ytelse. Med slike plott er det enkelt å se når de to målene på modellytelse havner innenfor standardlinjene. Statistiske mål beregnet av METSTAT inkluderer observerte og predikerte gjennomsnitt, predikert skjevhet og predikert feil, som beregnes i henhold til følgende formler:

Gjennomsnittlige observasjoner ( $M_o$ ) beregnes ved bruk av verdier fra alle steder for en gitt tidsperiode ved hjelp av ligning (1):

$$M_o = \frac{1}{IJ} \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I O_j^i \quad (1)$$

Der  $O_j^i$  er den individuelt observerte mengden ved sted  $i$  og tid  $j$ , og alle stedene ( $I$ ) og alle tidsperiodene ( $J$ ) summeres.

Gjennomsnittlig prediksjon ( $M_p$ ) beregnes ut fra de simulerte resultatene som interpoleres til hver observasjon brukt til å beregne den gjennomsnittlige observasjonen for en gitt tidsperiode (ligning [2]):

$$M_p = \frac{1}{IJ} \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I P_j^i \quad (2)$$

Der  $P_j^i$  er den individuelt predikerte mengden ved sted  $i$  og tid  $j$ . Det gjøres oppmerksom på at gjennomsnittlige vindhastighet og vindretning er derivert fra vektor-gjennomsnittet (for øst-vest-komponenten  $u$  og nord-sør-komponenten  $v$ ), der skjevhet ( $B$ ) beregnes som gjennomsnittlige differanse mellom prediksjons-observasjonspaar med gyldige data innen en gitt analyseregion og for en gitt tidsperiode i henhold til ligning (3):

$$B = \frac{1}{IJ} \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I (P_j^i - O_j^i) \quad (3)$$

Bruttofeilen  $E$  beregnes som den gjennomsnittlige absolutte differansen i prediksjons-observasjonsparene med gyldige data innen en gitt analyseregion og for en gitt tidsperiode i henhold til ligning (4):

$$E = \frac{1}{IJ} \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I |P_j^i - O_j^i| \quad (4)$$

Skjevheten og bruttofeilen for vind beregnes fra predikert-observert-residualene ut fra hastighet og retning (ikke ut fra komponentene  $u$  og  $v$ ). Feilen i retning for et gitt prediksjons-observasjonspar er begrenset til verdier fra 0 til  $\pm 180^\circ$ .

Middelavviket («Root Mean Square Error», RMSE) beregnes som kvadratroten av den kvadratiske differansen i prediksjons-observasjonspar med gyldige data innen en gitt analyseregion for en gitt tidsperiode (ligning 5):

$$RMSE = \left[ \frac{1}{IJ} \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I (P_j^i - O_j^i)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (5)$$

RMSE, i likhet med bruttofeilen, er et godt egnet samlet mål på modellytelse. Imidlertid kan større feil i små sub-regioner gi en stor RMSE ettersom store feil vektet høyt (pga. kvadrering), selv om feilene i seg selv kan være små og akseptable ellers.

### Resultater fra evalueringen av WRF-modellytelse

«Fotball»-plott for METSTAT-evalueringresultatene for temperatur, fuktighet, vindhastighet og vindretning ved så høy oppløsning i rutenett som mulig er vist i Figur V3-1 (2-m temperatur), V3-2 (2-m blandingsratio), V3-3 (10-m vindhastighet) og V3-4 (10-m vindretning). Tilstrekkelige resultater for analyse var tilgjengelige for domenene med 900 meter og lavere oppløsning. Meteorologiske data egnet for METSTAT-analyse var ikke tilgjengelige for 300 meters-domenene.

#### METSTAT modellevalueringresultater for 2-m temperatur

Gjennomsnittlige månedlige 2-m temperatur-skjevhet og –feil havnet innenfor standardene for komplekse modeller for begge domenene for de norske fjordområdene og for alle rutenett-oppløsningene der det fantes tilgjengelige meteorologiske observasjoner. Figur viser METSTAT-temperaturresultater for 2,7 km og 900 m rutenettene for både Geirangerfjorden- og Nærøyfjorden/Aurlandsfjorden-domenene. Ytelsen for temperatur var særlig sterk i 2,7 km-domenet for Nærøyfjorden/Aurlandsfjorden, der alle månedlige temperatur-feil var innenfor 1 K i forhold til de observerte temperaturene. Temperatur-feilene for juli og august måned var også innenfor 1 K sammenlignet med observasjonene for Geirangerfjorden-domenet. Det å oppfylle standardene for komplekst terreng for begge domenene indikerer svært god modellytelse med tanke på det ekstreme fjellterrenget på Vestlandet. I de mer høyoppløselige domenene ga WRF en lett skjevhet mot varmere temperaturer i Geirangerfjorden-domenet og en lett skjevhet mot kaldere temperaturer i Nærøyfjorden/Aurlandsfjorden-domenet.

#### METSTAT modellevalueringresultater for 2-m blandingsratio

WRF-ytelsen for blandingsratio (luftfuktighet) var veldig sterk for begge domene-kjøringene. Figur viser resultater for METSTAT 2-m blandingsratio for 2,7 km- og 900 m-rutenettene for begge domenene. Legg merke til at tilgjengelige observasjoner for blandingsratio i juli for 900 m-domenet for Geirangerfjorden var utilstrekkelige. Gjennomsnittlige feil i blandingsratio var vel innenfor standardene

for komplekst terreng for begge domenenene ved 2,7 km oppløsning. For Nærøyfjorden/Aurlandsfjorden-domenet oppfylte alle månedene standardene for enkle forhold for luftfuktighet, noe som indikerer svært god modellytelse gitt det komplekse terrenget ved fjordene. For 900 m-rutenettet for Geirangerfjorden produserte WRF en moderat skjevhet mot tørrere forhold for månedene juni og august.

#### Modellevalueringsresultater for 10-m vindhastighet

Modellerte vindhastigheter oppfylte for det meste standardene for komplekse forhold for de tre sommermånedene i hvert domene. Dette indikerer tilfredsstillende modellytelse gitt fjellterrenget på Vestlandet. Figur viser ytelse for 10-m månedlige vindhastighet beregnet i METSTAT for 2,7 km- og 900 m-rutenettene for begge fjordområdene. Ved 900 meter oppløsning var ytelsen for vindhastighet særlig sterk for Nærøyfjorden/Aurlandsfjorden-domenet, der alle månedene oppfylte standardene for komplekst terreng. For Geirangerfjorden-domenet var ytelsen for vindhastighet innenfor standardene for komplekse forhold for juli og august. Skjevheten for gjennomsnittlig vindhastighet i juni måned oppfylte standarden for komplekst terreng på 1,5 m/s, men gjennomsnittlig feil var like over standarden for komplekst terreng på 2,5 m/s.

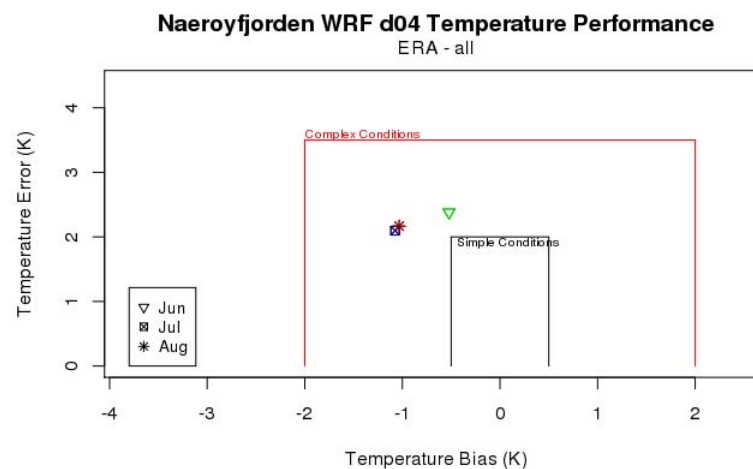
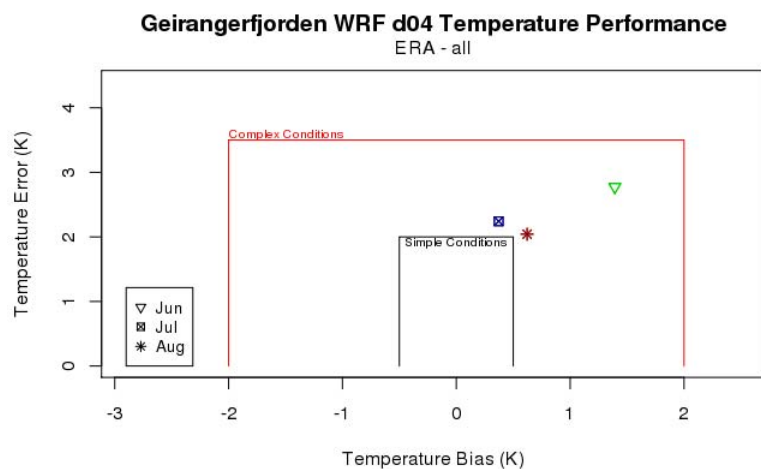
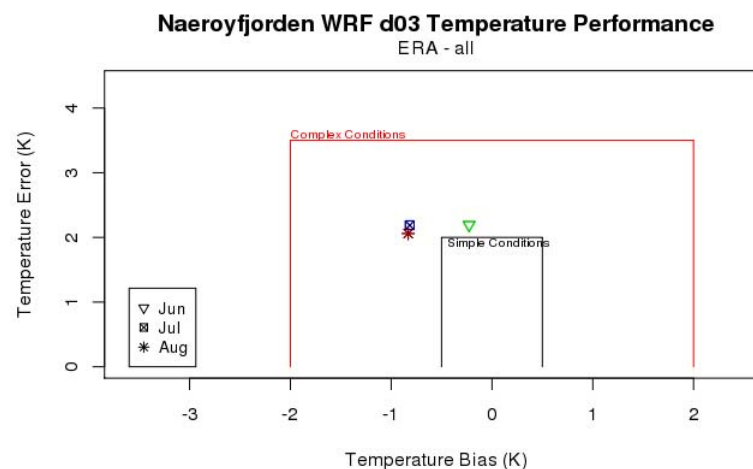
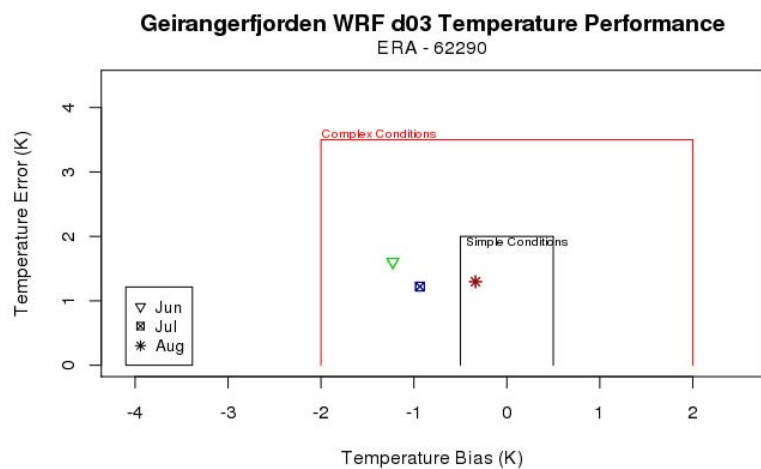
#### Modellevalueringsresultater for 10-m vindretning

Figur viser ytelse for månedlig 10-m vindretning for 2,7 km- og 900 m-domenene for begge fjordområdene. Feilen i 10-m vindretning for både 2,7 km- og 900 m-domenene for Geirangerfjorden oppfylder standardene for komplekse forhold for alle sommermånedene. For skjevheten i vindretning var det imidlertid kun tallene for juli måned ved 900 m oppløsning som oppfylte standarden. For Nærøyfjorden/Aurlandsfjorden-domenet oppfylte de fleste tallene for skjevhet og feil i månedlig vindretning standardene for komplekse forhold. Juli måned hadde de største skjevhetene for begge domenenene.

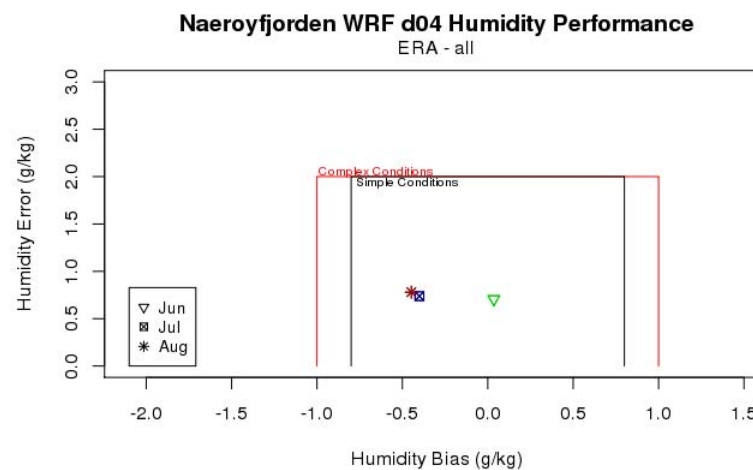
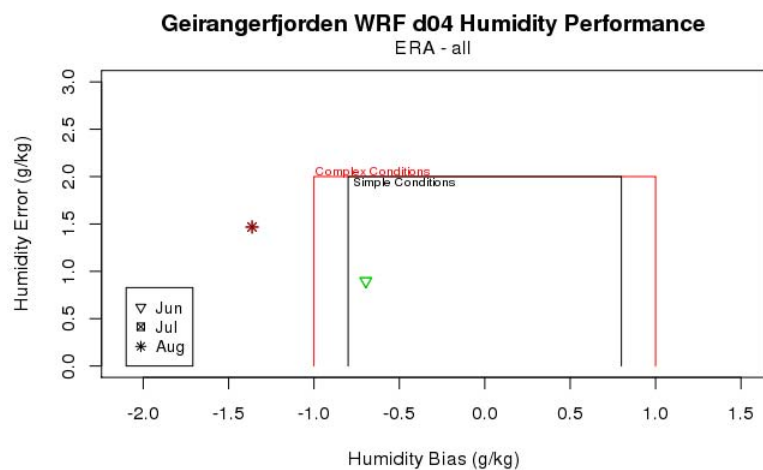
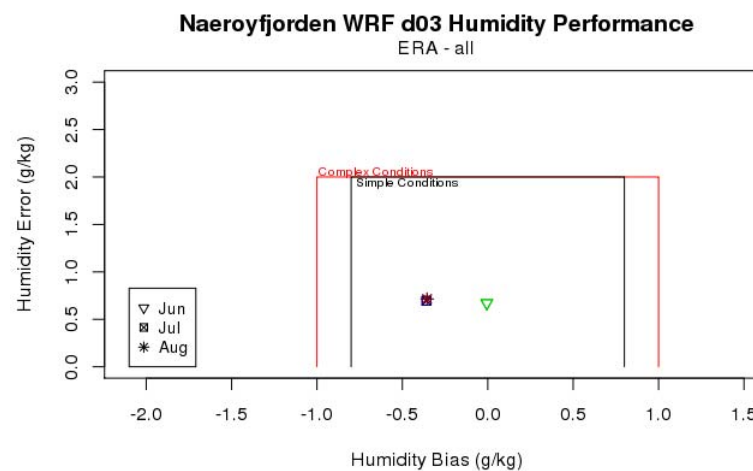
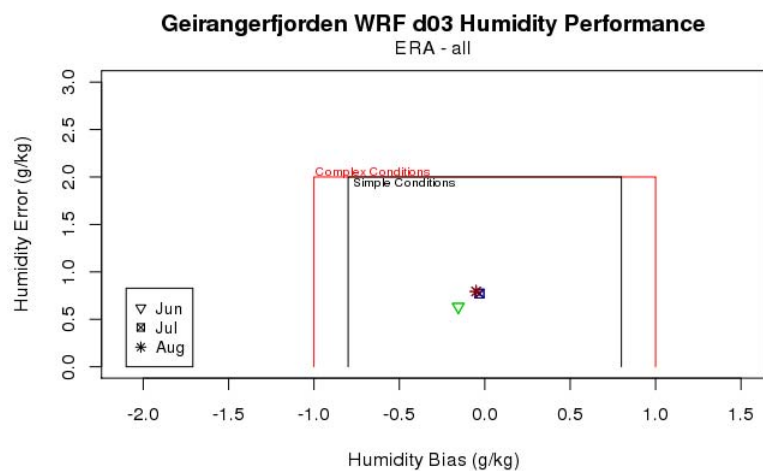
Det er viktig å huske på at 300 m-modelleringsrutenettet, som spredningsmodelleringen blir foretatt for, ikke er inkludert i denne analysen på grunn av utilstrekkelige meteorologiske observasjoner innenfor fjordområdene. Komplekst fjellterreng over størstedelen av kystområdene på Vestlandet gjør det i tillegg vanskelig å simulere særlig vindretning i rutenettene med høy grad av nøyaktighet. En kvalitativ analyse av vindretningene i 300 m-rutenettene er inkludert i neste avsnitt.

#### Kvalitative modellevalueringsresultater for vindretning

På tross av at komplette vinddata ikke var tilgjengelige innenfor noen av de to WRF 300 m-domenene, ble WRF-vindroser generert for steder hyppig trafikkert av cruiseskip for kvalitativ analyse i det lokale terrenget. Figur viser WRF-vindroser i 300 m-rutenettet for Geirangerfjorden lagt opp på et korresponderende terrengekart. Det er tydelig at den modellerte vinden generelt følger retningen på fjordene, som forventet. Figur viser korresponderende WRF-vindroser i 300 m-rutenettet for Nærøyfjorden-Aurlandsfjorden-området. De simulerte vindene korresponderer med terrenget ved fjordene også i dette domenet, mens de to fjordene i dette rutenettet domineres av motsatte vindretninger. Oppsummert stemmer disse plottene overens med forventede vindretninger i fjordene, og støtter opp under antakelsen om at vindhastighetene og -retningene er simulert av WRF med rimelig grad av nøyaktighet.



Figur V3-1. METSTAT-resultater for ytelse i temperatur i 2.7 km- og 900 m-rutenettene for Geirangerfjorden and Nærøyfjorden/Aurlandsfjorden.



Figur V3-2. METSTAT-resultater for ytelse i 2-m blandingsratio i g/kg i 2.7 km- og 900 m-rutenettene for Geirangerfjorden and Nærøyfjorden/Aurlandsfjorden.

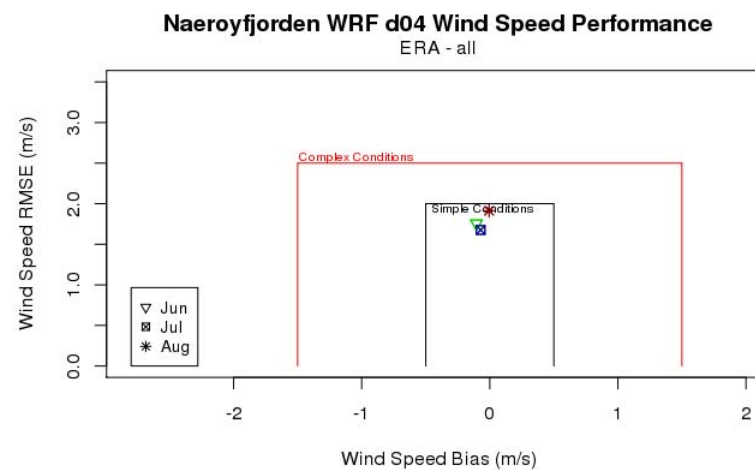
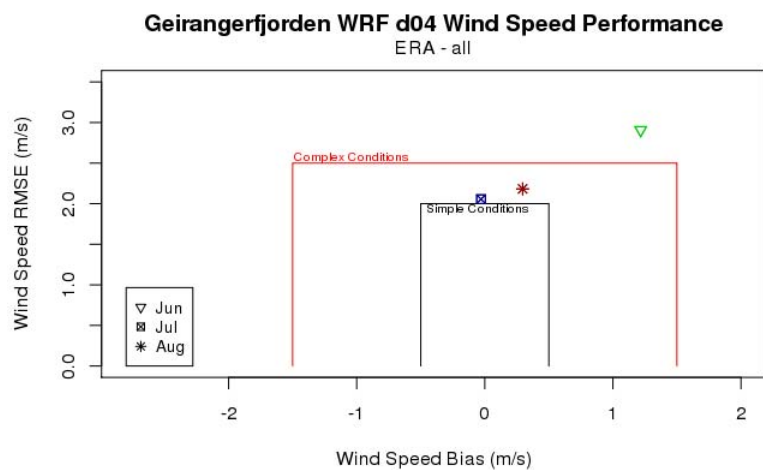
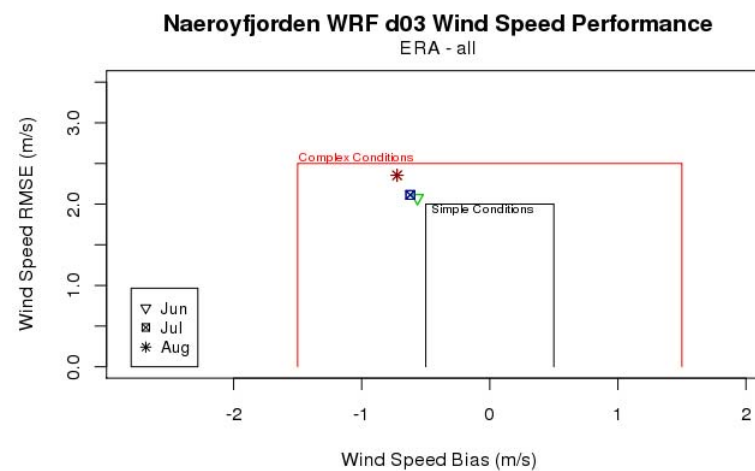
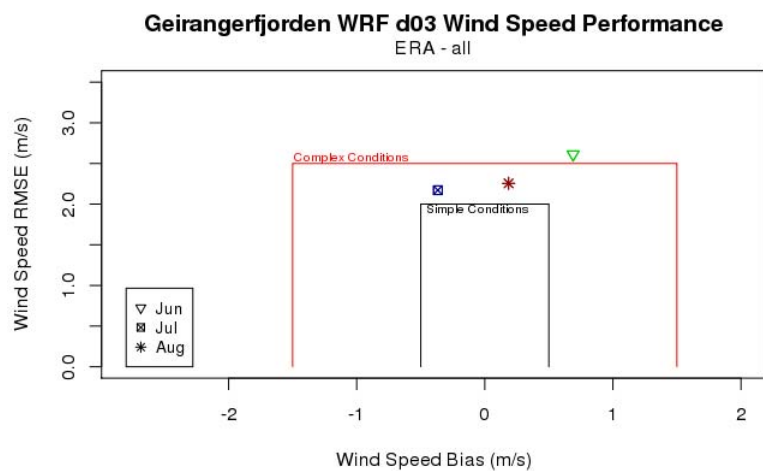
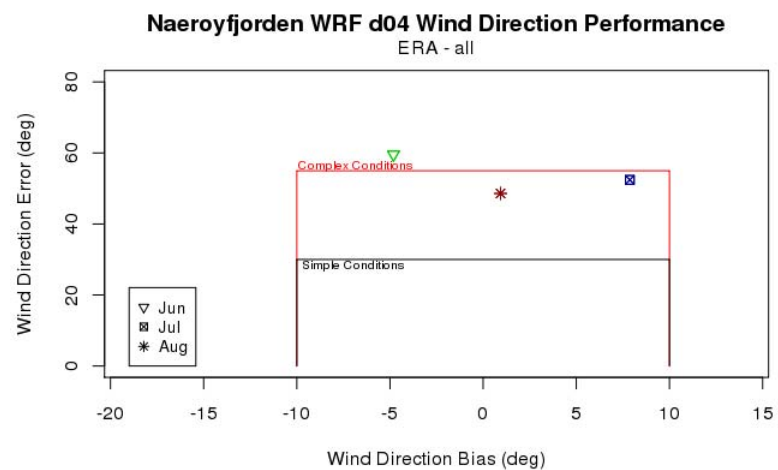
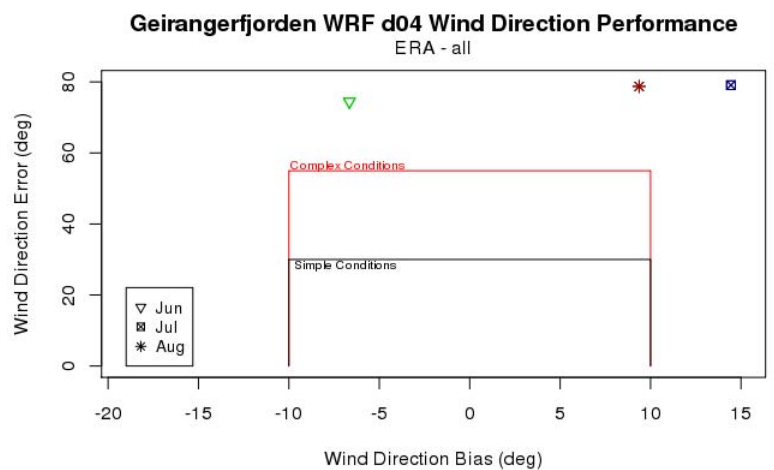
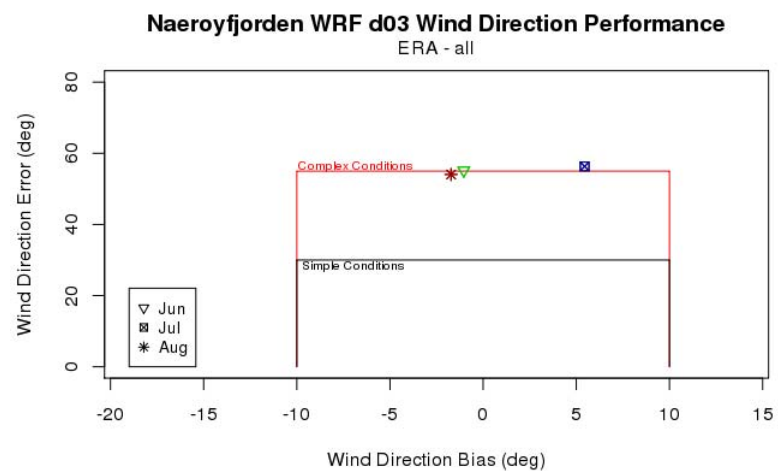
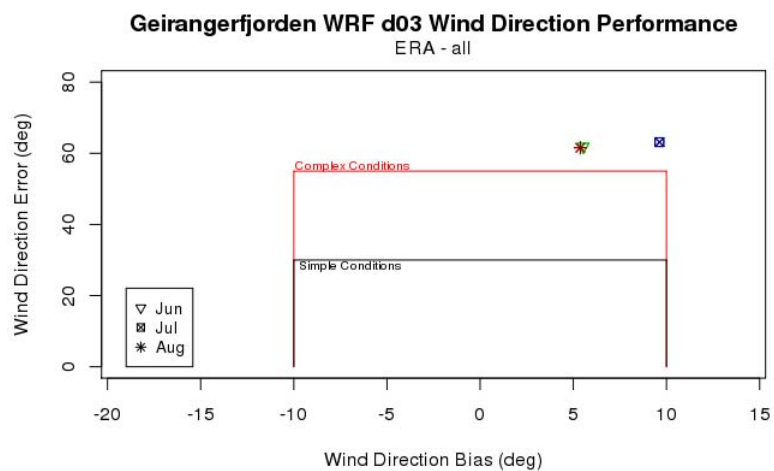


Figure V3-3. METSTAT-resultater for ytelse i 10-m vindhastigheter i m/s i 2.7 km- og 900 m-rutenettene for Geirangerfjorden and Nærøyfjorden/Aurlandsfjorden.



Figur V3-4. METSTAT-resultater for ytelse i 10-m vindretning i m/s i 2.7 km- og 900 m-rutenettene for Geirangerfjorden and Nærøyfjorden/Aurlandsfjorden.

## **VEDLEGG 4**

### **BEREGNINGER AV UTSLIPP TIL LUFT**



Totale utslipp ved verdensarvområdene Geirangerfjorden, Nærøyfjorden og Aurlandsfjorden i perioden juni-august ble estimert. NO<sub>x</sub>-utslipp ble estimert for alle skip, mens for cruiseskip som besøkte områdene i perioden ble utslipp av SO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub> og PM<sub>2,5</sub> beregnet. Utslipp av NO<sub>x</sub>, PM<sub>10</sub> og PM<sub>2,5</sub> ble også beregnet fra veier i områdene.

Utslipp av NO<sub>x</sub> fra lokale ferjer og Hurtigruten ble estimert på grunnlag av tekniske skipsdata fra spørreundersøkelsen utført av SINTEF MARINTEK[21], informasjon om rutetrafikken, samt utslippsfaktorer publisert i EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook[27], se Tabell V4-1.

**Tabell V4-1. Motortekniske data, trafikkdata[21], utslippsfaktorer[27] og estimerte utslipp av nitrogenoksider (NO<sub>x</sub>) fra lokal skipstrafikk i Geirangerfjorden, Aurlandsfjorden og Nærøyfjorden i perioden juni-august 2016.**

	Forbruk/ dag (kg)	Forbruk/ rundtur (kg)	Forbruk/ sesong (tonn)	Antall rund- turer/ sesong	NO <sub>x</sub> - faktor (kg/tonn)	NO <sub>x</sub> / sesong (tonn)	Sum utslipp (tonn)
<i>Geirangerfjorden</i>							
Lokal trafikk		293	108	368	65	7,0	
Hurtigruta			149	92	47,9	7,1	14,1
<i>Aurland + Nærøy</i>							
Lokal trafikk	806		74,2		65	4,8	4,8
							19,0

Utslippene fra cruiseskip ved Geirangerfjorden, Nærøyfjorden og Aurlandsfjorden ble beregnet med utgangspunkt i AIS-skipsposisjoneringsdata og skipsspesifikk informasjon fra IHS Fairplay-databasen.

Ved mangel på informasjon om maskinkraft til fremdrifts- og hjelpemotorer i Fairplay-registret, ble estimater på motorkraft fra U.S. Environmental Protection Agency (EPA)s Current Methodologies in Preparing Mobile Source Port-Related Emission Inventories (EPA CMEI) for ulike skipstyper[30] benyttet. Utdrag fra EPA CMEIs estimater på maskinkraft er oppført i Tabell V4-2. Belastningsfaktorer for hjelpemotorer er vist i Tabell V4-3, mens tall for belastning for dampkjelemotorer er vist i Tabell V4-4. Utslippsfaktorer (i g/kWt), tatt fra IHS Fairplay-databasen[29] og differensiert på motortype og luftforurensende komponent, er oppført i Tabell V4-5, mens Tabell V4-6 inneholder justeringsfaktorer for å kunne korrigere utslippsfaktorene for effekten av liten last[30].

**Tabell V4-2. Standard fremdrifts- og hjelpemotorkraft iht. U.S. Environmental Protection Agency (EPA).[30]**

Skipstype	Gjennomsnitt fremdrifts-maskiner (kW)	Gjennomsnitt hjelpemaskiner			Motorfart	Ratio hjelpemotor/ fremdriftsmotor
		Antall	Kraft/ motor (kW)	Total kraft (MW)		
Auto-tankskip	10 700	2,9	983	2,85	Medium	0,266
Bulkskip	8000	2,9	612	1,776	Medium	0,222
Containerskip	30 900	3,6	1,889	6,8	Medium	0,220
Cruiseskip	39 600	4,7	2,34	11	Medium	0,278
Multi-purpose-skip	9300	2,9	612	1,776	Medium	0,191
Ro-ro-skip	11 000	2,9	983	2,85	Medium	0,259
Fryseskip	9600	4	975	3,9	Medium	0,406
Tankskip	9400	2,7	735	1,985	Medium	0,211

Tabell V4-3. Belastningsfaktorer for hjelpemaskiner iht. EPA CMEI.[30]

Skipstype	Seiling	Sone for redusert fart	Manøvrering	Ligge til havn
Auto-tankskip	0,15	0,30	0,45	0,26
Bulkskip	0,17	0,27	0,45	0,10
Containerskip	0,13	0,25	0,48	0,19
Cruiseskip	0,80	0,80	0,80	0,64
Multi-purpose-skip	0,17	0,27	0,45	0,22
Diverse	0,17	0,27	0,45	0,22
Slepebåt	0,17	0,27	0,45	0,22
Ro-ro-skip	0,15	0,30	0,45	0,26
Fryseskip	0,20	0,34	0,67	0,32
Tankskip	0,24	0,28	0,33	0,26

Tabell V4-4. Tall for belastning for dampkjeler (i kW), iht. EPA CMEI.[30]

Skipstype	Seiling	Sone for redusert fart	Manøvrering	Ligge til havn
Auto-tankskip	0	0	371	371
Bulkskip	0	0	109	109
Containerskip	0	0	506	506
Cruiseskip	0	0	1	1
Multi-purpose-skip	0	0	106	106
Diverse	0	0	371	371
Slepebåt	0	0	0	0
Ro-ro-skip	0	0	109	109
Fryseskip	0	0	464	464
Tankskip	0	0	371	3
Tankskip diverse	0	0	346	346

**Tabell V4-5. Pre-kontrollerte utslippsfaktorer for skipsmotorer (g/kWh), fraksjonert etter type motor og luftforurensende komponent[30]\***

Motortype	Drivstoff-type	Svovel-innhold	NO <sub>x</sub>	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2,5</sub>	HC	CO	SO <sub>x</sub>	CO <sub>2</sub>	BSFC
Lav hastighet Diesel	HFO	2,7 %	18,1	1,42	1,31	0,6	1,4	10,29	620,62	195
	MDO	1,0 %	17,0	0,45	0,42	0,6	1,4	3,62	588,79	185
	MGO	0,5 %	17,0	0,31	0,28	0,6	1,4	1,81	588,79	185
	MGO	0,1 %	17,0	0,19	0,17	0,6	1,4	0,36	588,79	185
Medium hastighet Diesel	HFO	2,7 %	14,0	1,43	1,32	0,5	1,1	11,24	677,91	213
	MDO	1,0 %	13,2	0,47	0,43	0,5	1,1	3,97	646,08	203
	MGO	0,5 %	13,2	0,31	0,29	0,5	1,1	1,98	646,08	203
	MGO	0,1 %	13,2	0,19	0,17	0,5	1,1	0,40	646,08	203
Gassturbiner	HFO	2,7 %	6,1	1,47	1,35	0,1	0,2	16,10	970,71	305
	MDO	1,0 %	5,7	0,58	0,53	0,1	0,2	5,67	922,97	290
	MGO	0,5 %	5,7	0,35	0,32	0,1	0,2	2,83	922,97	290
	MGO	0,1 %	5,7	0,17	0,15	0,1	0,2	0,57	922,97	290
Dampsturbiner og dampkjeler	HFO	2,7 %	2,1	1,47	1,35	0,1	0,2	16,10	970,71	305
	MDO	1,0 %	2,0	0,58	0,53	0,1	0,2	5,67	922,97	290
	MGO	0,5 %	2,0	0,35	0,32	0,1	0,2	2,83	922,97	290
	MGO	0,1 %	2,0	0,17	0,15	0,1	0,2	0,57	922,97	290
Hjelpemaskiner	HFO	2,7 %	14,7	1,44	1,32	0,4	1,1	11,98	722,54	227
	MDO	1,0 %	13,9	0,49	0,45	0,4	1,1	4,24	690,71	217
	MGO	0,5 %	13,9	0,32	0,29	0,4	1,1	2,12	690,71	217
	MGO	0,1 %	13,9	0,18	0,17	0,4	1,1	0,42	690,71	217

\*Drivstofftyper: HFO = tungolje («Heavy Fuel Oil»), MDO = marin diesel ("Marine Diesel Oil"), MGO = marin gassolje ("Marine Gas Oil"). Luftforurensende komponenter: nitrogendioksid (NO<sub>x</sub>), svevestøv (PM<sub>10</sub> og PM<sub>2,5</sub>), hydrokarboner (HC), karbonmonoksid (CO), svoveloksider (SO<sub>x</sub>), karbondioksid (CO<sub>2</sub>). BSFC = "brake specific fuel consumption"; raten på drivstofforbruk dividert med kraften produsert.

**Tabell V4-6. Justeringsfaktorer for ulike forurensende komponenter\* for korrigerings for lav last, iht. EPA CMEI.[30]**

Last	NO <sub>x</sub>	HC	CO	PM	SO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>
1 %	11,47	59,28	19,32	19,17	5,99	5,82
2 %	4,63	21,18	9,68	7,29	3,36	3,28
3 %	2,92	11,68	6,46	4,33	2,49	2,44
4 %	2,21	7,71	4,86	3,09	2,05	2,01
5 %	1,83	5,61	3,89	2,44	1,79	1,76
6 %	1,60	4,35	3,25	2,04	1,61	1,59
7 %	1,45	3,52	2,79	1,79	1,49	1,47
8 %	1,35	2,95	2,45	1,61	1,39	1,38
9 %	1,27	2,52	2,18	1,48	1,32	1,31
10 %	1,22	2,20	1,96	1,38	1,26	1,25
11 %	1,17	1,96	1,79	1,30	1,21	1,21
12 %	1,14	1,76	1,64	1,24	1,18	1,17
13 %	1,11	1,60	1,52	1,19	1,14	1,14
14 %	1,08	1,47	1,41	1,15	1,11	1,11
15 %	1,06	1,36	1,32	1,11	1,09	1,08
16 %	1,05	1,26	1,24	1,08	1,07	1,06
17 %	1,03	1,18	1,17	1,06	1,05	1,04
18 %	1,02	1,11	1,11	1,04	1,03	1,03
19 %	1,01	1,05	1,05	1,02	1,01	1,01
20 %	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

\* Luftforurensende komponenter: nitrogendioksid (NO<sub>x</sub>), hydrokarboner (HC), karbonmonoksid (CO), svevestøv (PM), svoveldioksid (SO<sub>2</sub>), karbondioksid (CO<sub>2</sub>).

For beregning av utslipp fra forbrenning fra kjøretøy langs veiene i området ble utslippsfaktorer fra The Handbook Emission Factors for Road Transport (HBEFA) brukt, for år 2015. Utslippsfaktorer ble hentet ut for PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub> og NO<sub>x</sub> spesifikt for område, fartsgrense og type kjøretøy og vei. Tabell V4-7 viser utslippsfaktorer for slitasje av dekk, bremseklosser[33] og asfalt[34].

**Tabell V4-7. Utslippsfaktorer, i g/km per kjøretøy, for generering av PM<sub>10</sub> og PM<sub>2,5</sub> fra dekk-, bremsekloss- [33] og asfaltslitasje[34] for personbiltrafikk og tungtransporttrafikk.**

Type kjøretøy	Dekkslitasje		Bremseklosslitasje		Asfaltslitasje	
	PM10	PM2,5	PM10	PM2,5	PM10	PM2,5
Personbiler	0,0035	0,00069	0,006	0,006	0,0075	0,0041
Tunge kjøretøy	0,0186	0,00371	0,0323	0,0323	0,038	0,0205

Veistrekningene som inngikk i beregningene, lengden på disse og gjennomsnittlige årlige trafikk-tall er oppført i Tabell V4-8.

**Tabell V4-8. Veistrekninger i områdene ved Geirangerfjorden, Aurlandsfjorden og Nærøyfjorden med lengde og trafikk tall.**

Veistrekning	Lengde (m)	Navn på vei	ÅDT
1400 EV16 HP5 m25605-26094	1788	E16	2100
1400 EV16 HP6 m01841-06476	5521	E16 Fretheimtunnelen	2650
1400 EV16 HP7 m02083-02157	792	E16	2200
1400 EV16 HP8 m05867-18542	541	E16 Gate 1050	2104
1400 EV16 HP8 m18542-18585	2288	Ev 16 Nærøydalen	2100
1400 FV243 HP1 m00000-01156	1162	Fv 243 Skulevegen	1250
1400 FV243 HP1 m01156-01819	662	Fv 243 Bjørgavegen	1500
1400 FV243 HP1 m01819-02814	986	Fv 243 Bjørgavegen	400

\*ÅDT = årsdøgntrafikk; summen av antall kjøretøy som passerer et punkt på en veistrekning (for begge retninger sammenlagt) gjennom året, dividert på antall dager i året

## **VEDLEGG 5**

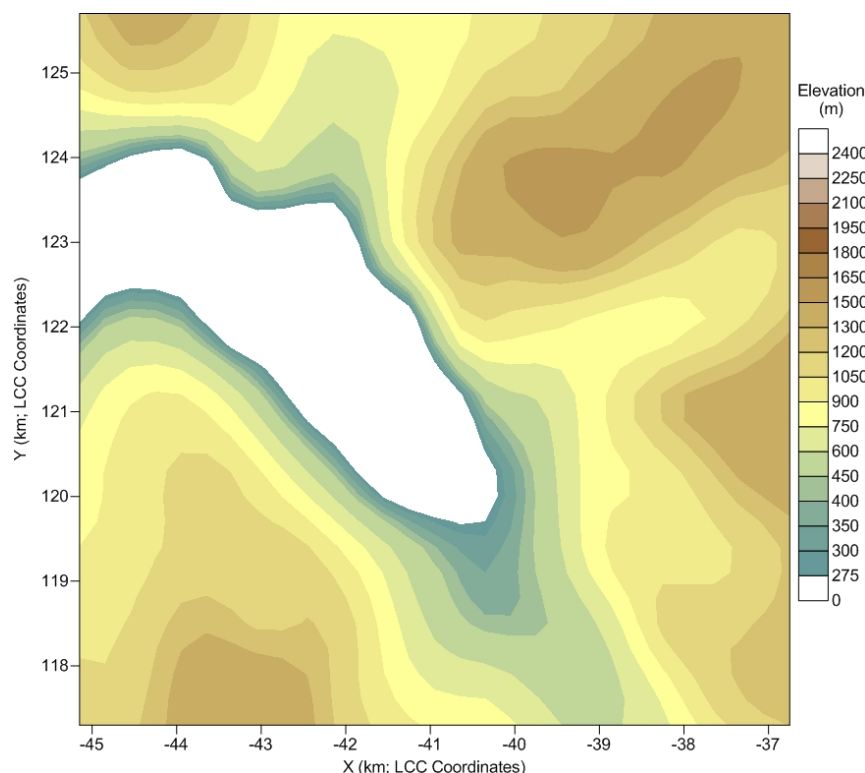
### **BEREGNING AV SPREDNING AV LUFTFORURENSNING MED CALPUFF**

Gjennomsnittlig høyde og diameter på skorsteinene, samt utslippstemperatur og -hastighet for cruiseskip som besøkte Geirangerfjorden, Aurlandsfjorden og Nærøyfjorden i løpet av perioden juni-august 2016, hentet ut fra IHS-Fairplay-databasen, er oppført i Tabell V5-1. Skorsteinsparameterne ble sammen med utslippsratene oppført i Vedlegg 4 brukt til å beregne utslipp av nitrogenoksider ( $\text{NO}_x$ ), svoveloksider ( $\text{SO}_x$ ) og svevestøv (PM). Utslippene ble deretter importert i spredningsmodellen CALPUFF og brukt til å beregne spredningen av luftforurensning sluppet ut fra cruise- og passasjerskip ved verdensarvområdene Geirangerfjorden, Aurlandsfjorden og Nærøyfjorden.

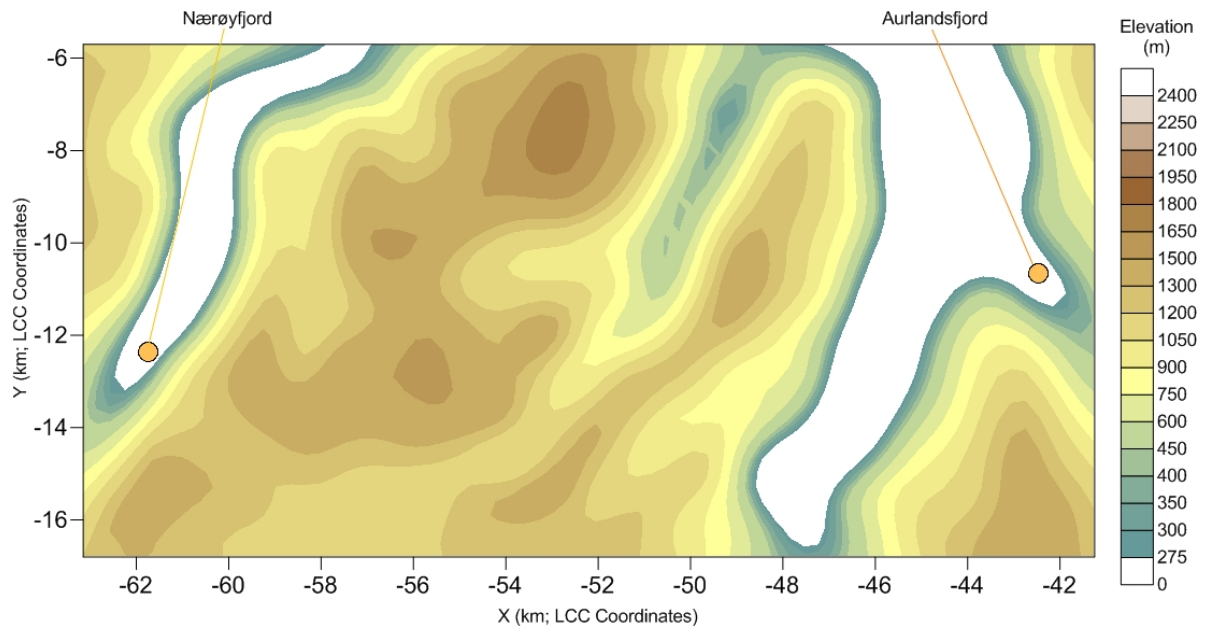
**Tabell V5-1. Tabell 1. Gjennomsnittlige skorsteinsparametere for cruiseskip som besøkte Geirangerfjorden, Aurlandsfjorden og Nærøyfjorden i løpet av sommeren 2016 (juni-august).**

Parameter	Verdi	Kilde
Skorsteinshøyde (m)	42,75	(1)
Skorsteinsdiameter (m)	1,0	(2)(3)
Utslippstemperatur ( $^{\circ}\text{K}$ )	763,15	(3)
Utslippshastighet (m/s)	11,1	(3)

Terrengkartene for beregningsområdene ved Geirangerfjorden og Aurlandsfjorden/Nærøyfjorden brukt i CALPUFF er vist i henholdsvis Figur V5-1 og V5-2.



**Figur V5-1. Terrengkart for beregningsområdet ved Geirangerfjorden som angir høyde over havet, som brukt i spredningsmodelleringen med CALPUFF.**



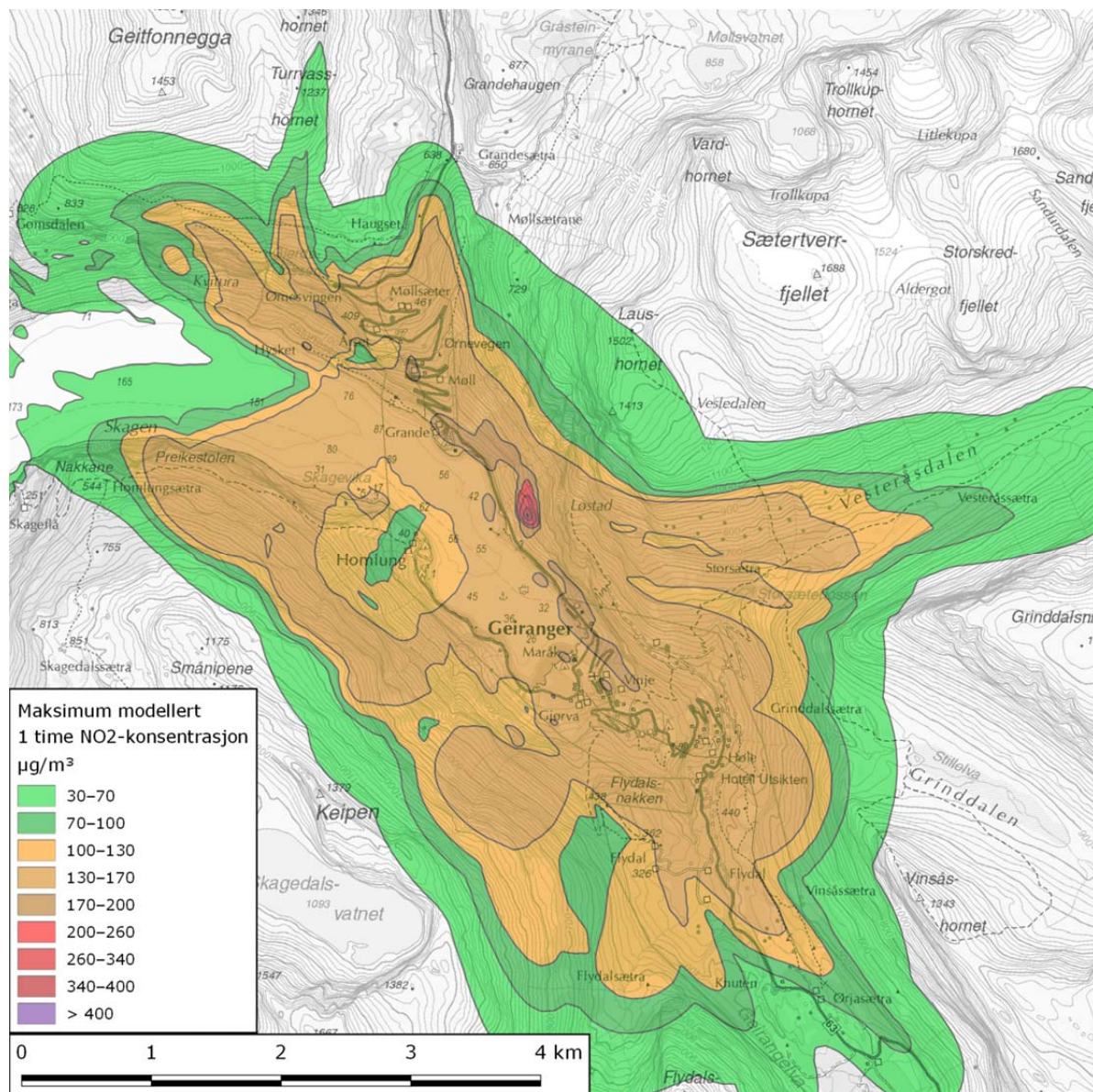
**Figur V5-2. Terrengkart for beregningsområdet ved Aurlandsfjorden/Nærøysfjorden som angir høyde over havet, som brukt i spredningsmodelleringen med CALPUFF.**



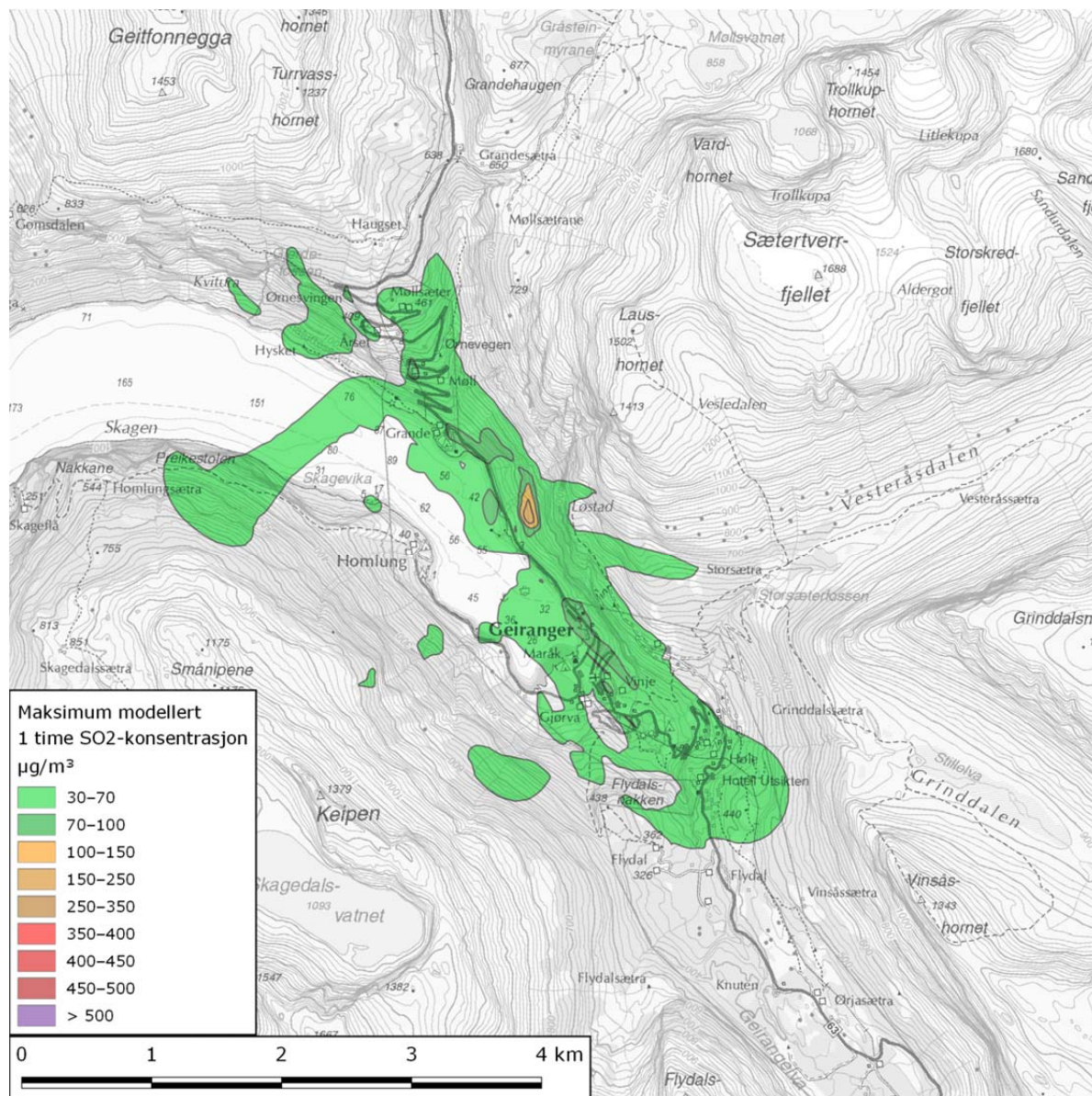
## **VEDLEGG 6**

### **KART SOM VISER SPREDNINGEN AV LUFTFORURENSNING FRA CRUISE- OG PASSASJERSKIP VED GEIRANGERFJORDEN, AURLANDSFJORDEN OG NÆRØYFJORDEN**

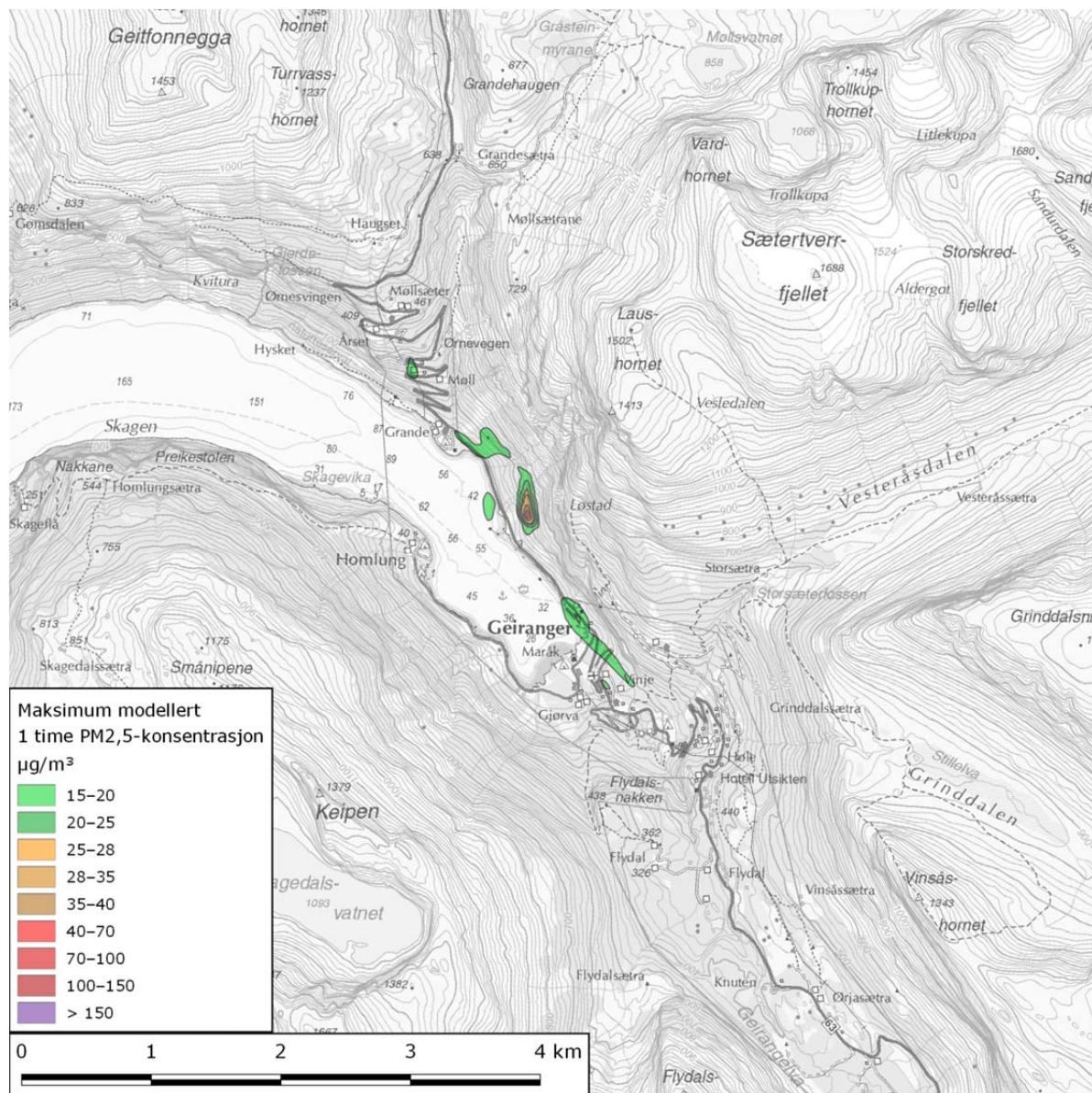
Spredning av nitrogendioksid (NO<sub>2</sub>), svoveldioksid (SO<sub>2</sub>) og svevestøv (PM<sub>10</sub> og PM<sub>2,5</sub>) sluppet ut fra cruise- og passasjerskip i områdene ved Geirangerfjorden, Aurlandsfjorden og Nærøyfjorden i løpet av perioden juni-august 2016 ble modellert med spredningsmodellen CALPUFF. Kart som viser spredning av NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> og PM<sub>2,5</sub> i henhold til varslingsklassene utarbeidet av Folkehelseinstituttet, Vegdirektoratet og Miljødirektoratet[15] er vist i henholdsvis Figur V6-1, V6-2 og V6-3 for Geirangerfjorden, og tilsvarende i Figur V6-4, V6-5 og V6-6 for Aurlandsfjorden nær Flåm.



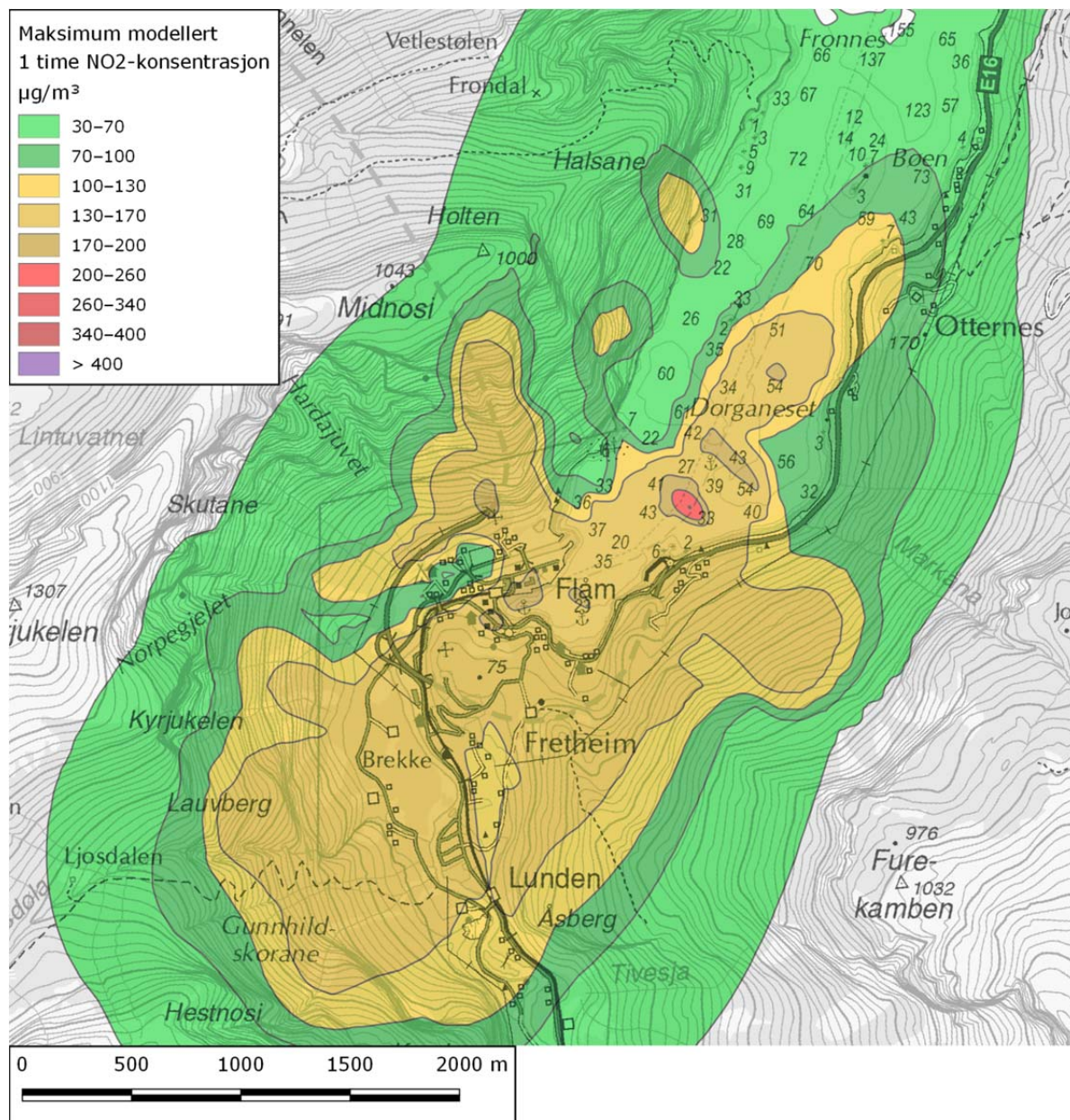
Figur V6-1. Spredningskart som viser modellerte konsentrasjoner av nitrogen dioksid (NO<sub>2</sub>) sluppet ut fra cruise- og passasjerskip i området ved Geiranger i løpet av perioden 1. juni til 31. august 2016. Spredningen er illustrert med fargekoder som innebærer minst én overskridelse av de ulike varslingsklassene for luftkvalitet gitt som timesmiddel, utarbeidet av Folkehelseinstituttet, Vegdirektoratet og Miljødirektoratet.



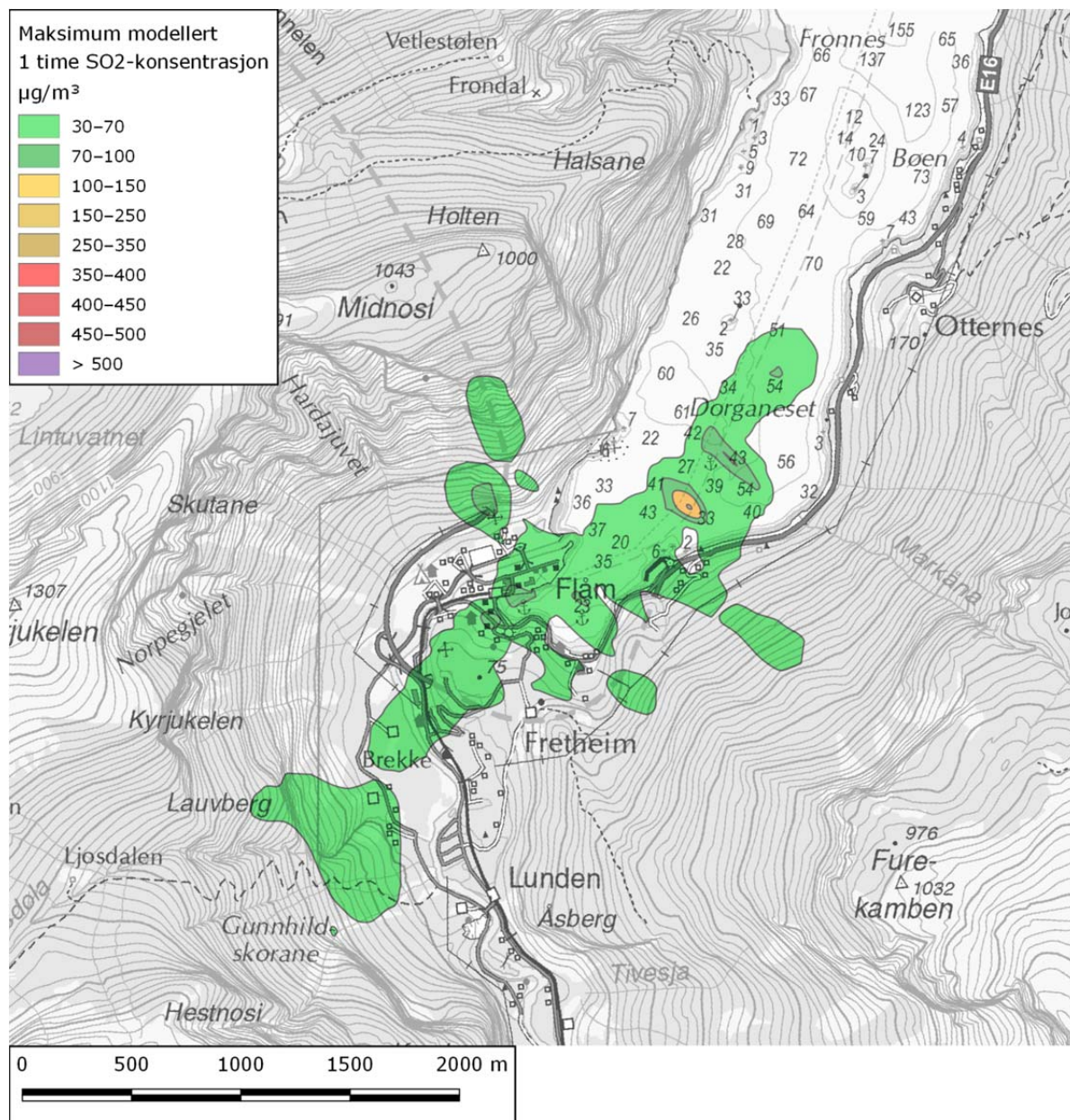
Figur V6-2. Spredningskart som viser modellerte konsentrasjoner av a) svoveldioksid (SO<sub>2</sub>) sluppet ut fra cruise- og passasjerskip i området ved Geiranger i løpet av perioden 1. juni til 31. august 2016. Spredningen er illustrert med fargekoder som innebærer minst én overskridelse av de ulike varslingsklassene for luftkvalitetgitt som tidsmiddel, utarbeidet av Folkehelseinstituttet, Vegdirektoratet og Miljødirektoratet.



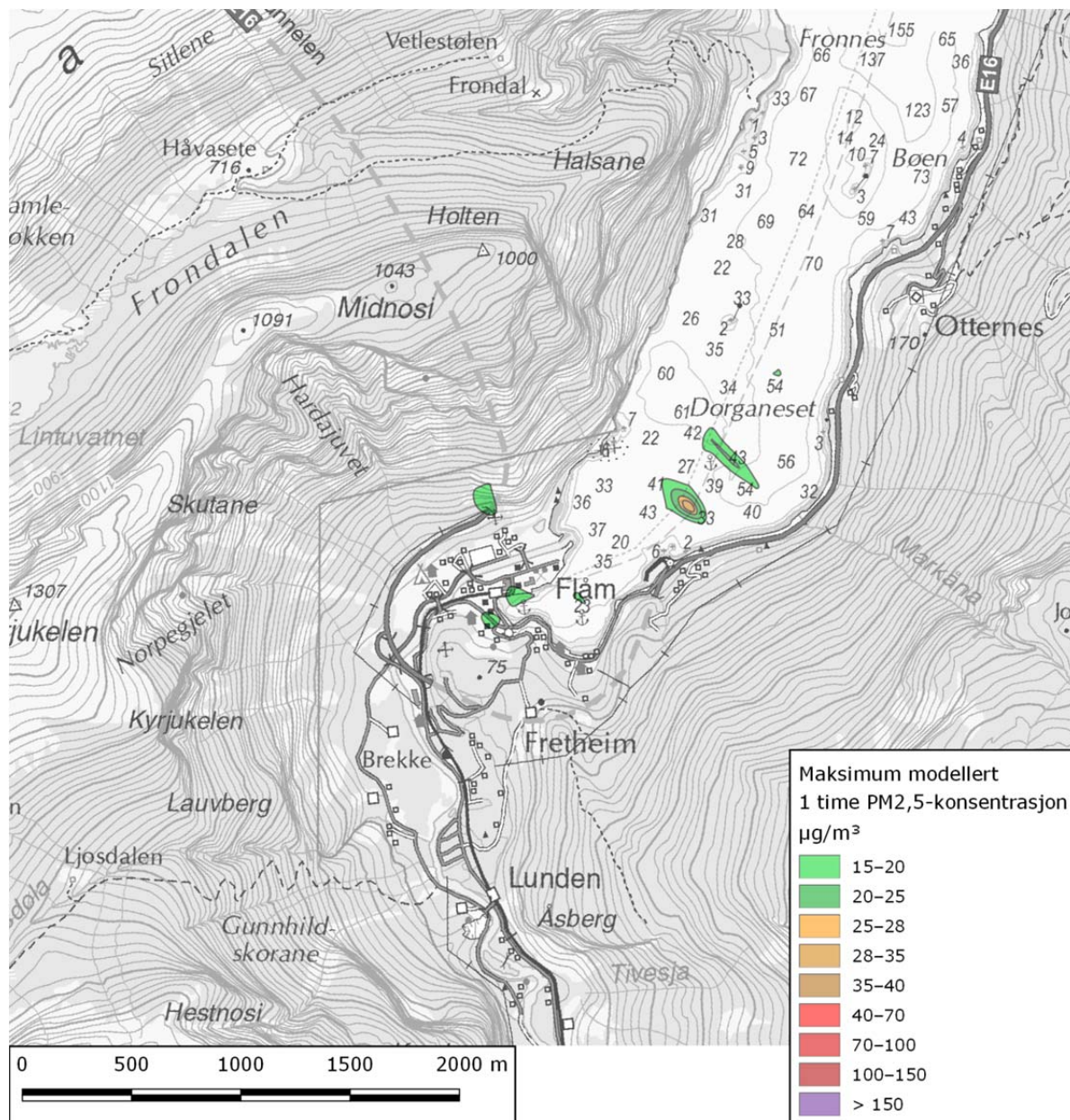
Figur V6-3. Spredningskart som viser modellerte konsentrasjoner av svevestøv (PM<sub>2,5</sub>) sluppet ut fra cruise- og passasjerskip i området ved Geiranger i løpet av perioden 1. juni til 31. august 2016. Spredningen er illustrert med fargekoder som innebærer minst én overskridelse av de ulike varslingsklassene for luftkvalitet gitt som timesmiddel, utarbeidet av Folkehelseinstituttet, Vegdirektoratet og Miljødirektoratet.



Figur V6-4. Spredningskart som viser modellerte konsentrasjoner av nitrogen-dioksid (NO<sub>2</sub>) sluppet ut fra cruise- og passasjerskip i området ved Flåm innerst i Aurlandsfjorden i løpet av perioden 1. juni til 31. august 2016. Spredningen er illustrert med fargekoder som innebærer minst én overskridelse av de ulike varslingsklassene for luftkvalitet gitt som timesmiddel, utarbeidet av Folkehelseinstituttet, Vegdirektoratet og Miljødirektoratet.



Figur V6-5. Spredningskart som viser modellerte konsentrasjoner av svoveldioksid (SO<sub>2</sub>) sluppet ut fra cruise- og passasjerskip i området ved Flåm innerst i Aurlandsfjorden i løpet av perioden 1. juni til 31. august 2016. Spredningen er illustrert med fargekoder som innebærer minst én overskridelse av de ulike varslingsklassene for luftkvalitet gitt som timesmiddel, utarbeidet av Folkehelseinstituttet, Vegdirektoratet og Miljødirektoratet.



Figur V6-6. Spredningskart som viser modellerte konsentrasjoner av svevestøv (PM<sub>2,5</sub>) sluppet ut fra cruise- og passasjerskip i området ved Flåm innerst i Aurlandsfjorden i løpet av perioden 1. juni til 31. august 2016. Spredningen er illustrert med fargekoder som innebærer minst én overskridelse av de ulike varslingsklassene for luftkvalitet gitt som timesmiddel, utarbeidet av Folkehelseinstituttet, Vegdirektoratet og Miljødirektoratet.

**VEDLEGG 7**  
**STENERSEN, DAG: OPERASJONSDATA FRA SKIPSFART I GEIRANGER,**  
**NÆRØY- OG AURLANDSFJORDEN. MARINTEK RAPPORT 2017-04-24**



# Rapport

## Operasjonsdata fra skipsfart i Geiranger, Nærøy- og Aurlandsfjorden

Datainnsamling fra cruiseskip og lokal trafikk

### Forfatter(e)

Dag Stenersen

[Co-Authors]



<https://no.wikipedia.org/wiki/Geirangerfjorden>

Norsk Marinteknisk Forskningsinstitutt AS

Maritim

2017-04-24

## Rapport

# Operasjonsdata fra skipsfart i Geiranger, Nærøy- og Aurlandsfjorden

### Datainnsamling fra cruiseskip og lokal trafikk

RAPPORTNR	VERSJON	DATO
302002020-1	2.0	2017-04-24

**EMNEORD:**  
Cruiseskip ; Utslipp til  
luft og sjø

**FORFATTER(E)**  
Dag Stenersen  
[Co-Authors]

**OPPDRAKSGIVER(E)**  
Sjøfartsdirektoratet

OPPDRAKSGIVERS REF.	ANTALL SIDER OG VEDLEGG:
Bjørn Reppe	41 + vedlegg

GRADERING	GRADERING DENNE SIDE	ISBN
Unrestricted	Unrestricted	

#### SAMMENDRAG

Det er gjennomført en spørreundersøkelse for cruise-skip som opererer i norske fjorder for å kartlegge operasjonsdata og prosedyrer knyttet til utslipp til sjø og luft. Med basis i operasjonsdata kan driftsprofil i fjordene anslås og dermed er det mulig å beregne utslipp til luft.

I tillegg er det innhentet informasjon fra lokal trafikk som opererer i fjordene samt fra Hurtigruten som besøker Geirangerfjorden i sommersesongen.

**UTARBEIDET AV**  
Dag Stenersen

**KONTROLLERT AV**  
Ingebrigt Valberg

**GODKJENT AV**  
Anders Valland

Dokumentet har gjennomgått SINTEFs godkjenningsprosedyre og er sikret digitalt

# Historikk

---

<b>VERSJON</b>	<b>DATO</b>	<b>VERSJONSBEKRIVELSE</b>
0.1	2016-12-02	For kommentarer
1.0	2016-12-14	Endelig rapport
2.0	2017-04-24	Endelig rapport, gradering satt til "åpen"

---

# Innholdsfortegnelse

<b>1</b>	<b>Innledning</b> .....	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>Utslippsundersøkelsen</b> .....	<b>6</b>
2.1	Spørreskjema til cruise skipene .....	6
2.2	Lokal fjordtrafikk .....	7
2.3	Hurtigruten .....	7
2.4	Bakgrunnsinformasjon, tidligere studier .....	7
2.5	Svarprosent .....	7
<b>3</b>	<b>Generelle utslippsfaktorer</b> .....	<b>8</b>
<b>4</b>	<b>Cruiseskip i norske fjorder</b> .....	<b>9</b>
4.1	Skipsdata .....	9
4.1.1	Byggeår og teknisk informasjon om skipene .....	9
4.1.2	Drivstoff .....	14
<b>5</b>	<b>Operasjonelle data - Geirangerfjorden</b> .....	<b>19</b>
5.1	Definisjon av utslippssoner, Geiranger .....	19
5.2	Utslipp til sjø, Geirangerfjorden .....	20
<b>6</b>	<b>Operasjonelle data – Aurland- og Nærøyfjorden</b> .....	<b>28</b>
6.1	Definisjon av utslippssoner, Aurland. og Nærøyfjorden .....	28
6.2	Nærøyfjorden .....	32
<b>7</b>	<b>Lokal trafikk</b> .....	<b>33</b>
7.1	Teknisk informasjon om skipene .....	33
7.2	Geirangerfjorden .....	34
7.2.1	Ferger og fjordcruise .....	34
7.2.2	Utslipp til sjø, lokal trafikk Geiranger .....	34
7.2.3	Utslipp til luft, lokal trafikk, Geiranger .....	35
7.2.4	Hurtigruta .....	35
7.2.5	Hurtigruten, utslipp til sjø .....	37
7.2.6	Hurtigruten, utslipp til luft .....	38
7.3	Lokal trafikk, Aurland og Nærøyfjorden .....	38
7.3.1	Rute .....	38
7.3.2	Utslipp til sjø .....	39
7.3.3	Utslipp til luft .....	39
<b>8</b>	<b>Referanser</b> .....	<b>40</b>
<b>A</b>	<b>Vedlegg A – Spørreskjema til cruiseskipene</b> .....	<b>41</b>

A- Spørreskjema

Figur 2.1: Oppsummering, datainnsamling fra skip.....	7
Figur 3.1: IMO NOx-krav til skipsmotorer, (ref. IMO) .....	8
Figur 4.1: Fordeling av cruiseskip etter byggeår, (72 skip) .....	9
Figur 4.2: Installert ytelse (kW) på hovedmotor vs. skipsstørrelse (registertonn), (72 skip).....	10
Figur 4.3: Antall passasjerer vs. skipsstørrelse (registertonn), (72 skip) .....	10
Figur 4.4: Installert ytelse (kW) på hovedmotor vs. skipsstørrelse (registertonn), (34 besvarelser) .....	11
Figur 4.5: Tilgjengelig kraft til hoteldrift etc for skip i vår undersøkelse, (34 besvarelser) .....	11
Figur 4.6 Fordeling mellom direkte mekanisk drift og diesel elektrisk drift .....	12
Figur 4.7: Antall hovedmotorer.....	12
Figur 4.8: Antall hjelpemotorer om bord. ....	12
Figur 4.9: Fordeling av hovedmotor produsenter.....	13
Figur 4.10: Hovedmotordata – motorturtall (rpm). ....	13
Figur 4.11: Antall skip med PTO/PTI.....	14
Figur 4.12: Drivstoff - hovedmotorer.....	14
Figur 4.13: Drivstoff - hjelpemotorer.....	14
Figur 4.14: Svovelinnhold i bunkers, hovedmotor.....	15
Figur 4.15: Svovelinnhold i bunkers til hjelpemotorer .....	15
Figur 4.16: NOx certificate, IMO limits .....	16
Figur 4.17: NOx reduction technology, main and aux engines.....	16
Figur 4.18: SOx reduction technology installed on main and aux engines.....	17
Figur 4.19: Kloakk-system, IMO referanse .....	17
Figur 4.20: Skip med installert gråvannsanlegg .....	18
Figur 5.1: Definisjon av utslippsoner, innseiling til Geiranger.....	19
Figur 5.2: Beskrivelse av seilas, Geirangerfjorden .....	20
Figur 5.3: Utslipp av behandlet kloakk, Geirangerfjorden.....	20
Figur 5.4: Utslipp av gråvann, Geirangerfjorden .....	21
Figur 5.5 - Utslipp til sjø fra scrubber.....	21
Figur 5.6: Utslipp av lensevann, Geirangerfjorden .....	22
Figur 5.7: Hastighet i Geirangerfjorden, sone 3 og 4.....	22
Figur 5.8: Motorbelastning, zone 3, Geirangerfjorden.....	23
Figur 5.9: Motorbelastning, zone 4, Geirangerfjorden.....	23
Figur 5.10: Oppholdstid i havn, Geiranger .....	24
Figur 5.11; Drivstofforbruk i havn fordelt på skipsstørrelse, Geiranger.....	24
Figur 5.12; Drivstofforbruk i havn fordelt på max passasjerantall om bord, Geiranger.....	25
Figur 5.13Kraftproduksjon i havn, Geiranger .....	25
Figur 5.14: Kraftproduksjon fra hjelpemotorer i havn vs. skipsstørrelse, GT, (ton) .....	26
Figur 5.15: Kraftforbruk i havn fordelt på registrert passasjerer-kapasitet.....	26
Figur 6.1: Utslippssoner – Aurland- og Nærøyfjorden .....	28
Figur 6.2: Planlagte besøk i Aurlandsfjorden, 2016.....	28
Figur 6.3: Planlagte besøk i Nærøyfjorden, 2016 .....	29
Figur 6.4: Beskrivelse av seilingsmønster.....	29
Figur 6.5Utslipp av lensevann, Aurland -og Nærøyfjorden.....	30

Figur 6.6 Utslipp av kloakk, Aurland -og Nærøyfjorden .....	30
Figur 6.7: Utslipp av gråvann, Aurland -og Nærøyfjorden.....	31
Figur 6.8: Hastighet, cruiseskip i Aurlandsfjorden .....	31
Figur 6.9: Belastning på hoved- og hjelpemotor, sone A1 ogA2.....	32
Figur 6.10: Tid i havn, Flåm .....	32
Figur 7.1: Utslipp til sjø, lokal trafikk, Geirangerfjorden .....	35
Figur 7.2: Utslipp til sjø fra enkeltskip, Hurtigruten.....	38
Figur 7.3: Rutetabell, Kaupanger-Gudvangen, 2016 .....	39

## 1 Innledning

Sjøfartsdirektoratet, på oppdrag fra Klima og Miljødepartementet, har gjennomført en undersøkelse av utslipp til luft og vann fra skip som seiler i Geirangerfjorden, Nærøyfjorden og Aurlandsfjorden. Dette innebærer innsamling av data som beskriver de tekniske aspektene av skipene, samt deres driftsprofil når de besøker fjordene. Formålet med prosjektet er å få bedre oversikt over de miljømessige konsekvensene av skipsanløpene når disse besøker de norske verdensarv-fjordene.

Teknisk gjennomføring av undersøkelsen på oppdrag fra Sjøfartsdirektoratet er gjennomført av Rambøll AS og MARINTEK. Oppdraget har bestått i å gjennomføre datainnsamling fra seilende skip i form av en spørreundersøkelse og å utvikle en spredningsmodell for luftforurensning for de aktuelle fjordene. MARINTEK har vært ansvarlig for datainnsamling, og denne rapporten beskriver opplegg og resultater fra dette arbeidet.

Spørreskjema til cruiseskipene som besøkte de aktuelle fjordene ble distribuert via deres norske agenter

- European Cruise services
- GAC
- Tyrholm & Farstad

I tillegg til cruiseskip ble det også samlet inn data fra Hurtigruten som opererer daglig i Geirangerfjorden i sommermånedene, samt fra lokal trafikk, (ferjer og passasjerbåter).

MARINTEK vil takke alle som har bidratt til den gjennomførte kartleggingen.

I denne rapporten presenteres resultater fra spørreundersøkelsen på generell basis.

## 2 Utslippsundersøkelsen

Utslippsundersøkelsen ble organisert av MARINTEK og data er samlet inn fra skip besøker eller opererer i de tre aktuelle fjordene for å etablere typiske operasjonsprofiler under ordinær drift. Data ble samlet inn ved å kontakte alle skip som besøkte de respektive fjordene i løpet av sommeren 2016, (mai-september). Et web-basert spørreskjema ble utarbeidet og distribuert til alle skipene via deres norske agenter. I tillegg ble data samlet inn fra Hurtigruten og fra lokal trafikk som rutegående ferjer og passasjerbåter.

Komplementære data ble også samlet inn fra havnemyndigheter i Stranda og Aurland samt fra Seaweb databasen. Undersøkelsen omfatter kun skip som har besøkt Geiranger- Nærøy og/eller Aurlandsfjorden og lokal trafikk i disse fjordene.

### 2.1 Spørreskjema til cruise skipene

Et omfattende spørreskjema ble distribuert til alle cruise-skipene som besøkte de aktuelle fjordene sommeren 2016. Formålet var å kartlegge teknisk informasjon for skipene og operasjonsprofil under seiling i de respektive fjordene.

Spørreskjema er vedlagt i appendix A..

## 2.2 Lokal fjordtrafikk

Lokal trafikk i fjordene består av mindre passasjerbåter, rib-båter, tenderbåter og lokal ferjetrafikk. Det ble tatt kontakt med operatørene av disse båtene får å kartlegge relevante data for teknisk spesifisering og driftsprofil.

## 2.3 Hurtigruten

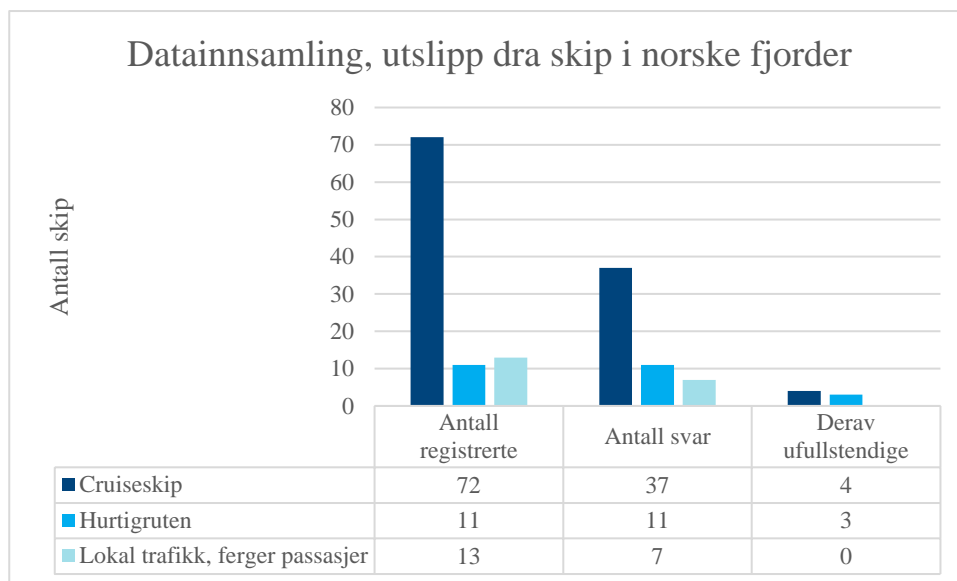
I sommerhalvåret opererer Hurtigruten med daglige turer inn Geirangerfjorden, og data for deres seilingsmønster er etterspurt spesielt.

## 2.4 Bakgrunnsinformasjon, tidligere studier

Tidligere studier har beregnet utslipp til luft fra transport i områdene rundt Geiranger. I tillegg er det gjennomført luftkvalitetsstudier av NILU, og et nytt langtidsprosjekt er igangsatt for å måle forurensning og utslipp til luft i Geirangerfjorden.

## 2.5 Svarprosent

Tilbakemelding fra spørreundersøkelsen til cruiseskip og lokal trafikk er summert opp i



**Figur 2.1: Oppsummering, datainnsamling fra skip**

For cruiseskipene er det mottatt 37 svar og av disse er 4 svar noe ufullstendige. I tillegg til data fra spørreundersøkelsen er tekniske data komplementert med informasjon fra Seaweb.

Totalt 11 hurtigruteskip besøkte Geiranger i løpet av sommersesongen som en del av sin ordinære rute. Her er det mottatt gjennomsnittlige beregninger for hele flåten samt detaljer for 8 av skipene. Når det gjelder lokal trafikk så er det mottatt svar fra ferjer og passasjerbåter som går i rute.



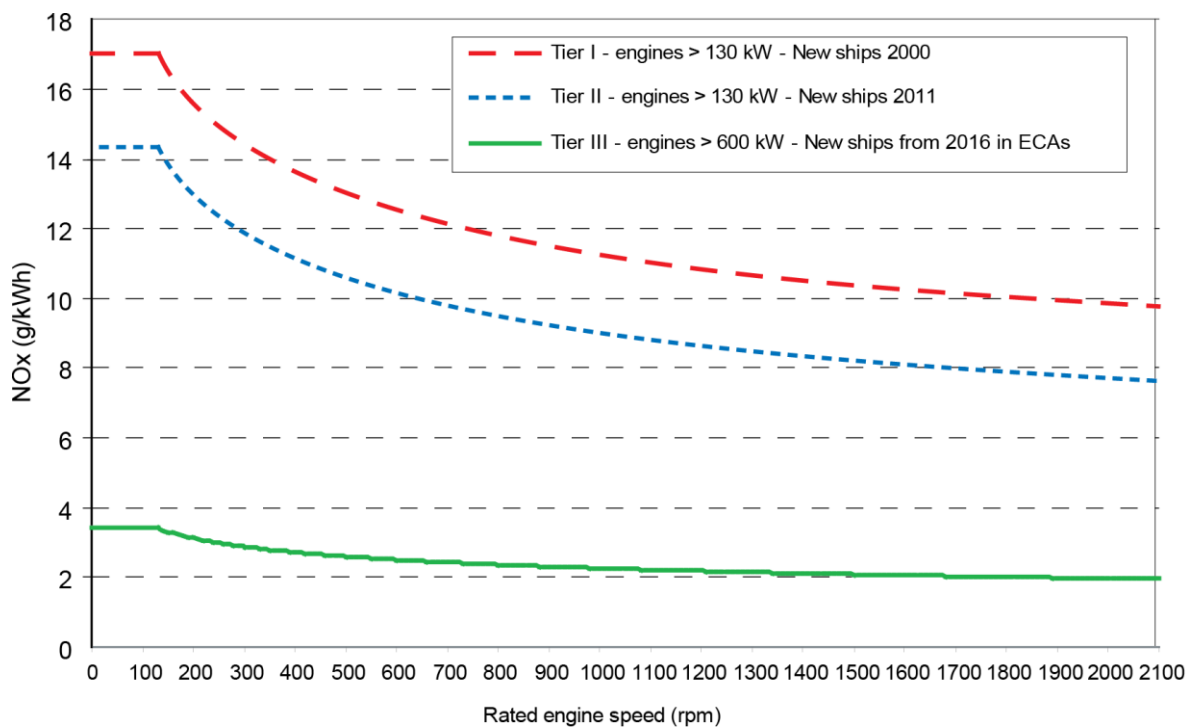
## 3 Generelle utslippsfaktorer

Generelle utslippsfaktorer er presentert av IMO<sup>1</sup>. Strengere krav for utslipp til luft fra skip har redusert utslippene av NO<sub>x</sub> og SO<sub>x</sub> de siste 15 årene.

Utslippsfaktorene for seilende skip er kartlagt i flere studier blant annet i regi av IMO og internasjonale krav til utslipp fra skip er gitt av IMO i Marpol Annex VI og "NO<sub>x</sub> Technical Code". Seilende skip skal oppfylle disse kravene, og disse faktorene er et godt utgangspunkt for utslippsstudier og beregning av utslipp fra skip.

Ved hjelp av spørreundersøkelsen har målsetningen vært å kartlegge skipsspesifikke utslippsfaktorer for skip som besøker de norske fjordene for eventuelt å korrigere de generelle IMO-faktorene ved videre bruk i spredningsanalysene. I spørreundersøkelsen er skipene forespurt om å informere om nivå på NO<sub>x</sub>-sertifikat, og andre rensetiltak for å redusere utslipp til luft og vann.

Ved evaluering av utslippsfaktorer er det naturlig å inndele skipene i etter byggeår, da utslippskrav er definert som følger:



Figur 3.1: IMO NO<sub>x</sub>-krav til skipsmotorer, (ref. IMO)

<sup>1</sup> Third IMO Greenhouse Gas Study 2014

## 4 Cruiseskip i norske fjorder

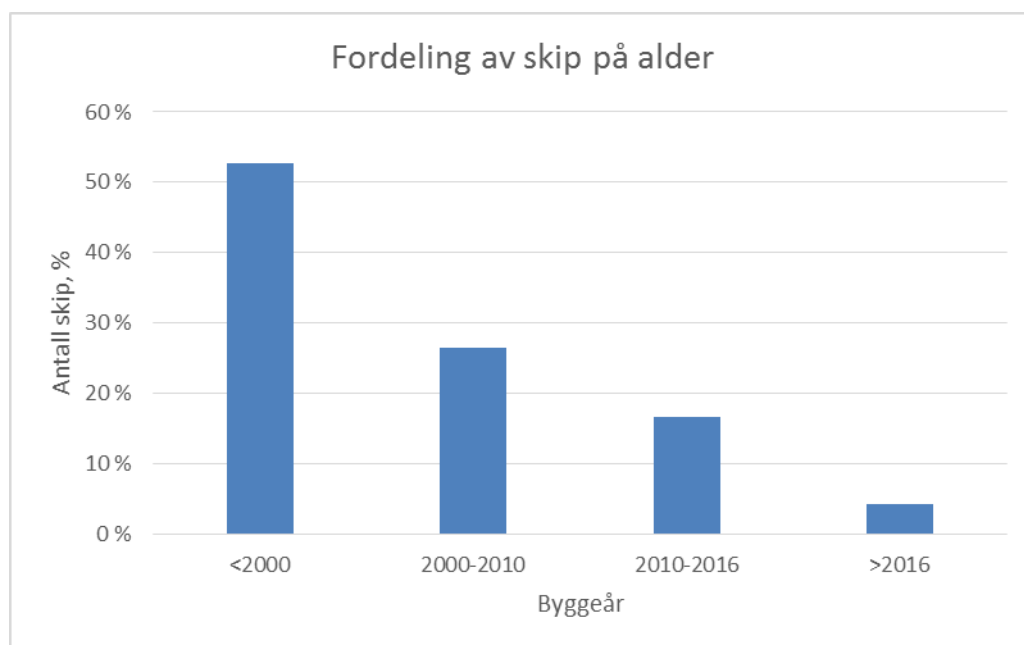
I 2016 hadde Geiranger-fjorden totalt 189 cruiseskip-anløp, (april-september) (Ref:<http://www.stranda-hamnevesen.no/>) fordelt på 56 forskjellige skip.

Aurland/Nærøyfjorden har hadde 163 anløp fordelt på 56 forskjellige skip (<http://aurlandhavn.no/>). Samlet for begge alle fjordene er det registrert 72 forskjellige skip.

Ved evaluering av utslippsfaktorer er det naturlig å inndele skipene etter byggeår ut fra IMOs krav til utslipp.

### 4.1 Skipsdata

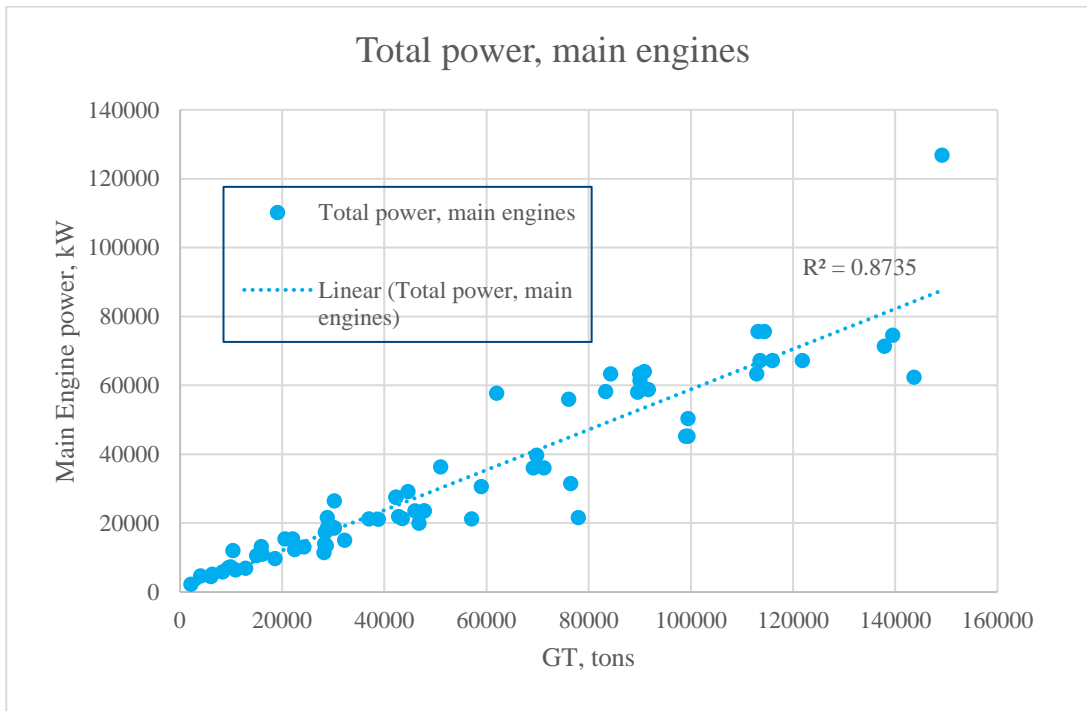
#### 4.1.1 Byggeår og teknisk informasjon om skipene



**Figur 4.1: Fordeling av cruiseskip etter byggeår, (72 skip)**

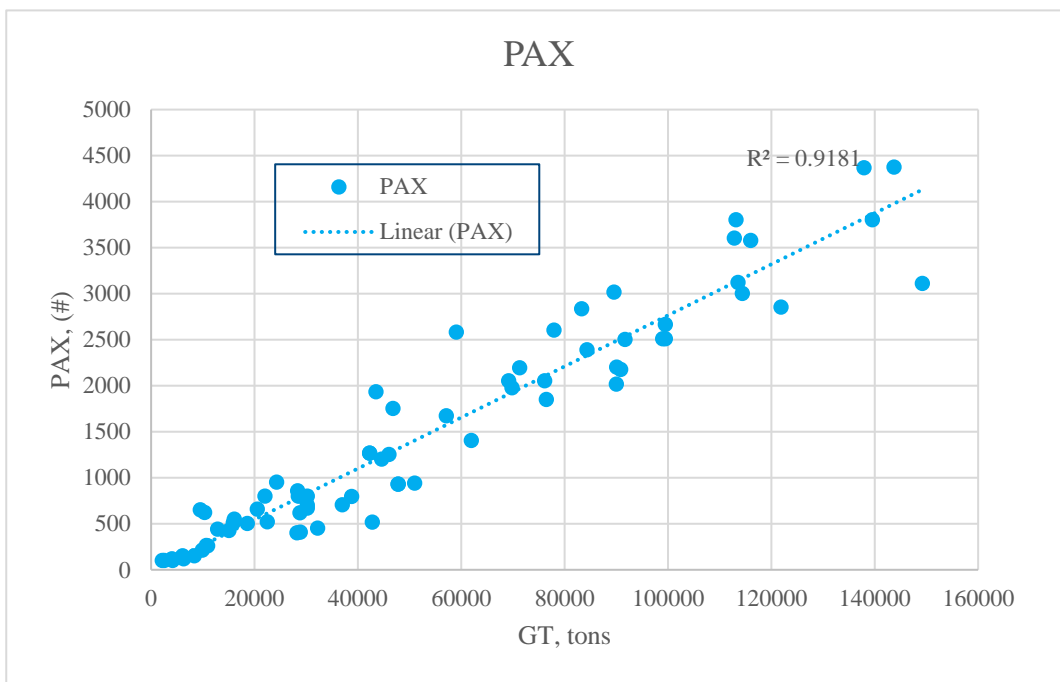
Gjennomsnittsalder for besøkende skip er 20 år, eldste skip er fra 1948, yngste er fra 2016.

Det ble forespurt om installert ytelse og denne informasjonen ble i tillegg komplettert med informasjon registrert i Seaweb for all 72 skip som har besøkt de aktuelle fjordene. Presentasjon av data gjelder for hovedmotorer slik det er definert i Seaweb.



**Figur 4.2: Installert ytelse (kW) på hovedmotor vs. skipsstørrelse (registertonn), (72 skip)**

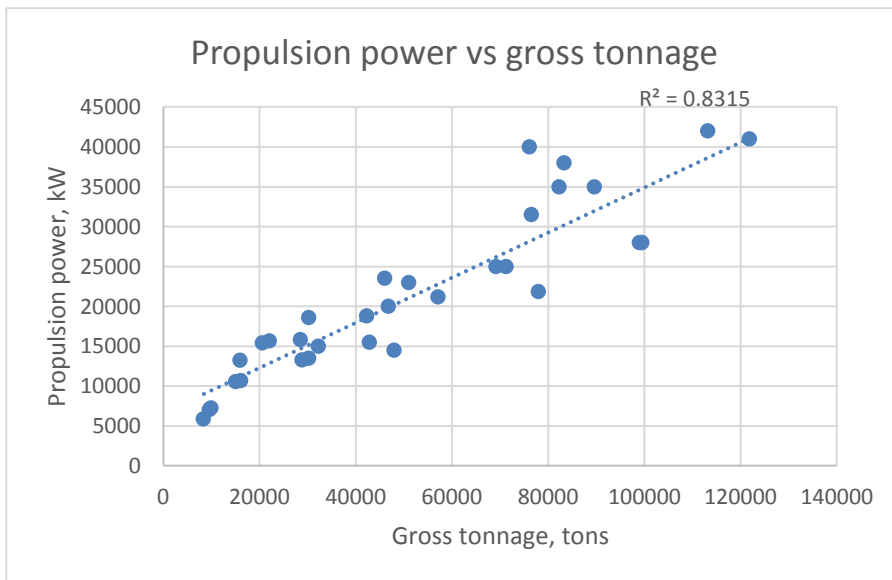
Installert ytelse på hovedmotorer er tilnærmet lineær for de minste skipene. For større skip (> 40000 GT) er det mer spredning. Et skip skiller seg imidlertid ut med en installert ytelse på over 120 MW.



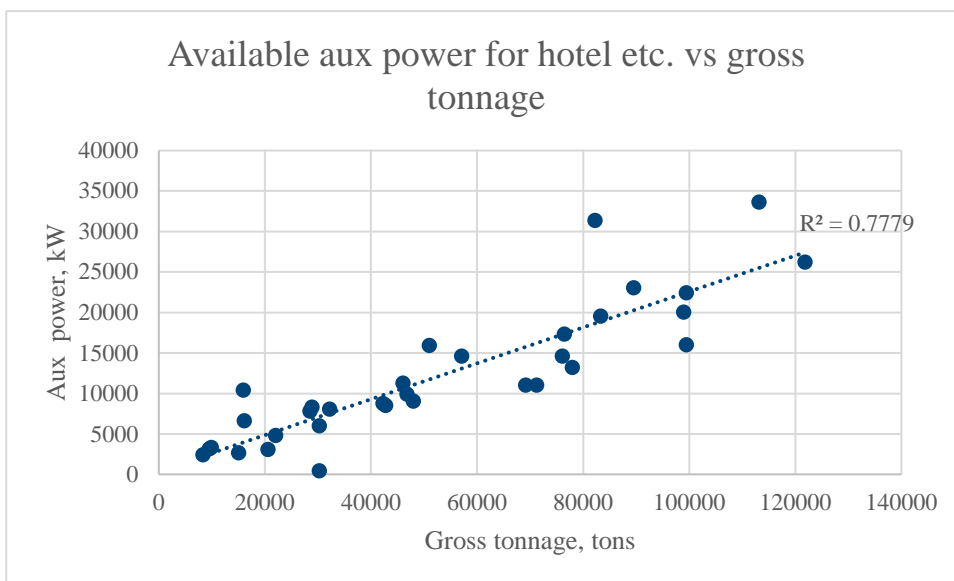
**Figur 4.3: Antall passasjerer vs. skipsstørrelse (registertonn), (72 skip)**

Passasjerkapasitet er tilnærmet lineær mot skipsstørrelse i registertonn.

I vår undersøkelse ble skipene bedt om å spesifisere propulsjonsytelse og ytelse på hjelpemotorer. Resultater for vårt utvalg av skip er vist i Figur 4.4.

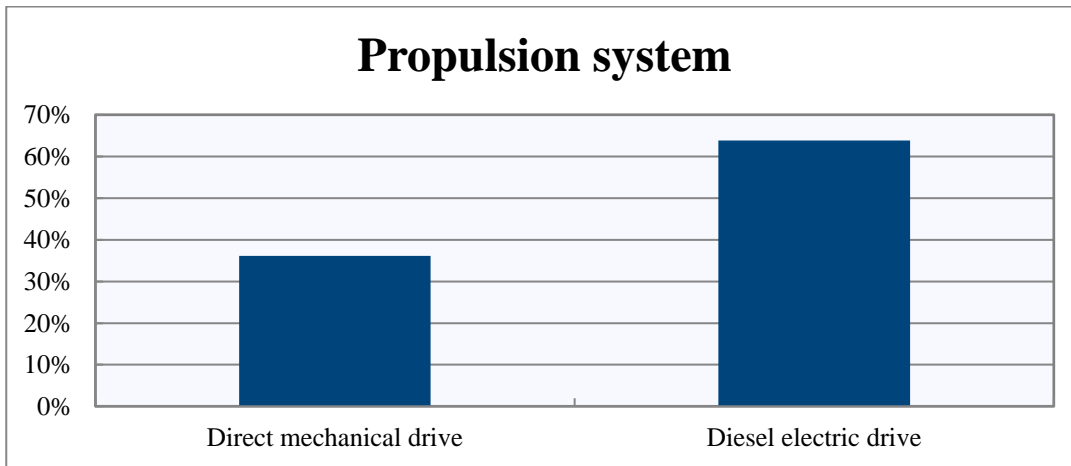


**Figur 4.4: Installert ytelse (kW) på hovedmotor vs. skipsstørrelse (registertonn), (34 besvarelser)**



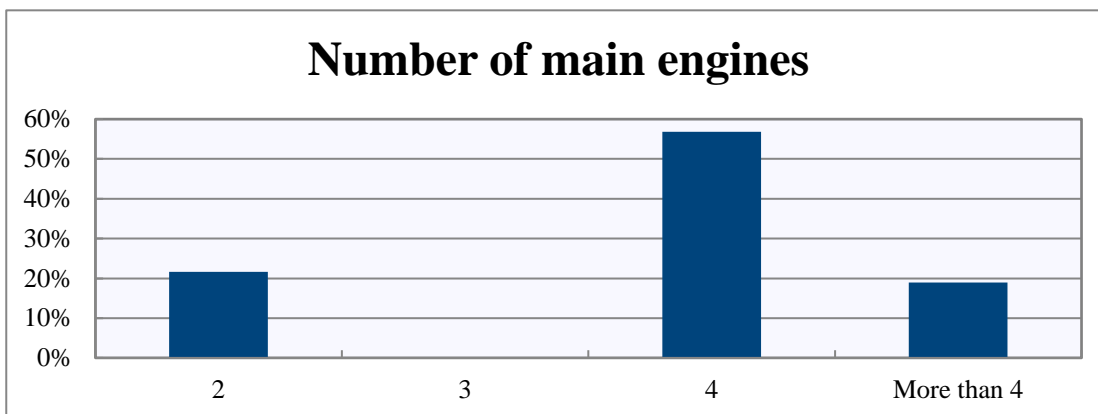
**Figur 4.5: Tilgjengelig kraft til hoteldrift etc for skip i vår undersøkelse, (34 besvarelser)**

Figur 4.5 viser tilgjengelig kraft til hotell og annet forbruk om bord ved 100% last på propulsjonsmotorene. For diesel-elektriske anlegg vil propulsjonsytelse være definert som installert effekt på hver av propellene. Tilgjengelig kraft til hotell og andre forbrukere vil dermed være rest-kapasiteten slik dette er vist i Figur 4.5.



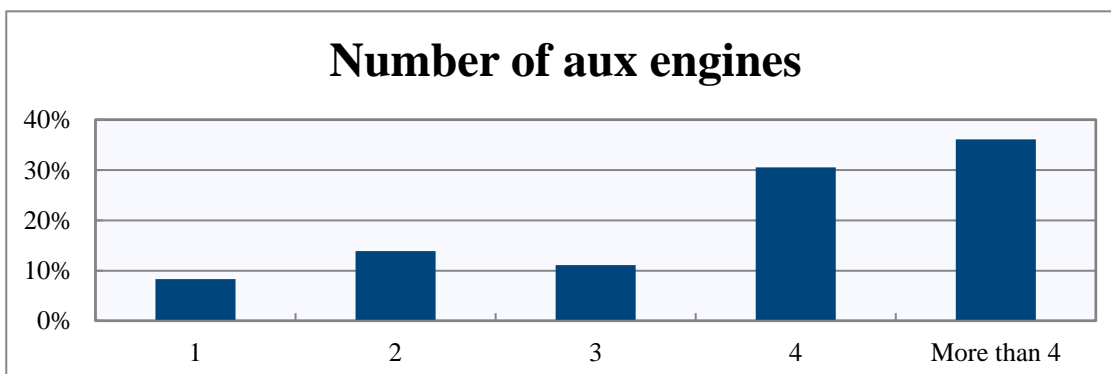
**Figur 4.6** Fordeling mellom direkte mekanisk drift og diesel elektrisk drift

En 36% av skipene har mekanisk drift og 64% har diesel elektrisk drift.



**Figur 4.7:** Antall hovedmotorer

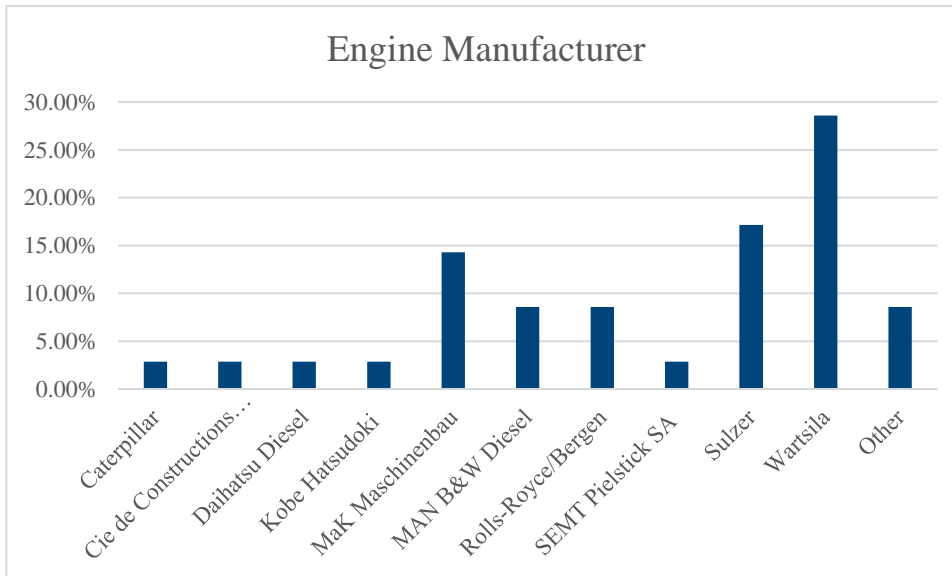
De fleste skipene har fire eller flere hovedmotorer (HM). Alle skip som kun har to HM har mekanisk drift.



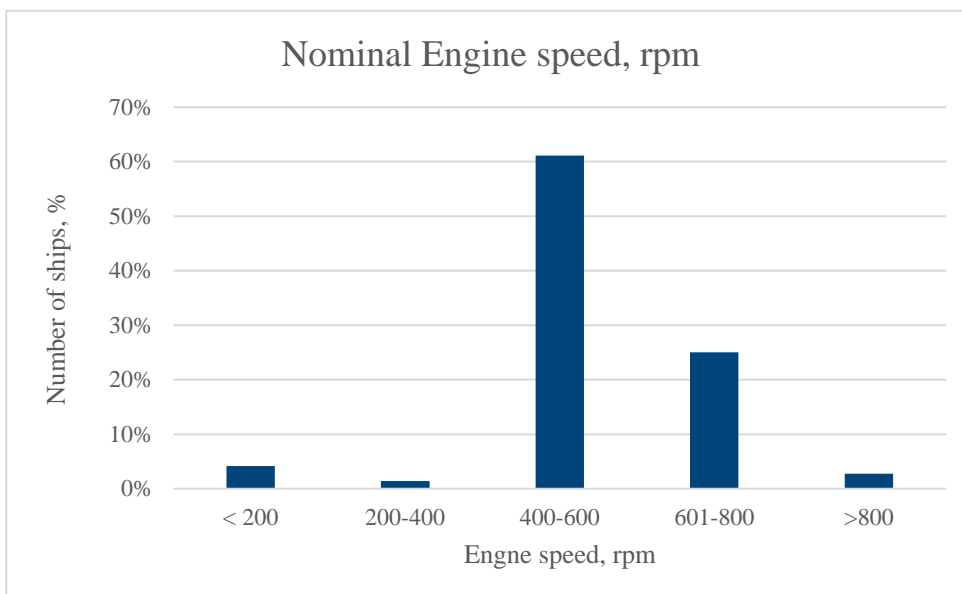
**Figur 4.8:** Antall hjelpemotorer om bord.

De fleste skipene har flere hjelpemotorer om bord. For diesel elektriske installasjoner vil noen skip definere alle sine motorer som hjelpemotorer mens andre skip definerer disse som hovedmotorer så

definisjon av hjelpemotorer for denne skipskategori er ikke entydig. Som fremgår har alle skipene mange motorer om bord som gir mulighet for fleksibel operasjon og strømproduksjon ved lavt kraftbehov. Det finnes også skip som benytter gassturbin til strømproduksjon.

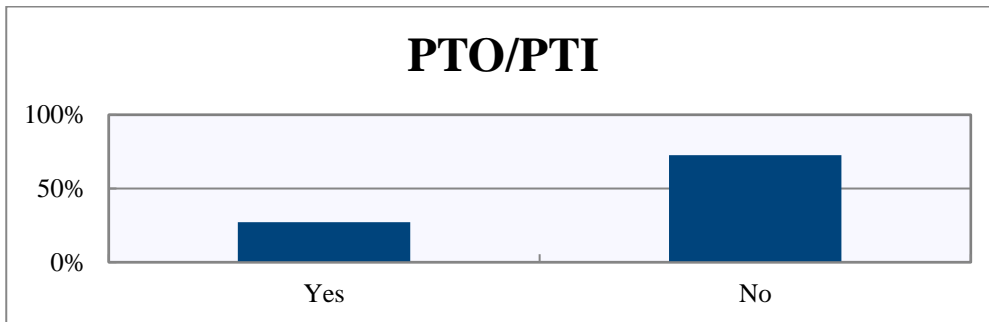


**Figur 4.9: Fordeling av hovedmotor produsenter**



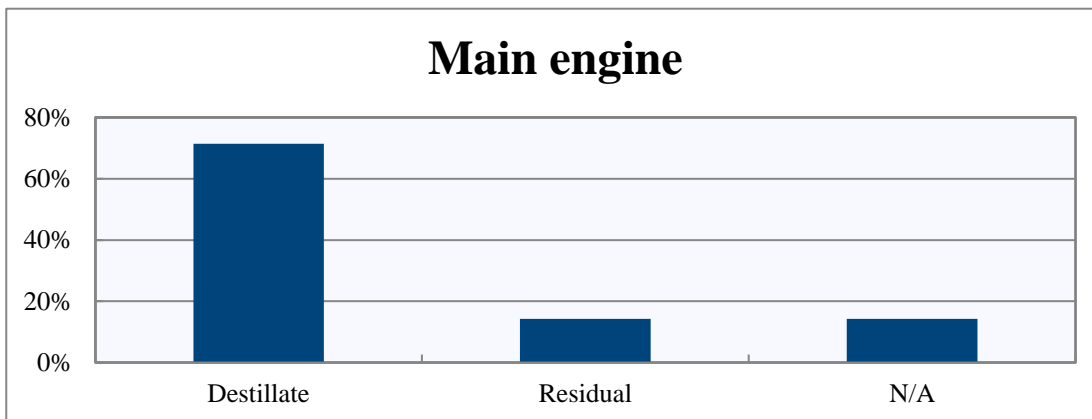
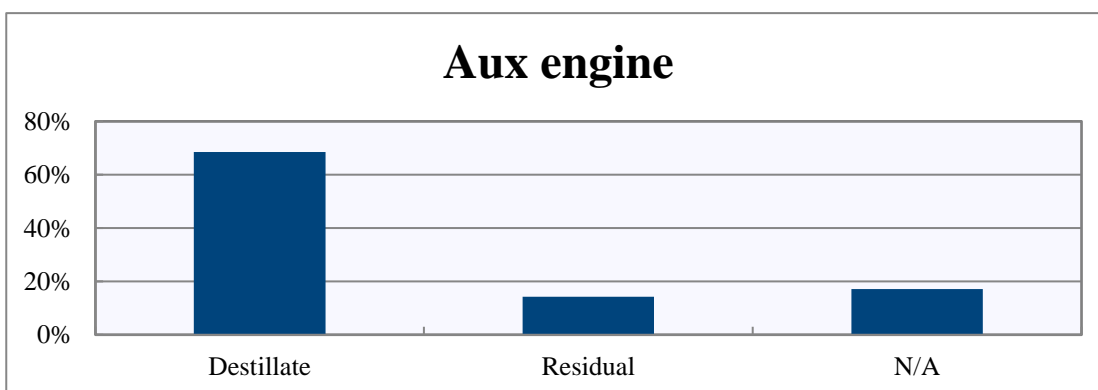
**Figur 4.10: Hovedmotordata – motorturtall (rpm).**

De aller fleste skipene (> 85%) har medium speed hovedmotor som opererer i turtallsområdet 400-800 rpm, og som er levert av anerkjente leverandører i markedet.

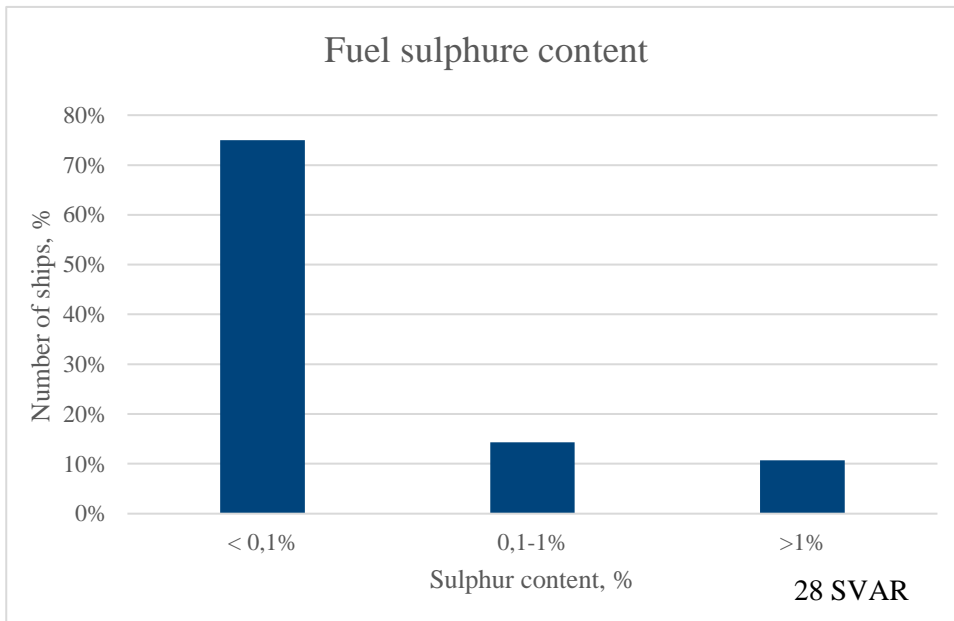
**Figur 4.11: Antall skip med PTO/PTI**

Ca. 30 % av skipene har PTO/PTI løsning. Dette bidrar til fleksibilitet i strømproduksjon om bord for disse skipene. 50% av skipene med mekanisk drift har PTO/PTI-løsning.

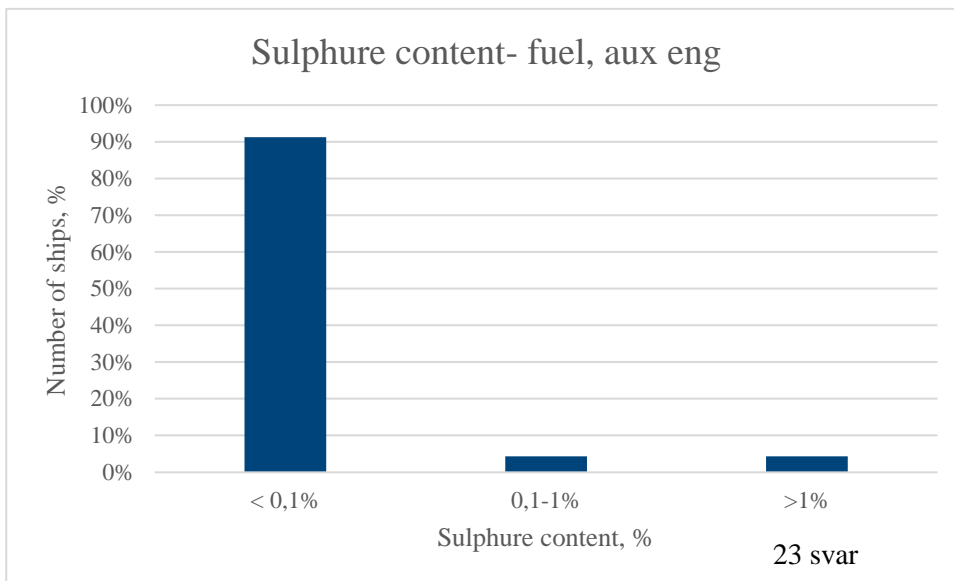
#### 4.1.2 Drivstoff

**Figur 4.12: Drivstoff - hovedmotorer****Figur 4.13: Drivstoff - hjelpemotorer**

Det benyttes i hovedsak destillat (MGO) på hoved- og hjelpemotorer, 70%. Ca 12% av skipene benytter tungolje (HFO 380 og HFO 80 LS). Kategorisering av hoved- og hjelpemotorer gjør at spørsmålet er irrelevant for enkelte skip (N/A).



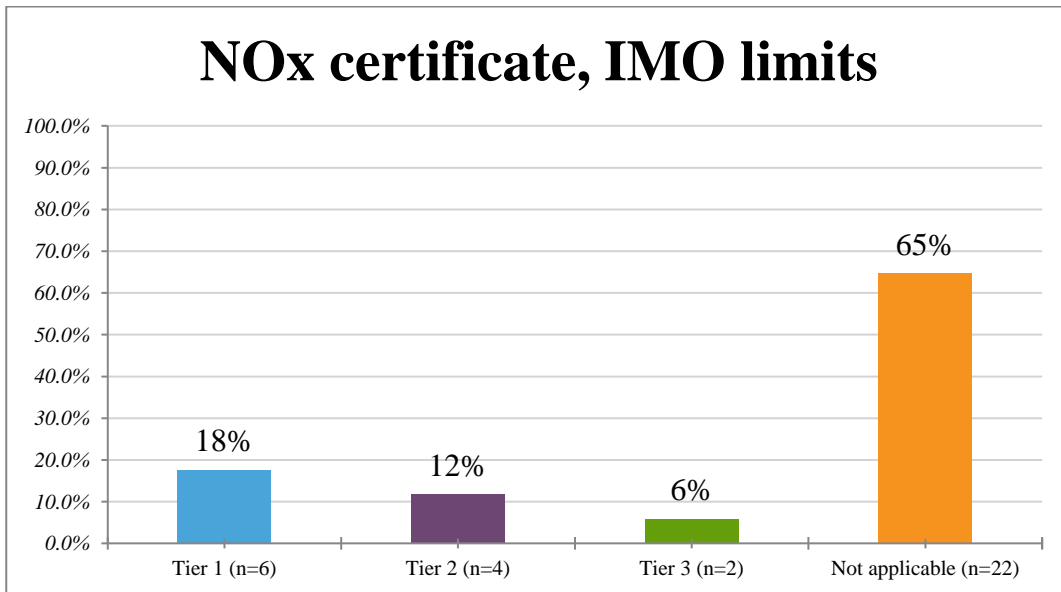
**Figur 4.14: Svovelinnhold i bunkers, hovedmotor**



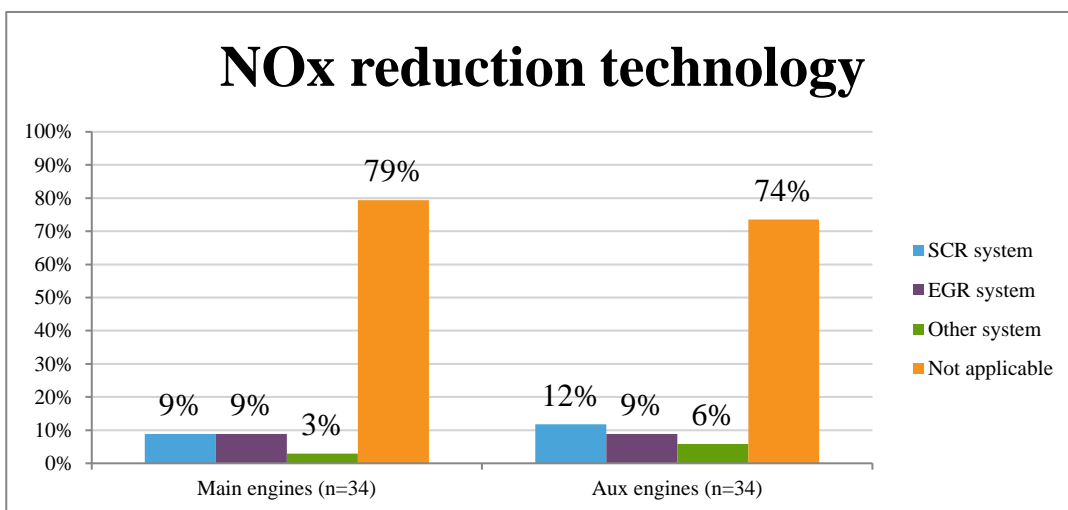
**Figur 4.15: Svovelinnhold i bunkers til hjelpemotorer**

De aller fleste skip benytter bunkers med lavt svovelinnhold. De fleste benytter MGO når de opererer i fjordene.





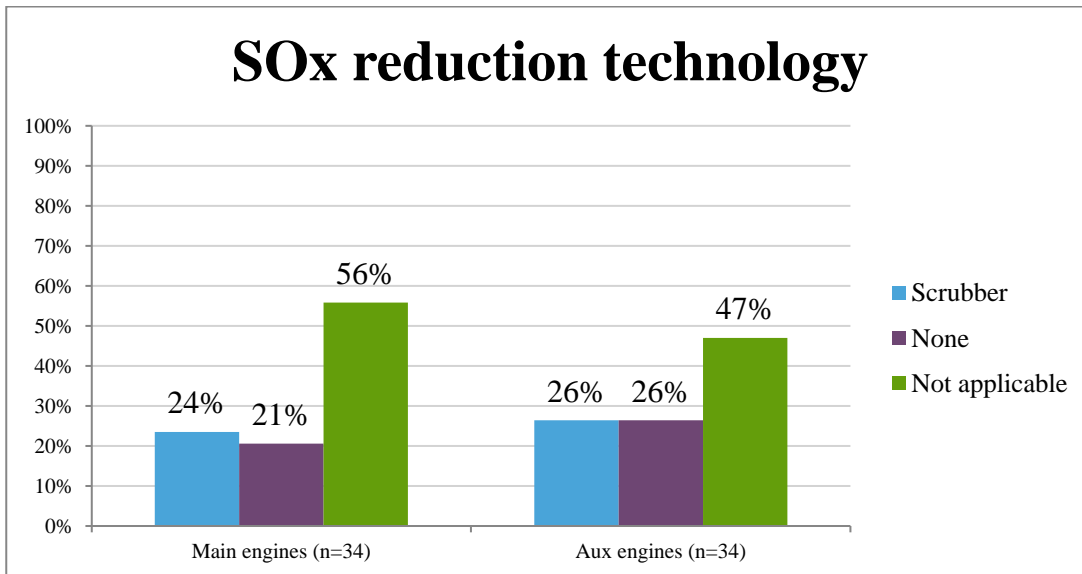
Figur 4.16: NOx certificate, IMO limits



Figur 4.17: NOx reduction technology, main and aux engines

NOx-utslippsnivå Tier 1,2,3) er knyttet til skipenes alder (byggeår). Ca. 20-25% av skipene oppgir at de har NOx reduksjonsteknologi installert.

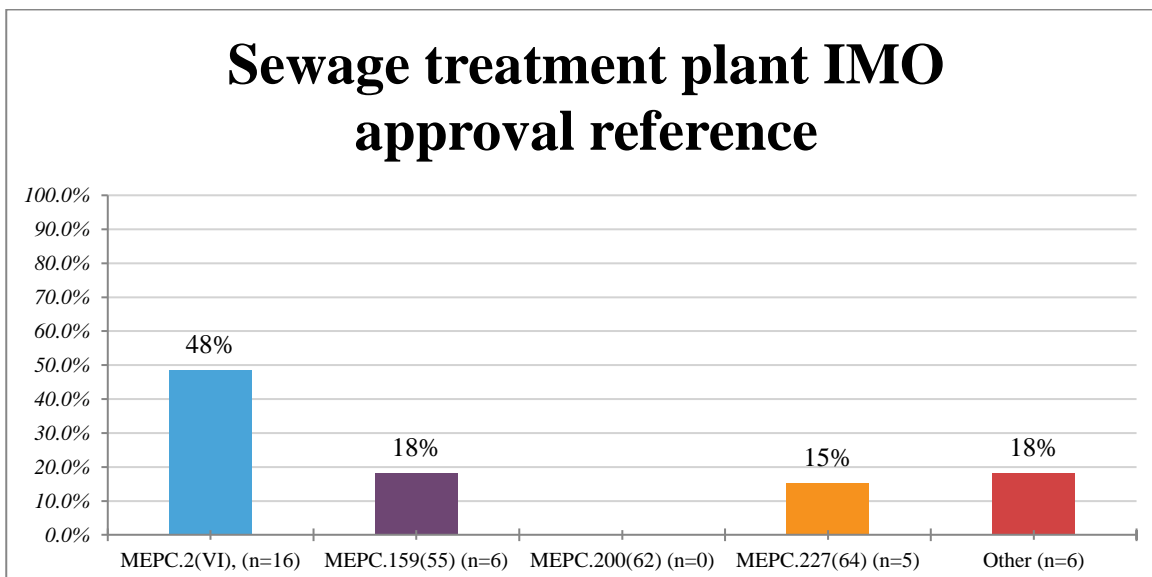
SCR system vil redusere NOx utslippsfaktor med i størrelsesorden 85-90 % slik at motorene tilfredsstiller IMO Tier 3 krav. EGR systemer har mindre effekt, men med slike systemer oppnås IMO Tier 2 krav.



**Figur 4.18: SOx reduction technology installed on main and aux engines**

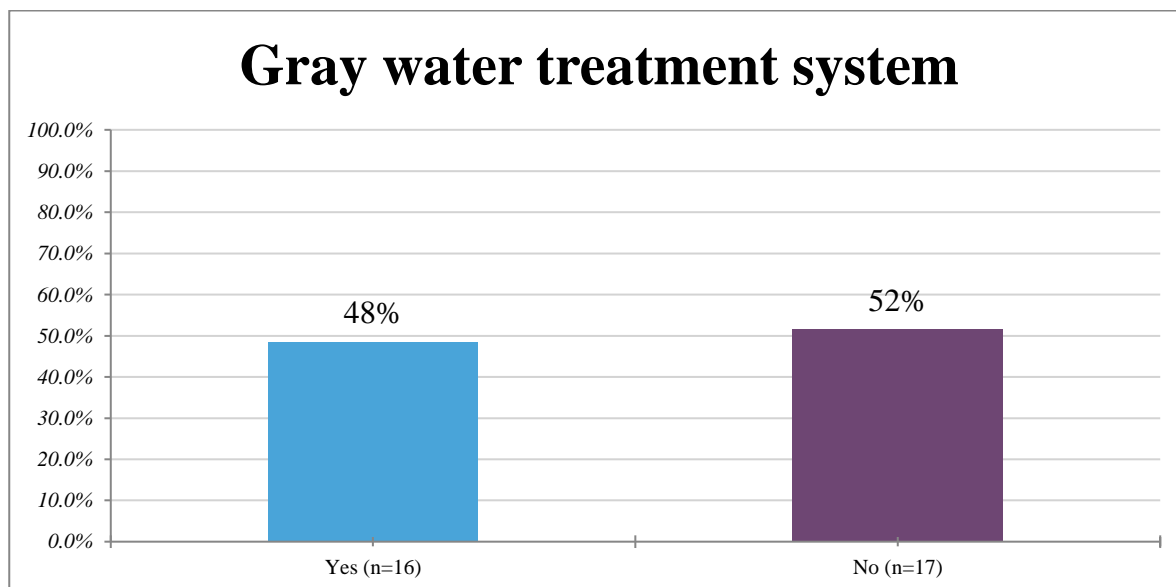
Krav til svovelutslipp kan møtes med bruk av lavsvovel drivstoff eller ved å rense eksos for svovel til et tilsvarende lavt nivå hvis drivstoffet har høyere svovelinnhold enn kravene.

Ca 25 % oppgir at de har installert scrubbersystemer for å redusere SOx-utslipp. Kommentarer forøvrig er at de bruker drivstoff med svovelinnhold iht. gjeldende krav, dvs < 0,1% S. Det er noen flere skip som oppgir at de har scrubber om bord enn de som benytter tungolje. Det er gitt kommentarer til dette om at scrubbersystemene er under uttesting og skipene fortsatt benytter MGO i indre farvann.



**Figur 4.19: Kloakk-system, IMO referanse**

Det foreligger IMO-krav til kloakk system der disse refererer til forskjellige MEPC resolusjoner.



**Figur 4.20: Skip med installert gråvannsanlegg**

Ca. halvparten av skipene har installert spesielle anlegg for behandling av gråvann om bord.

## 5 Operasjonelle data - Geirangerfjorden

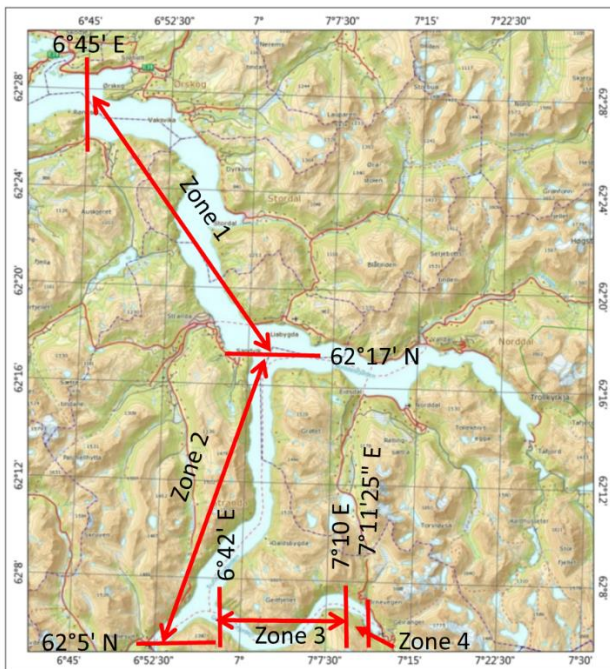
En del av spørreundersøkelsen har vært å få frem operasjonelle data for skipene når de besøker de norske fjordene.

Dette omfatter hastighet inn i fjordene og kraftforbruk når skipeneligger i havn eller for anker. Med basis i operasjonsprofil vil det dermed være mulig å estimere utslipp til luft.

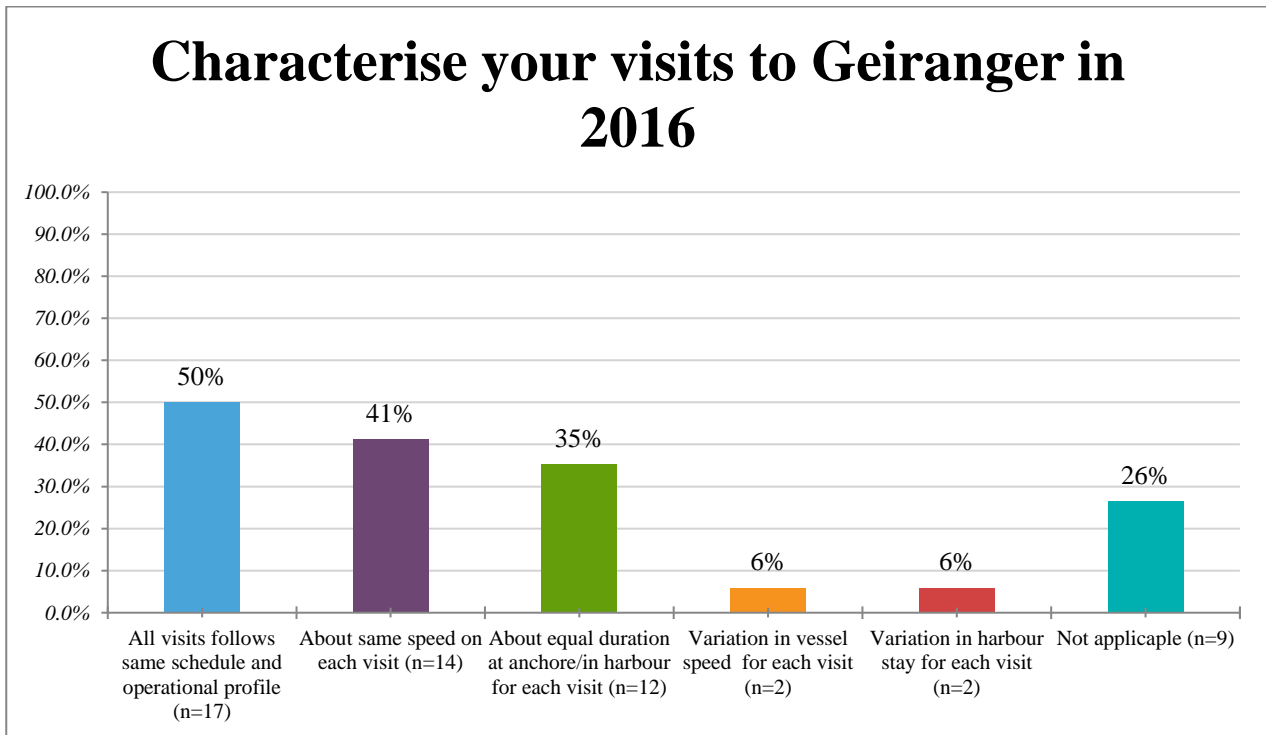
I tillegg er det forespurt om rutiner og systemer som skipene har for utslipp til sjø.

### 5.1 Definisjon av utslippssoner, Geiranger

I undersøkelsen ble det definert fire utslippssoner for Geirangerfjorden. I tillegg ble det forespurt om data fra skipene når disse lå i havn.



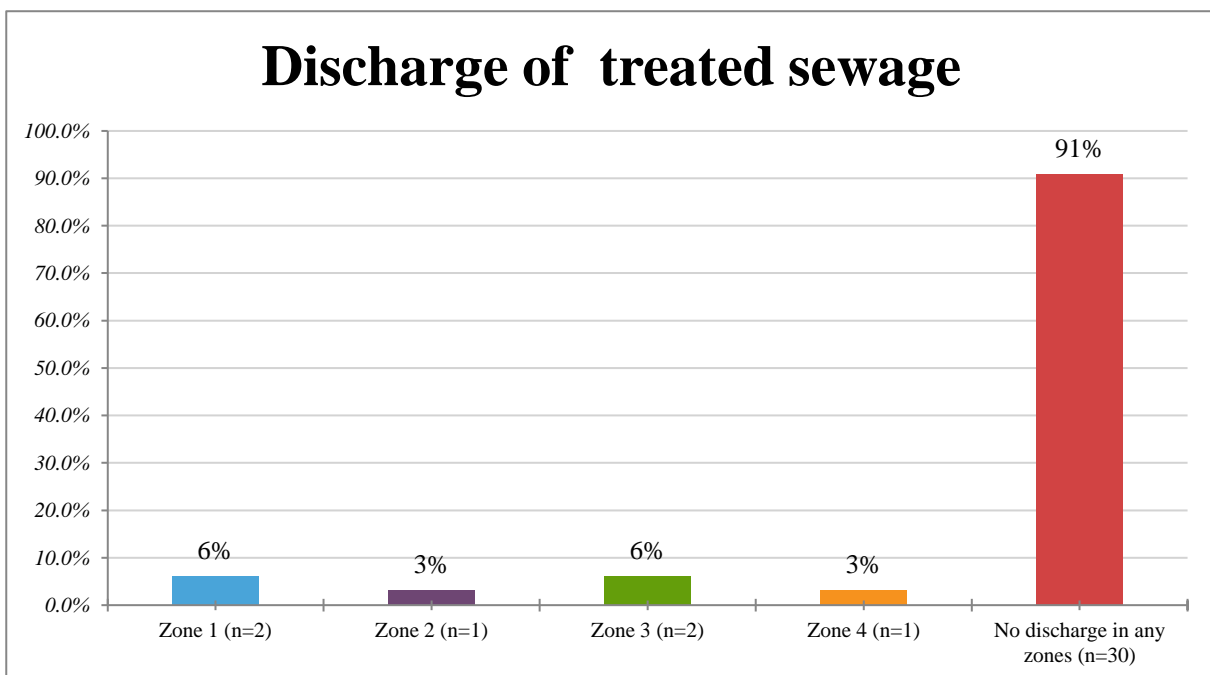
Figur 5.1: Definisjon av utslippssoner, innseiling til Geiranger



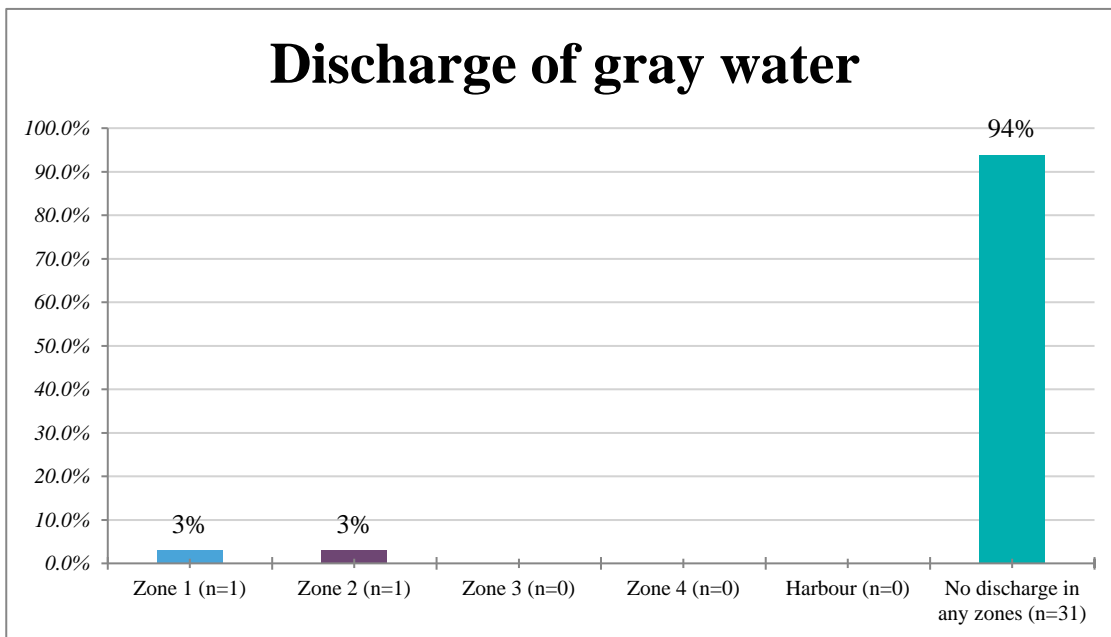
Figur 5.2: Beskrivelse av seilas, Geirangerfjorden

## 5.2 Utslipp til sjø, Geirangerfjorden

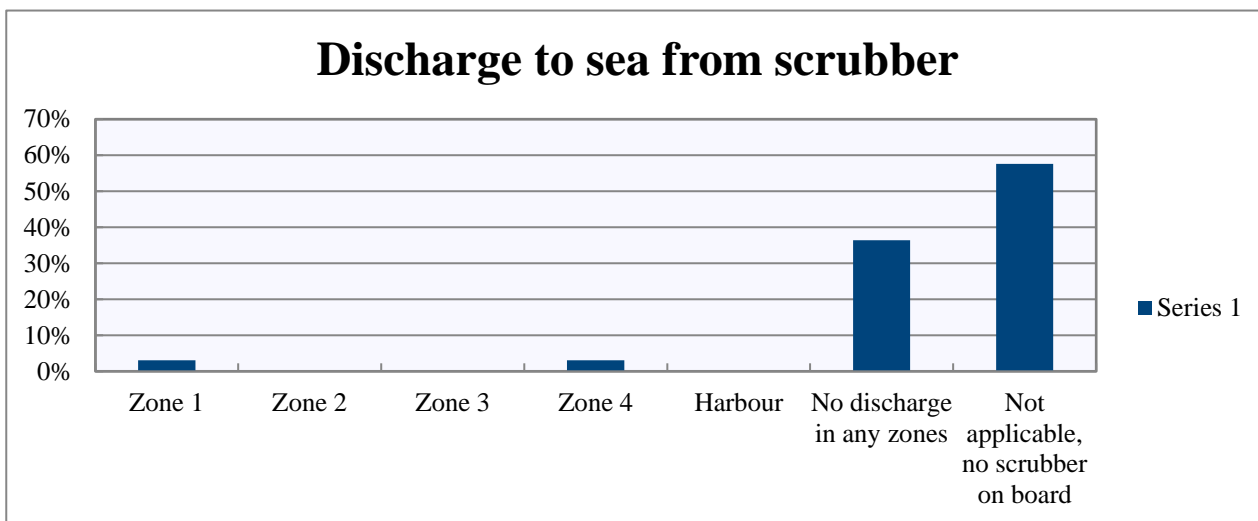
Utslipp til sjø omfatter lensevann, kloakk gråvann og eventuelle utslipp fra bruk av scrubber om bord.



Figur 5.3: Utslipp av behandlet kloakk, Geirangerfjorden

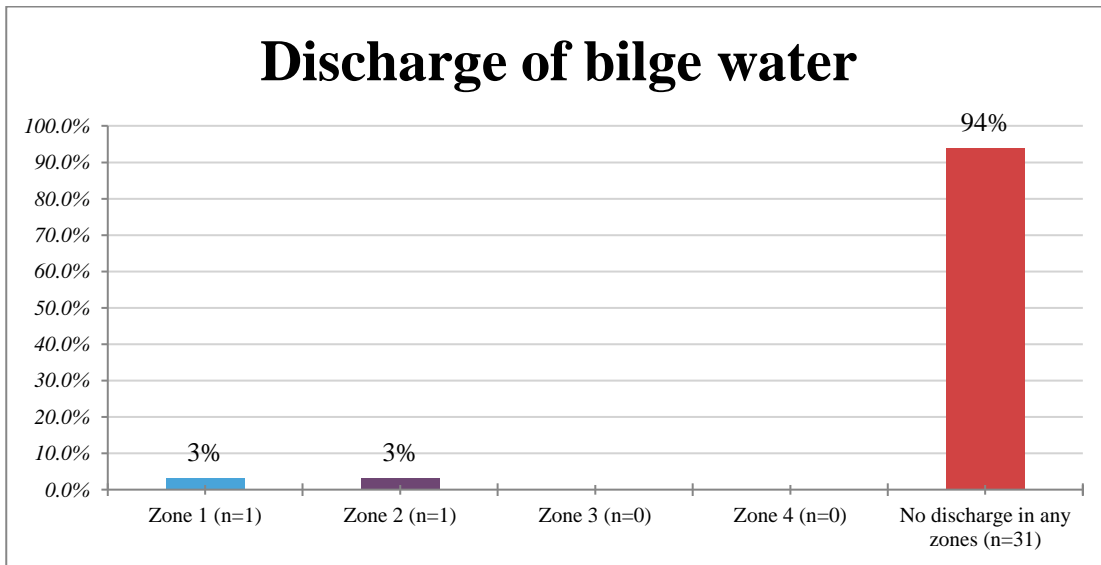


Figur 5.4: Utslipp av gråvann, Geirangerfjorden



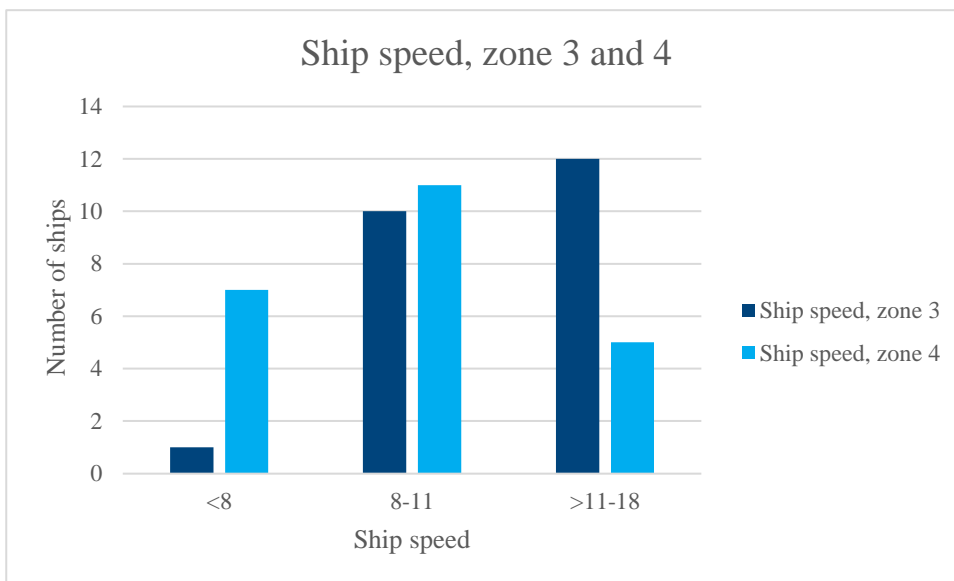
Figur 5.5 - Utslipp til sjø fra scrubber

Besvarelse for "Utslipp til sjø fra scrubbere" viser at lav andel av skipene har slik installasjon eller benytter denne i fjordene da de fleste skipene benytter MGO med lavt svovelinnhold i disse områdene. Kommentarer beskriver muligheter til å kjøre "closed loop" i havn og skjermede farvann med oppsamling og "open loop" med utslipp til sjø i andre områder. Utslipp til sjø renses iht. gjeldende krav.

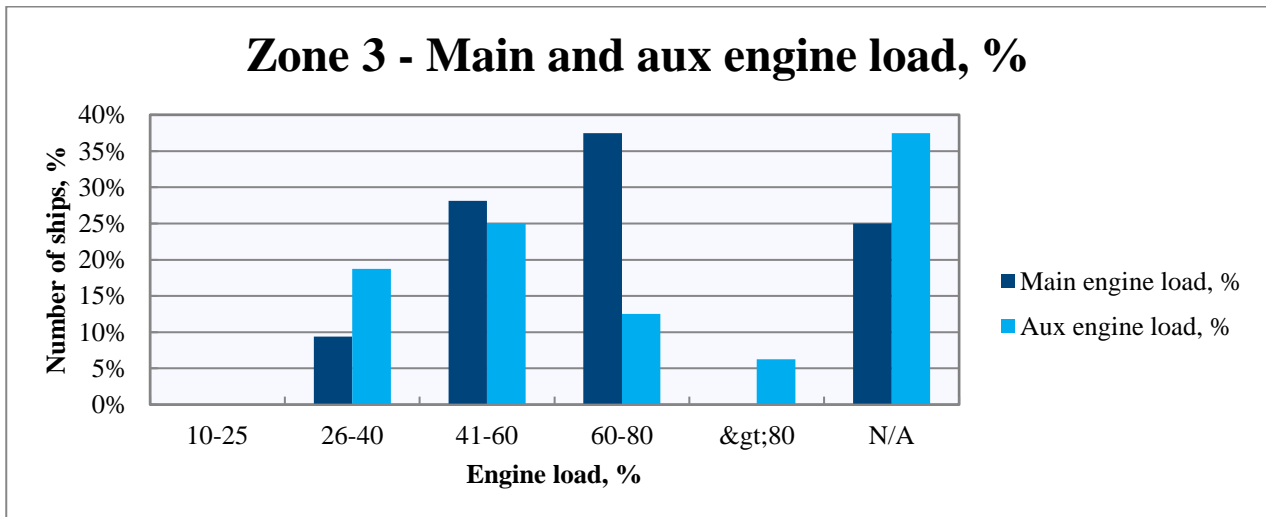


**Figur 5.6: Utslipp av lensevann, Geirangerfjorden**

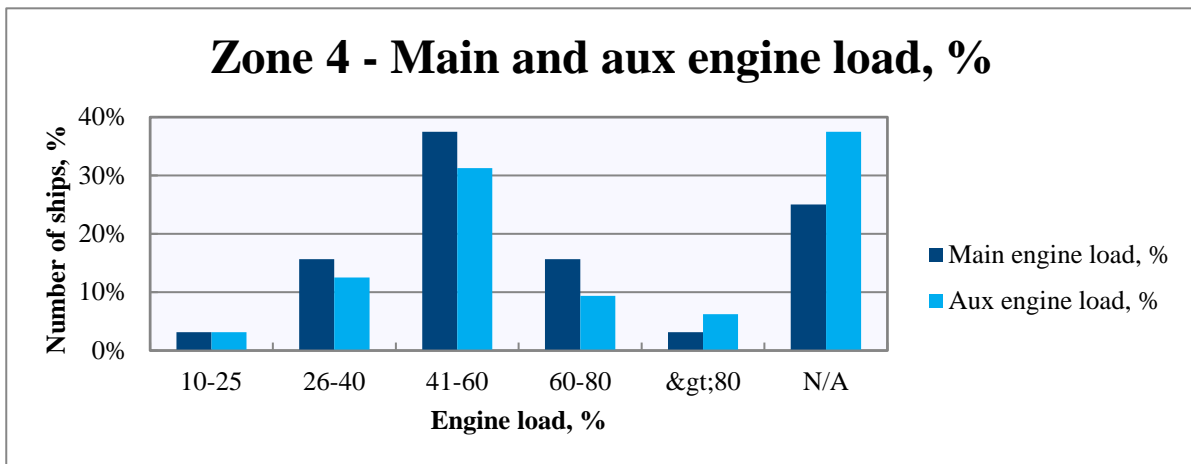
De fleste skipene slipper ikke ut lensevann i fjordene.



**Figur 5.7: Hastighet i Geirangerfjorden, sone 3 og 4.**



Figur 5.8: Motorbelastning, zone 3, Geirangerfjorden

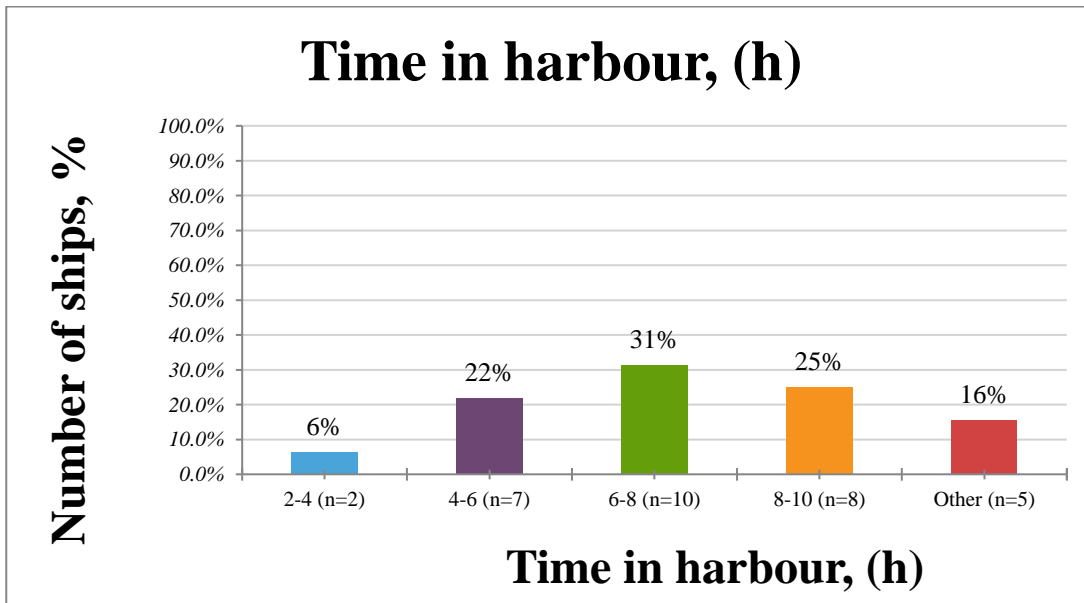


Figur 5.9: Motorbelastning, zone 4, Geirangerfjorden

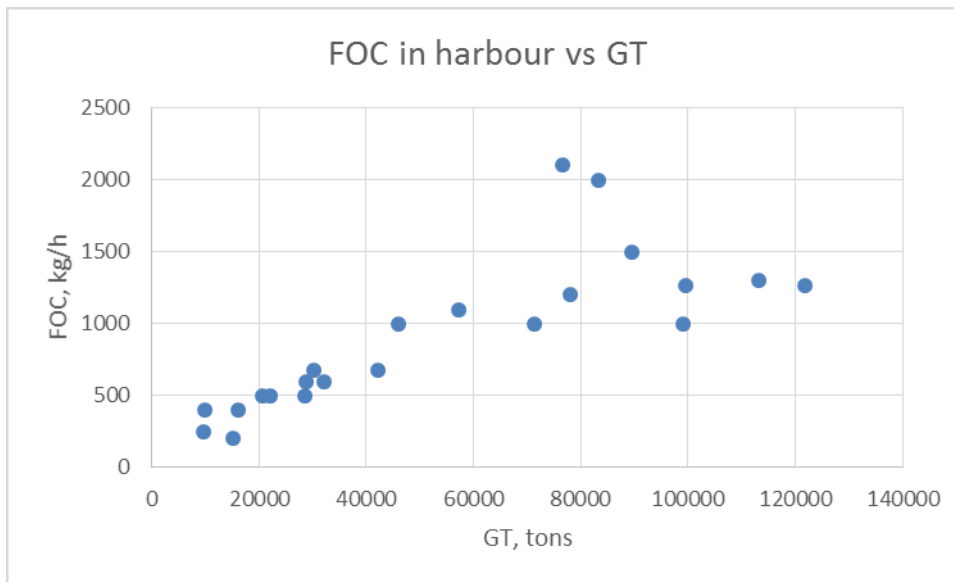
I sone 3 er hovedmotorbelastning relativt høy for flertallet av skipene. I sone 4 reduseres hastighet og motorbelastning tilsvarende.

Andre motorrelaterte spørsmål knyttet til operasjonsmønster omhandlet eksosstemperaturer og anvendelse av katalysator. Et fåtall skip har SCR anlegg slik at disse spørsmålene ble lite relevante og er ikke rapportert.

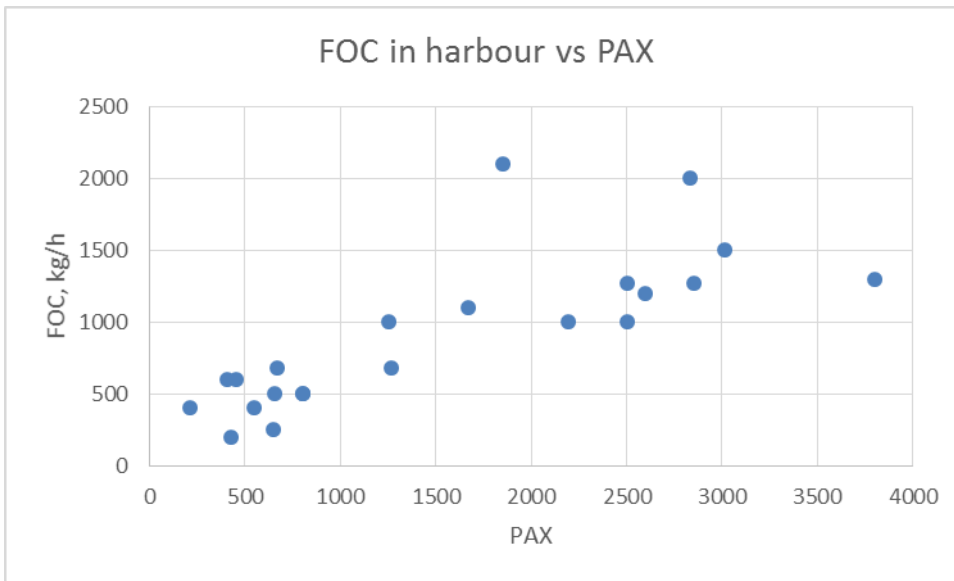




Figur 5.10: Oppholdstid i havn, Geiranger



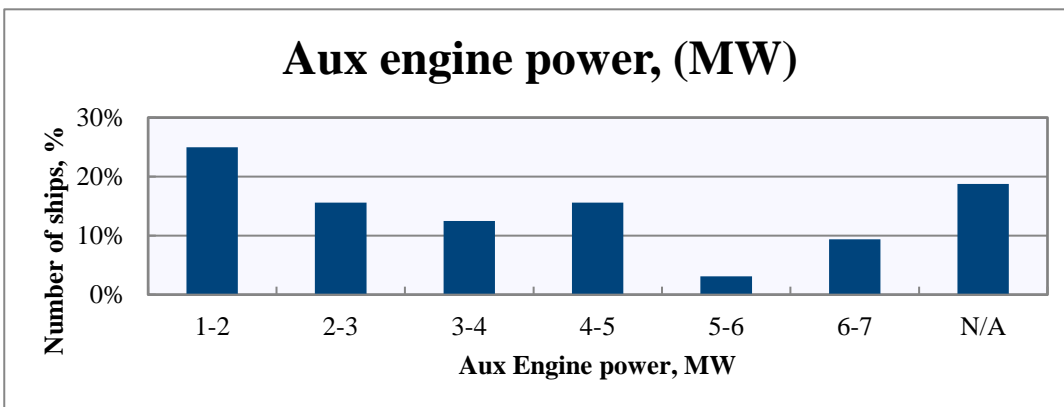
Figur 5.11; Drivstofforbruk i havn fordelt på skipsstørrelse, Geiranger



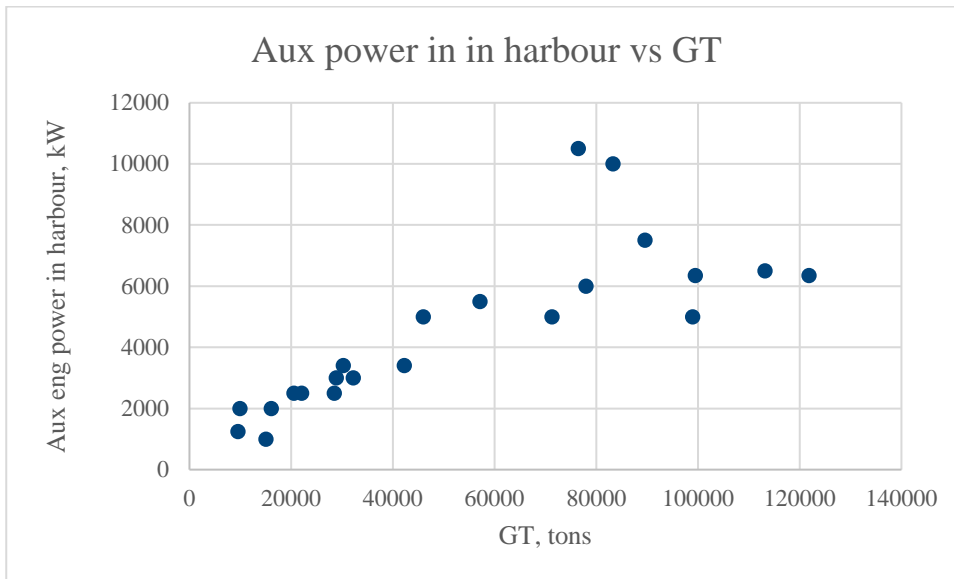
**Figur 5.12; Drivstofforbruk i havn fordelt på max passasjerantall om bord, Geiranger**

En ser en klar korrelasjon mellom drivstofforbruk i havn og størrelse på skip og/eller passasjerantall om bord.

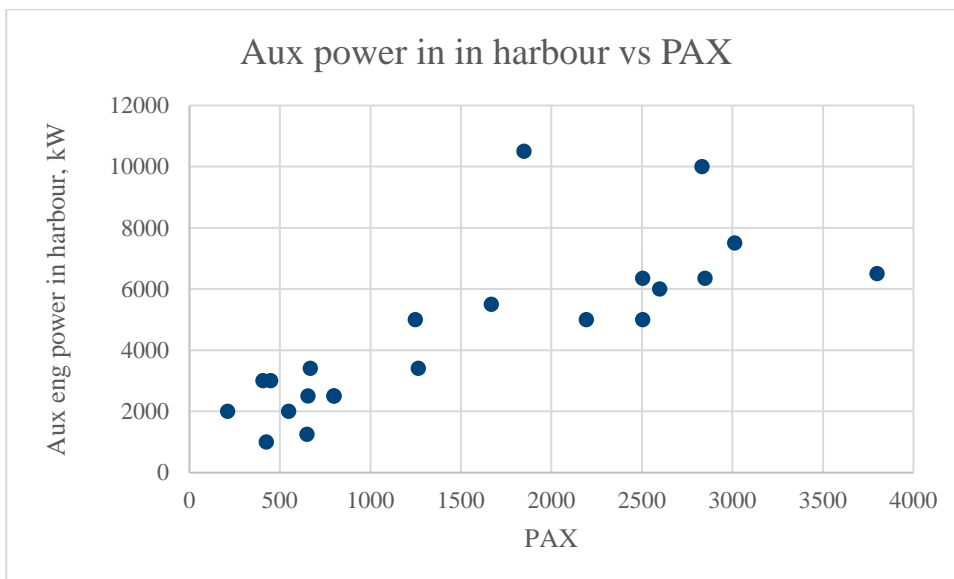
Gjennomsnittlig kraftproduksjon i havn er drivstofforbruk i havn for alle skipene er beregnet til:



**Figur 5.13 Kraftproduksjon i havn, Geiranger**



Figur 5.14: Kraftproduksjon fra hjelpemotorer i havn vs. skipsstørrelse, GT, (ton)



Figur 5.15: Kraftforbruk i havn fordelt på registrert passasjerer-kapasitet

Operasjonsprofil basert på gjennomsnittsdata er summert i Tabell 5.1.

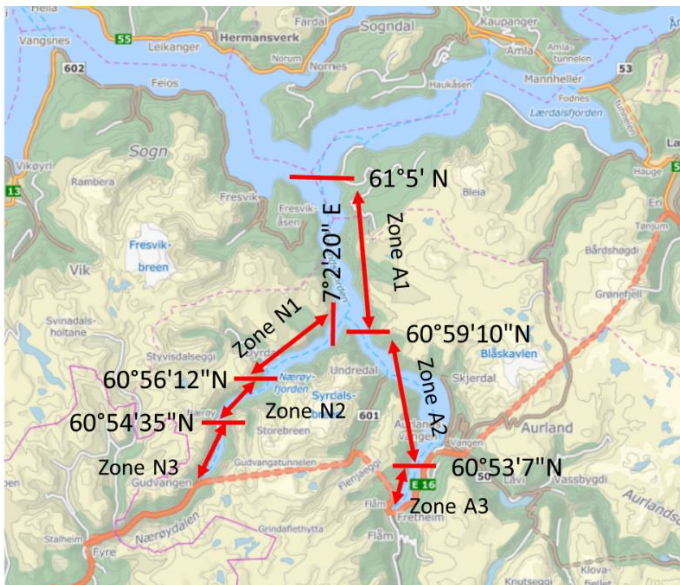
Parameter	Sone 3	Sone 4	Havn
Skip hastighet, kn	13	10	0
Propulsjon ytelse, kW	11113	8611	0
Hjelpemotorer ytelse, kW	5636	5594	4557

**Tabell 5.1: Operasjonsprofil, cruiseskip i Geirangerfjorden sone 3, 4 og i havn, basert på gjennomsnittstall**

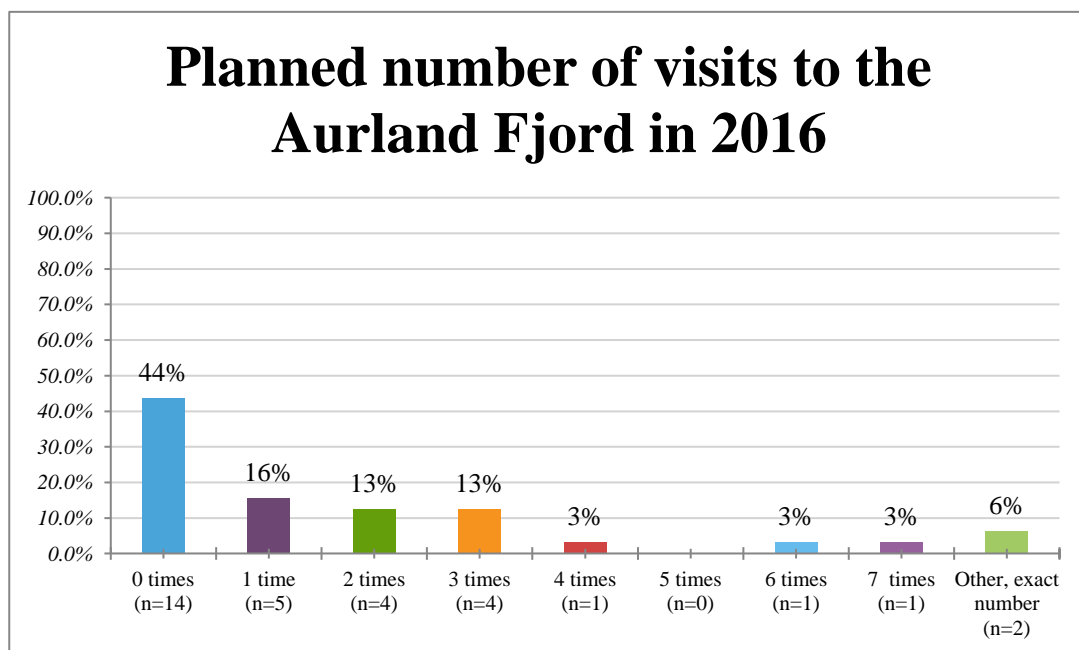
**6 Operasjonelle data – Aurland- og Nærøyfjorden**

**6.1 Definisjon av utslippssoner, Aurland- og Nærøyfjorden**

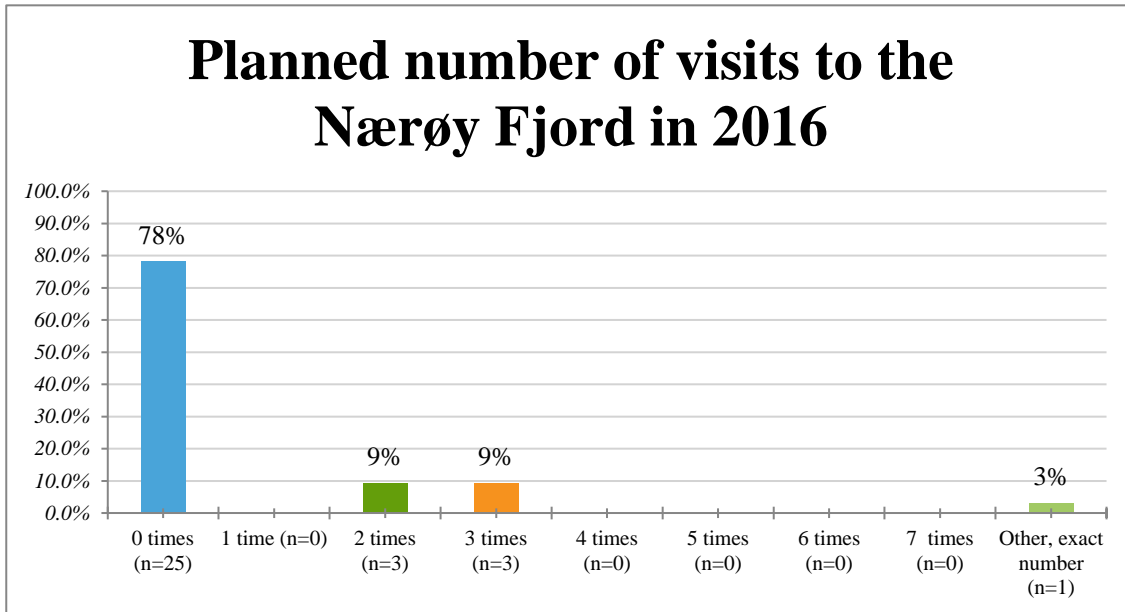
I undersøkelsen ble det definert fire utslippssoner for Aurland og Nærøyfjorden. I tillegg ble det forspurt om data fra skipene når disse lå i havn.



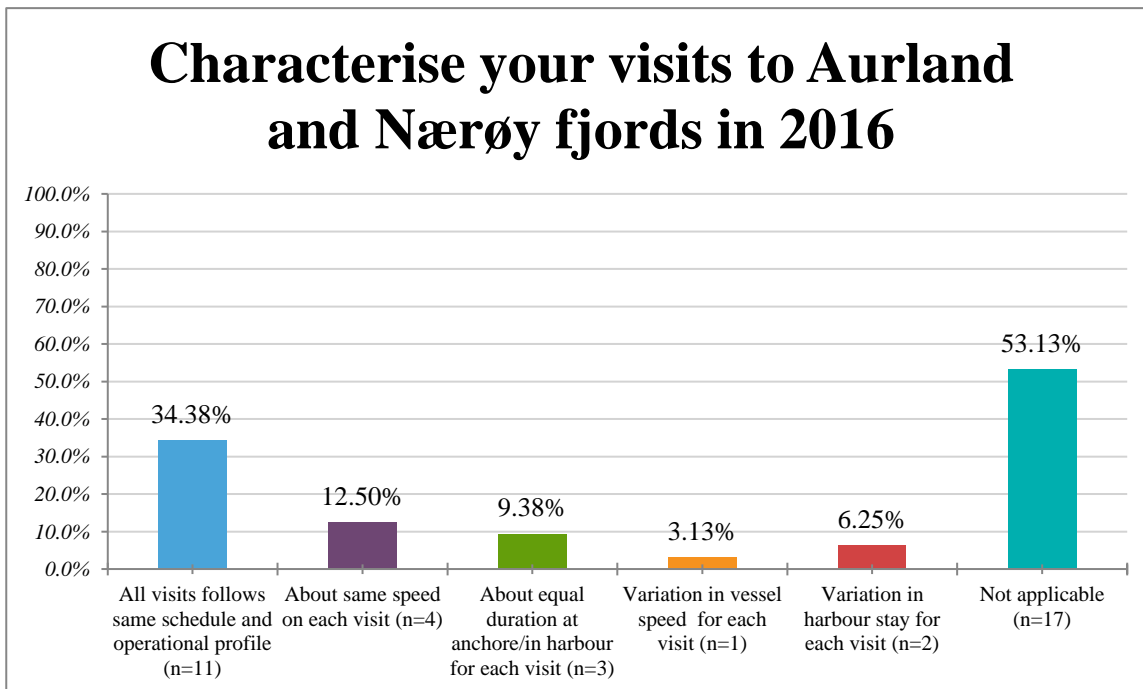
**Figur 6.1: Utslippssoner – Aurland- og Nærøyfjorden**



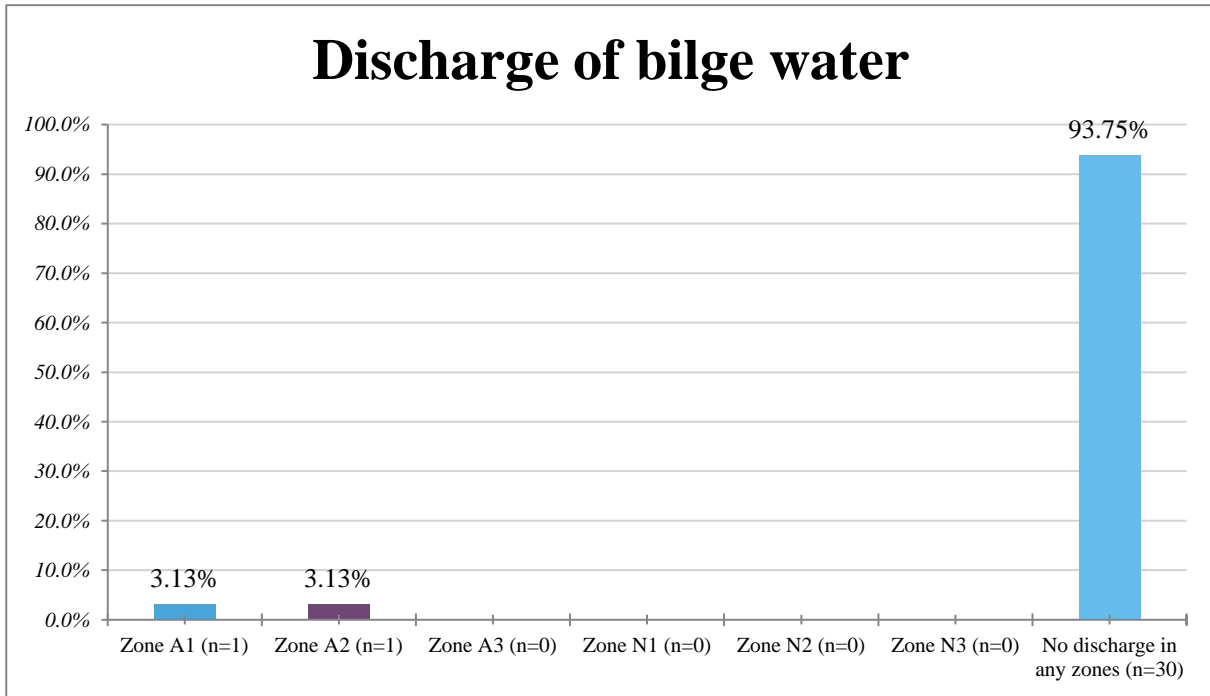
**Figur 6.2: Planlagte besøk i Aurlandsfjorden, 2016**



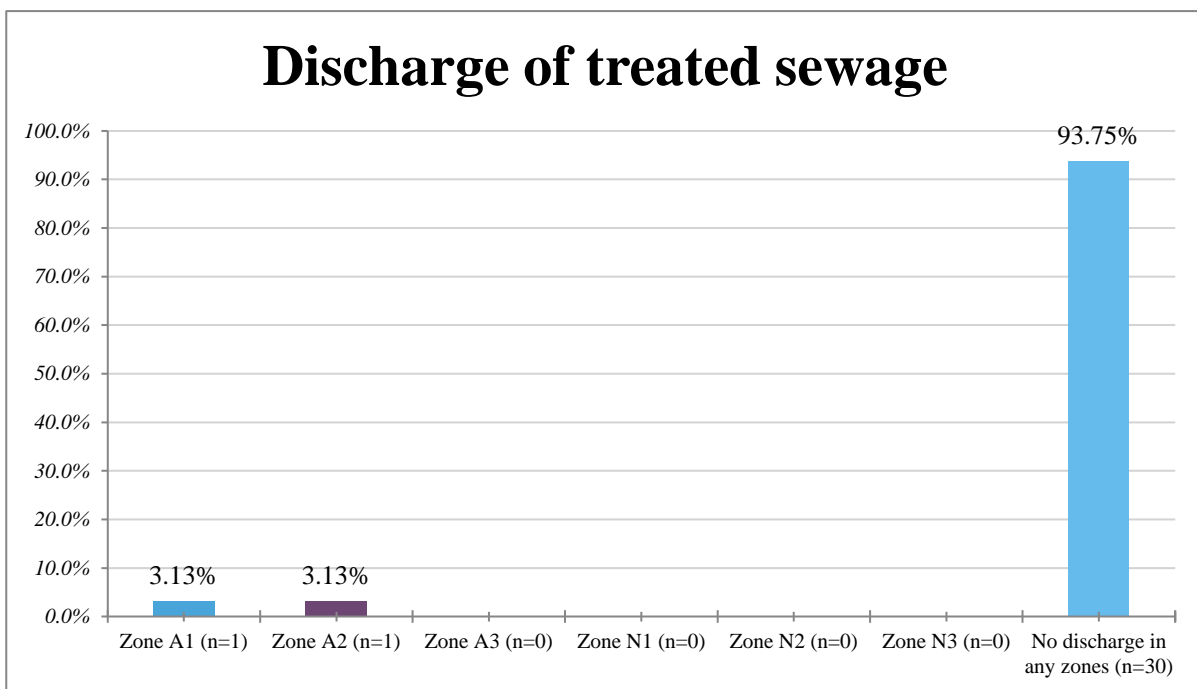
Figur 6.3: Planlagte besøk i Nærøyfjorden, 2016



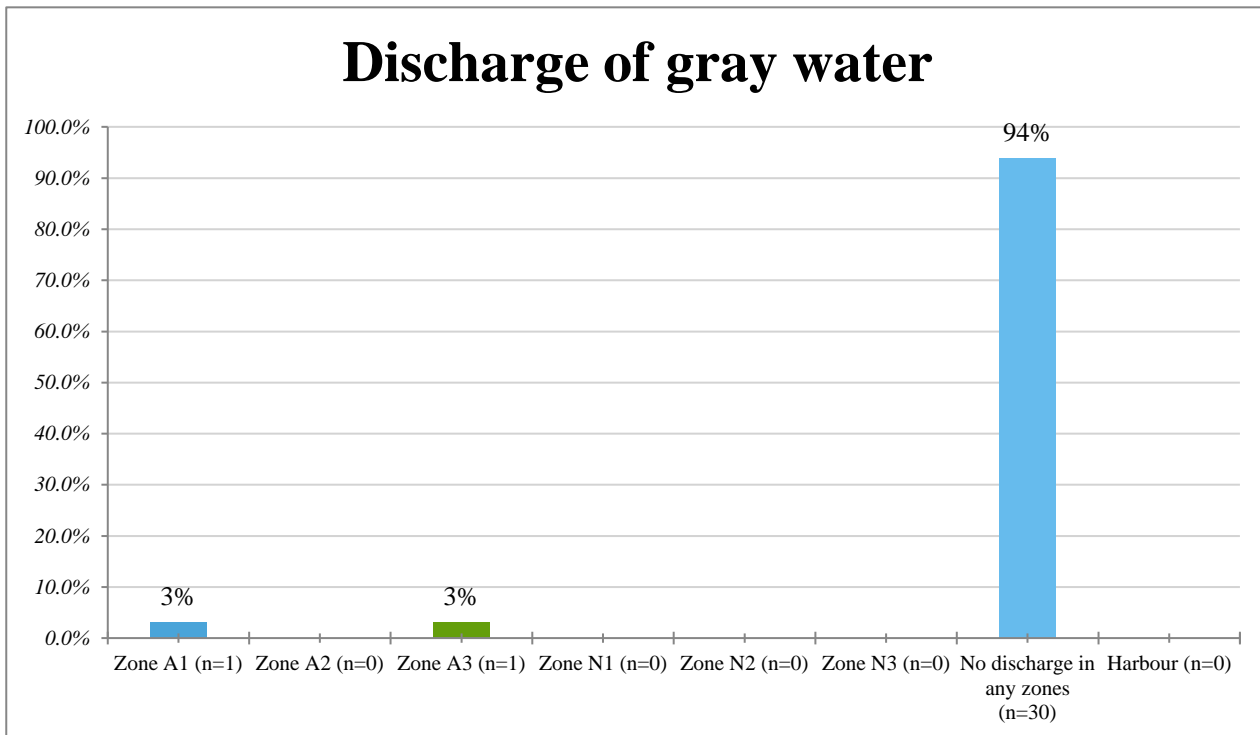
Figur 6.4: Beskrivelse av seilingsmønster



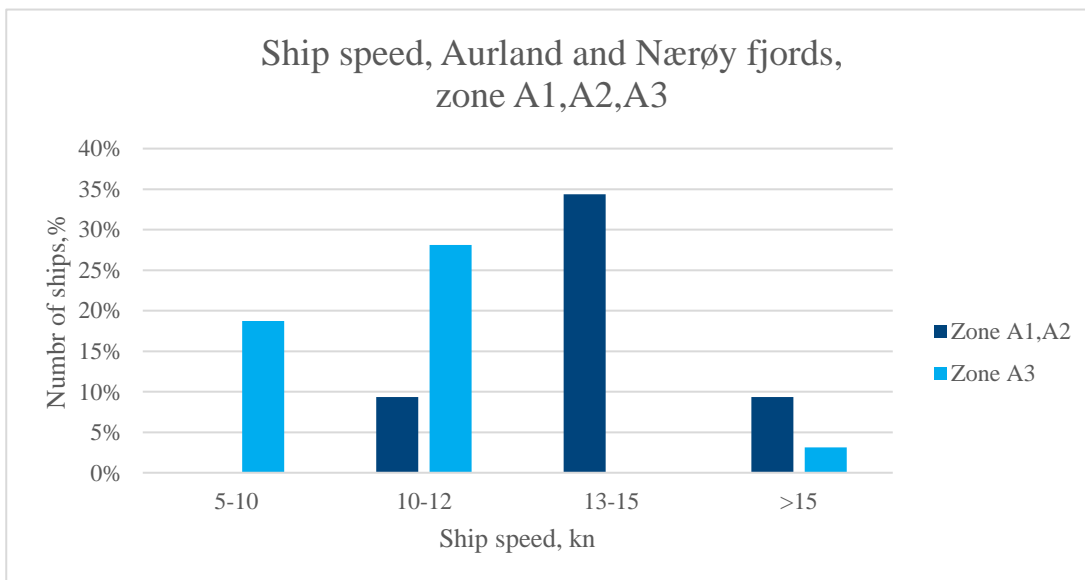
Figur 6.5 Utslipp av lensevann, Aurland -og Nærøyfjorden



Figur 6.6 Utslipp av kloakk, Aurland -og Nærøyfjorden

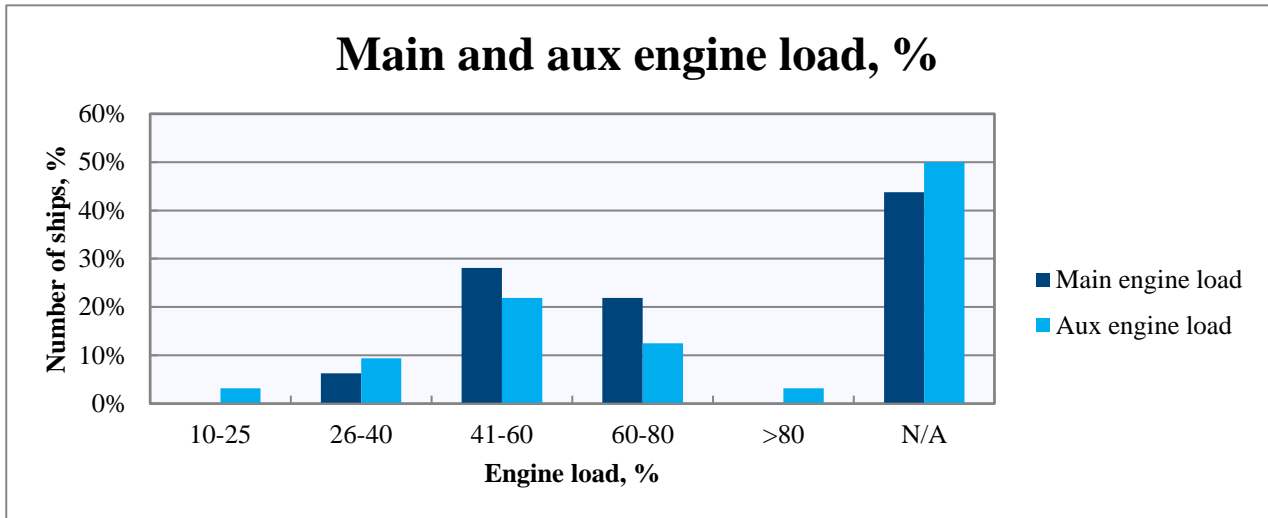


**Figur 6.7: Utslipp av gråvann, Aurland -og Nærøyfjorden**

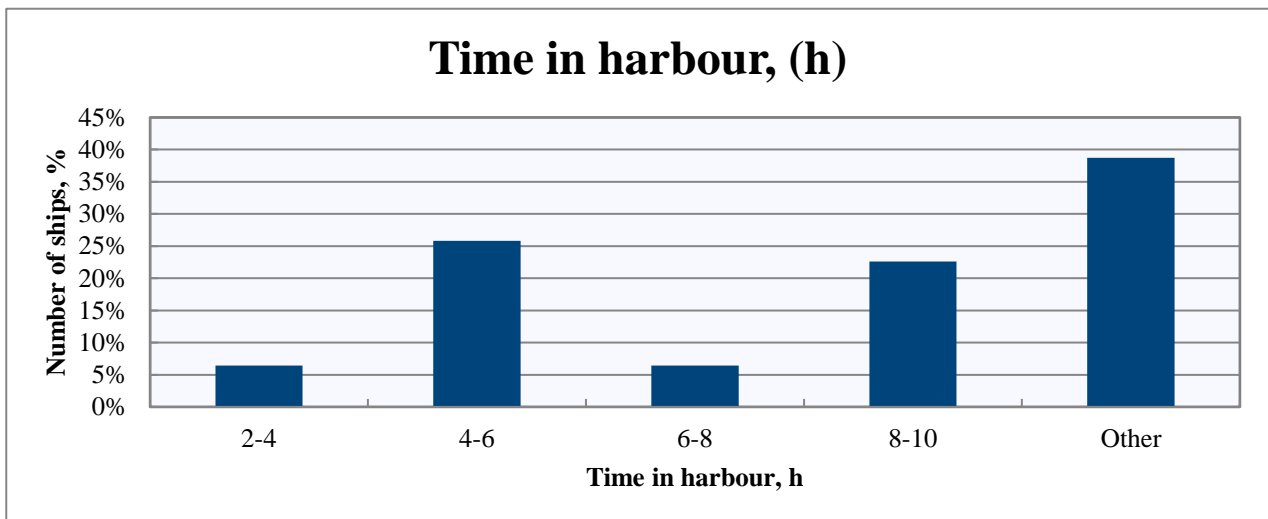


**Figur 6.8: Hastighet, cruiseskip i Aurlandsfjorden**





Figur 6.9: Belastning på hoved- og hjelpemotor, sone A1 og A2.



Figur 6.10: Tid i havn, Flåm

Forbruk og ytelse i havn for Flåm vil være tilsvarende som rapportert for Geiranger.

## 6.2 Nærøyfjorden

Kun åtte skip oppgir å ha besøkt Nærøyfjorden og av disse er det ufullstendige svar fra fire.

Hastighet i Sone N1, N2 og N3 oppgis til 10-12 knop, og motorbelastning er tilsvarende som for seiling i Aurlandsfjorden. Pga manglende datagrunnlag er det ikke gitt ytterligere informasjon fra Nærøyfjorden i denne rapporten.

## 7 Lokal trafikk

Data er samlet inn fra lokal trafikk fra ferger og passasjerbåter ved hjelp av spørreskjema til aktuelle rederier og operatører. Lokal trafikk består av ferger og passasjerbåter samt lokale charterbåter, tenderbåter og rib-båter. I spørreundersøkelsen er det mottatt svar fra rutegående fartøy.

### 7.1 Teknisk informasjon om skipene

Teknisk informasjon for skipene er gitt i Tabell 7.1.

Navn	Byggeår	Ant HM	HM	Type	Årsmodell	Nominell ytelse, kW	Motor-turtall	Ant hj.motorer	Produsent	Type	Nominell ytelse, kW
Bolsøy	1971	2	Wickmann	7ACAT	1971	2x770	400-600	2	Volvo	MD 120 AK	2x120
Veøy	1974	2	Wickmann	5AX	1974	2x920	400-600	2	Volvo	TAMD 122	2x120
Geirangerfjord	1981	2	Scania	DI16 42M	2007/2016	2x375	1200-1500	1	John Deere	4045 DF M50/TF 50	32
Fanaraaken	1973	1	Caterpillar	3512 BTA	2000	1119	1200-1500	2	lvo/John Deere	MD70 / 6068	2x75
Hardingen Sr.	1966	2	Wickmann	4ACAT	1966	2x447,5	350	2	N/A	N/A	127
MF Skånevik	1967	2	Wickmann	4ACAT	1967	2x447,6	350	2	N/A	N/A	127
Skagastøl	1970	1	Wickmann	6ACAT	1970	661	375	2	Volvo	MD70	2x70

**Tabell 7.1: Teknisk informasjon, skip i lokal trafikk. Geirangerfjorden og Aurland/Nærøyfjorden.**

Felles for alle skipene er at de ikke har installert spesielle NO<sub>x</sub>- reduserende tiltak. NO<sub>x</sub> utslippsfaktor kan derfor forventes å være iht. IMO-kurven, dvs IMO før år 2000 for alle skipene unntatt Geirangerfjord som har nyere motorer som tilfredsstillende IMO Tier I krav.

Alle båtene bruker lavsvovel drivstoff som spesifisert

Skip	Drivstoff	Svovel, %	Op. område
Bolsøy	MGO	0,038	Geiranger
Veøy	MGO	0,038	Geiranger
Geirangerfjord	Autodiesel	0,001	Geiranger
Fanaraaken	MGO	0,038	Aur/Nær
Hardingen Sr.	MGO	0,05	Aur/Nær
MF Skånevik	MGO	0,05	Aur/Nær
Skagastøl	MGO	0,038	Aur/Nær

**Tabell 7.2: Drivstoffspesifikasjon, lokal trafikk i Geiranger- Aurland- og Nærøyfjorden**

Tenderbåter benyttes i forbindelse med frakting av passasjerer til land. Data for disse er tidligere innhentet i /1/. Typisk motorinstallasjon er Volvo Penta D6-330 eller tilsvarende med nominell ytelse på ca. 250 kW. Det er anslått et drivstofforbruk på ca 2 tonn MGO i løpet av en sesong i Geirangerfjorden, (ca. 199 cruise-anløp).

RIB-båter benyttes til fjordcruise og det er ikke mottatt driftsdata fra disse, slik at forbruksdata her også er hentet fra /1/ der det oppgis at RIB-båtene bruker ca 1,5 l/nm og totalt forbruk på en sesong i Geiranger er ca. 10 000 liter tilsvarende ca 8,5 tonn MGO.

Tenderbåter og RIB-båter er ikke diskutert videre i denne rapporten.

## 7.2 Geirangerfjorden

Lokal trafikk i Geirangerfjorden er kjent og består i ferger i rute mellom Geiranger og Hellesylt, fjordcruise i henhold til fastsatte ruter for passasjerbåt, fjordcruise med RIB-båter og operasjon av tender-båter til/fra cruiseskipene.

### 7.2.1 Ferger og fjordcruise

I sommersesongen går det ferger mellom Geiranger og Hellesylt iht. ruteplan vist i Tabell 7.3.

GEIRANGER FERRY 2016								
Geiranger-Hellesylt								
01.05-31.05								
Dep. Geiranger	08:00	11:00	14:00	17:00				
Arr. Hellesylt	09:05	12:05	15:05	18:05				
01.05-31.05								
Dep. Hellesylt	09:30	12:30	15:30	18:30				
Arr. Geiranger	10:35	13:35	16:35	19:35				
01.06-31.08								
Dep. Geiranger	08:00	09:30	11:00	12:30	14:00	15:30	17:00	18:30
Arr. Hellesylt	09:05	10:35	12:05	13:35	15:05	16:35	18:05	19:35
01.06-31.08								
Dep. Hellesylt	08:00	09:30	11:00	12:30	14:00	15:30	17:00	18:30
Arr. Geiranger	09:05	10:35	12:05	13:35	15:05	16:35	18:05	19:35
01.09-30.09								
Dep. Geiranger	08:00	11:00	14:00	17:00				
Arr. Hellesylt	09:05	12:05	15:05	18:05				
01.09-30.09								
Dep. Hellesylt	09:30	12:30	15:30	18:30				
Arr. Geiranger	10:35	13:35	16:35	19:35				



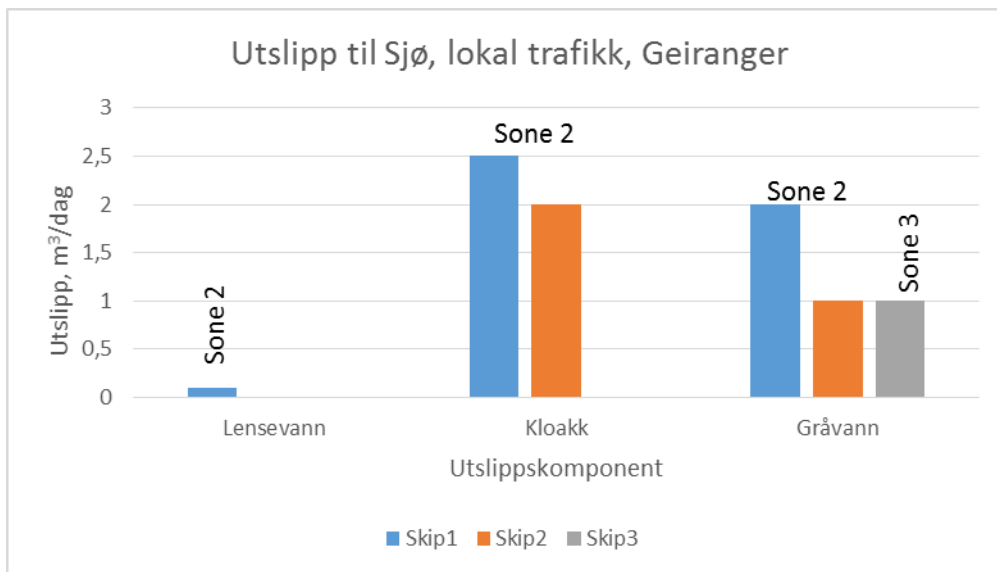
**Tabell 7.3: Rutetabell for ferge, Geiranger –Hellesylt**

I 2016 ble ruten forlenget ut oktober. Tilsammen 552 rundturer ble derfor gjennomført i 2016. Gjennomsnittlig fart for å holde ruta er 10 knop. Ruten opereres med to ferger, MF Bolsøy og MF Veøy.

I Geirangerfjorden opererer også MF Geirangerfjord i fast rute fra april til november. I høysesong kjøres 4 rundturer per da, (15. mai-15 september) som gir 466 rundturer i denne perioden.

### 7.2.2 Utslipp til sjø, lokal trafikk Geiranger

Utslipp til sjø fra fergene oppgis å være behandlet kloakk og gråvann som slippes ut i sone 2, 0,5 -2 m<sup>3</sup> per dag



Figur 7.1: Utslipp til sjø, lokal trafikk, Geirangerfjorden

En av fergene oppgir også at det slippes ut små mengder lensevann i sone 2. (0,1 m3).

### 7.2.3 Utslipp til luft, lokal trafikk, Geiranger

Utslipp til luft har direkte sammenheng med operasjonsprofil og drivstofforbruk.

Fergene opererer på MGO med S nivå på 0,038%. Geirangerfjord benytter autodieselkvalitet med S < 0,001%.

Operatører ble bedt om å anslå drivstofforbruk per rundtur. Estimert forbruk er satt opp i Tabell 7.4.

Skip	Installert effekt	Spesifikt forbruk	Forbruk per time	Forbruk per tur	Forbruk per rundtur	Antall rundturer	Årsforbruk	Årsforbruk	Dagsforbruk
	kW	g/kWh	kg	kg	kg/rundtur		kg/år	tonn/år	tonn/dag
Bolsøy	1540	0,22	169,4	183,5	367,0	552	202602	203	1,1
Veøy	1840	0,22	202,4	219,3	438,5	552	242070	242	1,3
Geirangerfjord	700	0,22	48		72,0	566	40752	41	0,2

Tabell 7.4: Estimert drivstofforbruk i sesongen 2016 for lokal trafikk i Geirangerfjorden

Estimert forbruk for fergene er beregnet ut fra antatt spesifikt forbruk for motorene og gjennomsnittlig 50% motorbelastning. For Geirangerfjord er årlig forbruk estimert ut fra oppgitt drivstofforbruk fra operatør.

Det er ikke gjort spesielle tiltak for reduksjon av utslipp for disse skipene slik at standard utslippsfaktorer gjelder for disse skipene.

### 7.2.4 Hurtigruta

Hurtigruta går i rute in Geirangerfjorden i sommersesongen og har daglige anløp. Tilsammen 11 fartøy har besøkt Geiranger i 2016, med 6-12 besøk per skip. Iht. ruteplan var totalt 97 turer til Geirangerfjorden planlagt i sesongen 2016.

<b>Hurtigruten - skip og hovedmotor</b>						
Skip	Hovedmotor	Antall	Årsmodell	Effekt / stk	Nominelt turtall RPM	Ant. besøk Geiranger iht rutetabell
<b>Lofoten</b>	B&W - DM742VT2BF90	1	1964	2447 kw		7
<b>Vesterålen</b>	Bergen Diesel KVM-16	2	1983	2380 kw	750	8
<b>Kong Harald</b>	MaK 6M552C	2	1993	4500 kw	500	8
<b>Richard With</b>	MaK 6M552C	2	1993	4500 kw	500	8
<b>Nordlys</b>	MaK 6M552C	2	1994	4500 kw	500	9
<b>Nordkapp</b>	MaK 6M552C	2	1996	4500 kw	500	9
<b>Nordnorge</b>	MaK 6M552C	2	1997	4500 kw	500	8
<b>Polarlys</b>	Ulstein Bergen BRM-9	2	1996	3970 kw	750	9
<b>Finnmarken</b>	Wärtsilä W9L32	2	2003	4120 kw	750	8
<b>Trollfjord</b>	Wärtsilä W9L32	2	2002	4140 kw	750	8
<b>Midnatsol</b>	Wärtsilä W9L32	2	2003	4140 kw	750	8
<b>Spitsbergen</b>	ABC	4	2009	2*3000 2x 2500	1000	7

**Tabell 7.5: Fartøydata, Hurtigruten.**

<b>HJELPEMOTORER</b>					
Skip	Hjelpemotor	Antall	Årsmodell	Effekt / stk	Nominelt turtall
<b>Lofoten</b>	Volvo Penta - D16C-A MG	2	2015	450 kw	1500
	Volvo Penta - D30 A MT	1	2007	640 kw	1500
<b>Vesterålen</b>	Bergen Diesel KRG-5	2	1983	650 kw	750
	Bergen Diesel KRG-3	1		385 kw	750
<b>Kong Harald</b>	Bergen Diesel KRG-8	2	1993	1265 kw	750
<b>Richard With</b>	Bergen Diesel KRG-8	2	1993	1265 kw	750
<b>Nordlys</b>	Bergen Diesel KRG-8	2	1994	1265 kw	750
<b>Nordkapp</b>	Bergen Diesel KRG-8	2	1996	1265 kw	750
<b>Nordnorge</b>	Bergen Diesel KRG-8	2	1997	1265 kw	750
<b>Polarlys</b>	Ulstein Bergen KGR-9	2	1996	1660 kw	750
<b>Finnmarken</b>	Wärtsilä W6L32	2	2003	2760 kw	720
<b>Trollfjord</b>	Caterpillar 3516 BDITA	2	2002	1901 kw	1800
<b>Midnatsol</b>	Caterpillar 3516 BDITA	2	2003	1901 kw	1800

**Tabell 7.6: Hjelpemotorer, Hurtigruten.**

Gjennomsnittlig NOx-utslippsfaktorer for flåten er satt opp i Tabell 7.7.

Årsmodell	Motor turtall, rpm	NOx-factor (kg Nox/tonn fuel)	Kommentarer
< 2000	500	76,78	
< 2000	750	50,63	NOx –reduksjon ombygging på et skip
>2000	750	53,68	NOx –reduksjon ombygging på et skip

**Tabell 7.7: Gjennomsnittlig NOx utslippsfaktorer for hovedmotorer på Hurtigrutas skip**

Årsmodell, motor	Motorturatall, rpm	NOx-factor (kg Nox/tonn fuel)
< 2000	750	54,7
>2000	720	51,9
>2000	1800	37,1

**Tabell 7.8: Gjennomsnittlig NOx utslippsfaktor, hjelpemotorer, Hurtigrutens skip**

Driftsprofil for hurtigruten er mottatt fra rederiet og er summet opp i Tabell 7.9.

Antall rundturer	Hovedmotor belastning, transit	Forbruk, transit		Hastighet, transit	Tid i sone 1,2,3,4	Forbruk, i havn		Tid i havn
	% av MCR	kg/rundtur	kg/h	kn	h	kg/h	kg/rundtur	h
97	50-85	4094	910	15	4,5	514	257	0,5

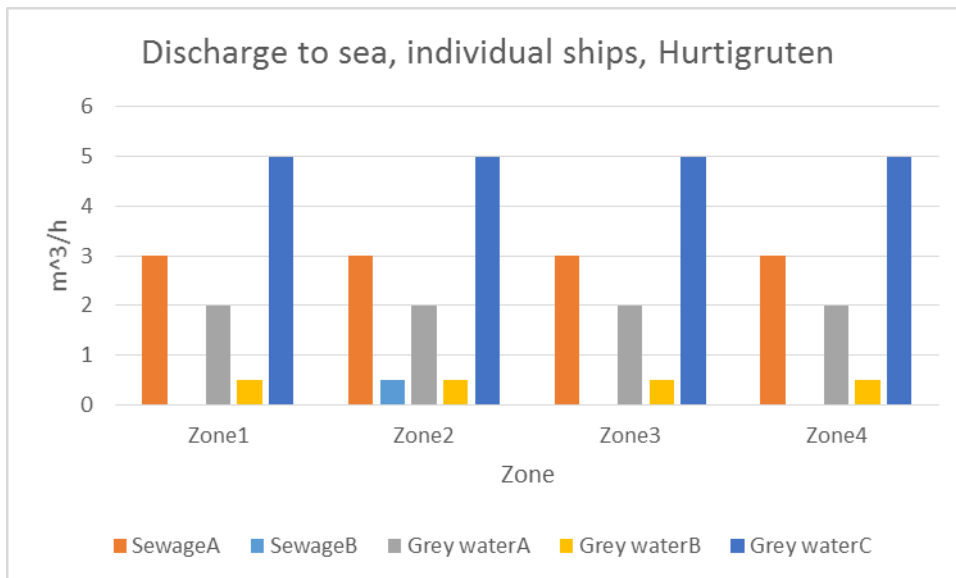
**Tabell 7.9: Driftsparametere, Hurtigruten, gjennomsnittsverdier, 11 skip**

## 7.2.5 Hurtigruten, utslipp til sjø

Relevante utslippsparametere til sjø fra Hurtigruten er, lensevann, kloakk og gråvann. Hurtigruten opererer på marin spesialdestilat, (MSD) med lavt svovelinnhold ( 0,04%). Ingen av hurtigruteskipene har derfor scrubbere om bord.

Når det gjelder utslipp til sjø er det litt ulik praksis med hensyn til kloakk og gråvann. Rederiet opplyser at det vurderes ny praksis for alle skip om at disse ikke skal slippe ut lensevann, svartvann eller gråvann i Hjørundfjorden, Storfjorden/Geirangerfjorden og Lyngenfjorden. Det er i dag ingen som slipper ut lensevann i nevnte fjorder.

Gjennomsnittlige utslippstall for enkeltskip er vist i Figur 7.2



**Figur 7.2: Utslipp til sjø fra enkeltskip, Hurtigruten**

Som fremgår skjer utslipp til sjø i alle soner. Skipene har ofte integrerte kloakk og lensevannssystem slik at fordelingen mellom disse er estimert for noen av skipene.

**7.2.6 Hurtigruten, utslipp til luft**

Som fremgår opererer alle hurtigruteskipene med tilnærmet samme fart inn Geirangerfjorden. Informasjon er mottatt for gjennomsnittlig drivstofforbruk for hver rundtur.

Transithastighet er ca. 15 knop for alle fartøyene og gjennomsnittlig drivstofforbruk per time er beregnet, se Tabell 7.9 Dette omfatter totalt forbruk om bord.

Tallene gitt ovenfor kan benyttes videre i spredningsanalysen.

**7.3 Lokal trafikk, Aurland og Nærøyfjorden**

Relevante skipsdata for lokal trafikk i Aurland/Nærøyfjorden er gitt i Tabell 7.1. Det opererer rutegående ferger mellom Flåm-Gudvangen og Kaupanger-Gudvangen. I tillegg opereres det passasjerbåter ifm med fjordcruise i området. Data er ikke mottatt fra disse skipene.

**7.3.1 Rute**

Rutetabell for Kaupangen-Gudvangen er vist i Tabell 7.3.

Departures from Kaupanger				* up to -40% discount
15. may - 31. may	09.00			
1. june - 30. june	09.00		15.00	
1. july - 20. aug	09.00	12.00	15.00	18.00*
21. aug - 31. aug	09.00		15.00	
1. sept - 14. sept	9.00			
Departures from Gudvangen				* up to -40% discount
15. may - 31. may		12.00		
1. june - 30. june		12.00		18.00*
1. july - 20. aug	09.00	12.00	15.00	18.00*
21. aug - 31. aug		12.00		18.00*
1. sept - 14. sept		12.00		

Figur 7.3: Rutetabell, Kaupanger-Gudvangen, 2016

Ferje mellom Flåm og Gudvangen betjenes med to ferjer som tilsammen opererer med fire rundturer per dag.

I tillegg opererer flere passasjerbåter ifm fjordcruise på fjordene. Det er ikke mottatt data for disse båtene.

### 7.3.2 Utslipp til sjø

Det er ikke utslipp av lensevann fra noen av skipene. To skip oppgir at det slippes ut ca. 6 m<sup>3</sup> kloakk og gråvann per dag i sone A1.

### 7.3.3 Utslipp til luft

Utslipp til luft beregnes ut fra dieselforbruk som er fremskaffet fra operatører og satt opp i tab xxx.

Skip	Gj.snitt forbruk per rundtur	Antall rundturer per dag	Ant rundturer totalt	Årsforbruk i hele ruta	Forbruk i utslippsoner	Gj.snitts forbruk per dag i soner	Årforbruk, soner	Sone
	kg/rundtur	tur/dag	Mai-sept	kg/år	kg/rundtur	kg/dag	kg/år	
Fanaraaken	600	2	300	180000	600	1200	180000	A2-A3-N1-N2-N3
Skagastøl	500	2	300	150000	500	1000	150000	A2-A3-N1-N2-N3
Hardingen Sr.	630	1,5	158	99225	341	512	53747	A1-N1-N2-N3
MF Skånevik	630	1,5	158	99225	341	512	53747	A1-N1-N2-N4

Tabell 7.10: Drivstofforbruk, ferger, Aurland og Nærøyfjorden.



## 8 Referanser

- /1/ Mikhail Shlopak, Svein Bråthen, Hilde Johanne Svendsen og Oddmund Oterhals, Møreforskning, RAPPORT NR. 1413 GRØNN FJORD, Bind II. Beregning av klimagassutslipp i Geiranger

## A Vedlegg A – Spørreskjema til cruiseskipene

The Norwegian Maritime Authority (NMA), working for the Ministry of Climate and Environment, is conducting a survey of emissions to air and water from ships sailing in the Geirangerfjord, Nærøyfjord and the Aurlandfjord. It includes the collection of data describing the technical aspects of the ships as well as their operational profile when they are visiting the fjords. The purpose of the project is to better our understanding of the environmental impact of the ships, in order to have a sustainable development of the sector with respect to environment, safety and the cruise industry.

This survey is conducted by MARINTEK on behalf of NMA and will identify the real emission from the cruise fleet visiting Geirangerfjorden in 2016. Results will be used as input to emission dispersion models for the fjords in concern.

For any questions to this survey please contact MARINTEK on e-mail: [dag.stenersen@marintek.sintef.no](mailto:dag.stenersen@marintek.sintef.no)

**1. Registration of ship data**

First question is to register general data about your vessel

**Vessel name**

---

---

---

---

**IMO number**

---

---

---

---

**Built year**

---

---

---

---

**Propulsion system**

- Direct mechanical drive
- Diesel electric drive

**Propulsion power installed, kW**

---

---

---

---

**Auxilliary power installed, kW**

---

---

---

---

**Comments, machinery plant arrangment and operation**

---

---

---

---

## 2. Questions about your voyage

Information about last voyage to Geirangerfjorden

### Planned number of visits to Geirangerfjorden in 2016

- 0 times
- 1-3 times
- 4-6 times
- 7 or more times

### Date endtering the fjord last time (if any)

---

---

---

---

### Characterise your visits to Geiranger in 2016

- All visits follows same schedule and operational profile
- About same speed on each visit
- About equal duration at anchore/in harbour for each visit
- Variation in vessel speed for each visit
- Variation in harbour stay for each visit

### Comment to your scheduled visits to Geiranger

---

---

---

---

## 3. Machinery data

### Number of main engines

- 1
- 2
- 3
- 4
- More than 4, (give number) \_\_\_\_\_

### Number of aux engines

- 1
- 2
- 3
- 4
- More than 4, (give number) \_\_\_\_\_

## 4. Main engine data

**Engine manufacturer**

- Caterpillar
- Cie de Constructions Mecaniques (CCM)
- Daihatsu Diesel
- Deutz AG
- Fincantieri - Cantieri Navali Italiani SpA
- GE Marine Engines
- Grandi Motori Trieste
- Hanshin Diesel Works
- Hitachi Zosen Corp
- Hyundai Heavy Industries
- Kawasaki Heavy Industries
- Kobe Hatsudoki
- MaK Maschinenbau
- Makita Corp - Japan
- MAN
- MAN B&W Diesel
- Mitsubishi Heavy Industries
- Mitsui Engineering & Shipbuilding
- MTU Friedrichshafen
- New Sulzer Diesel France
- Niigata Engineering
- Nippon Kokan KK (NKK Corp)
- Rolls-Royce
- Ruston Paxman Diesel
- SACM Diesel SA
- SEMT Pielstick SA
- Ssangyong Heavy Industries
- Stork-Wartsila Diesel
- STX Engine
- Sulzer
- Sumitomo Heavy Industries
- Wartsila
- Yanmar Diesel Engine
- Zaklady Przemyslu Metalowego
- Zavod
- Other

**Engine model**

---

---

---

---

---

**Built year**

---

---

---

---

---

**No of cylinders**

- 6
- 8
- 9
- 10
- 12
- 16
- Other \_\_\_\_\_

**Cylinder configuration**

- V
- L

**Nominal power, MW**

- 2-4
- 4-6
- 6-8
- 8-10
- 10-14
- 14-18
- Other \_\_\_\_\_

**Nominal engine speed, rpm**

- < 200
- 201-400
- 401-600
- 601-800
- 801-1000
- Other \_\_\_\_\_

**PTO/PTI**

- Yes
- No

**If yes, Installed power on PTO/PTI (kW)**

---

---

---

---

**5. Aux engine data**

Information/specification of aux engines

**Engine Manufacturer**

- Caterpillar
- Cie de Constructions Mecaniques (CCM)
- Daihatsu Diesel
- Deutz AG
- Fincantieri - Cantieri Navali Italiani SpA
- GE Marine Engines
- Grandi Motori Trieste
- Hanshin Diesel Works
- Hitachi Zosen Corp
- Hyundai Heavy Industries
- Kawasaki Heavy Industries
- Kobe Hatsudoki
- MaK Maschinenbau
- Makita Corp - Japan
- MAN
- MAN B&W Diesel
- Mitsubishi Heavy Industries
- Mitsui Engineering & Shipbuilding
- MTU Friedrichshafen
- New Sulzer Diesel France
- Niigata Engineering
- Nippon Kokan KK (NKK Corp)
- Rolls-Royce
- Ruston Paxman Diesel
- SACM Diesel SA
- SEMT Pielstick SA
- Ssangyong Heavy Industries
- Stork-Wartsila Diesel
- STX Engine
- Sulzer
- Sumitomo Heavy Industries
- Wartsila
- Yanmar Diesel Engine
- Zaklady Przemyslu Metalowego
- Zavod
- Other

**If other, give manufacturer**

---

---

---

---

---

**Engine model**

---

---

---

---

---

**Built year**

---

---

---

---

---



**No. of cylinders**

- 6
- 8
- 9
- 10
- 12
- 14
- 16
- Other \_\_\_\_\_

**Cylinder configuration, L or V**

- L
- V

**Nominal power, MW**

- 1-2
- 2-4
- 4-6
- 6-8
- 8-10
- >10

**Engine speed, rpm**

- 400-600
- 601-800
- 801-1000
- 1001-1500
- Other \_\_\_\_\_

**Comments on aux eng, configuration, exact rating, MW**

---

---

---

---

**6. Fuel specification**

Fuel used for main and aux engine during visit to Geiranger

**Fuel used for main and aux engine**

	Destillate	Residual	Other
Main engine	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Aux engine	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**If other, please specify**

---

---

---

---

**Fuel viscosity, main engine, (cSt):**

---

---

---

---

**Fuel sulphur content, main engine, (%)**

---

---

---

---

**Fuel viscosity, aux engine, (cSt)**

---

---

---

---

**Fuel sulphur content, aux engine, (%)**

---

---

---

---

**Comments on fuel used on main and aux engines**

---

---

---

---

**7. Emission reduction technology on board**

NOx and SOx reduction technology

**NOx certificate, IMO limits**

- Tier 1
- Tier 2
- Tier 3
- Not applicable

**NOx reduction technology**

	SCR system	EGR system	Other system
Main engines	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Aux engines	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**If other system, please describe**

---



---



---



---

**SOx reduction technology**

	Scrubber	None	Not applicable
Main engines	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Aux engines	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**SOX and particle reduction from scrubber**

	>90%	80-90%	70-80%	60-70%	50-60%	40-50%	< 40 %
SOx Reduction, %	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
PM reduction, %	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**Comments on scrubber/SOX reduction technology, SOx reduction, PM reduction**

---



---



---



---

**8. Emission to sea and air**

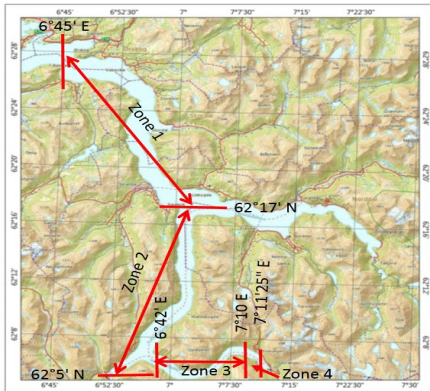
Emission zone definitions

**Zone 1: East of 6°45' E, North of 62°17' N**

**Zone 2: South of 62°17' N, North of 62°5' N**

**Zone 3: East of 6°42' E, West of 7°10' E**

**Zone 4: East of 7°10', West of 7°11'25" E**



**9. Emission to sea**

Emission to sea: Zone, 1,2,3,4 and harbour operation

**Discharge of bilge water**

- Zone 1
- Zone 2
- Zone 3
- Zone 4
- No discharge in any zones

**Quantity of discharged bilge water in zone 1,2,3,4, (m3)**

---

---

---

---

**Concentration of oil/chemicals in discharged bilge water, (Zone 1,2,3,4) (ppm)**

---

---

---

---

**Discharge of treated sewage**

- Zone 1
- Zone 2
- Zone 3
- Zone 4
- No discharge in any zones

**Quantity of discharged treated sewage in zone 1,2,3,4, (m3). Sewage treatment comments.**

---

---

---

---

**Sewage treatment plant IMO approval reference**

- MEPC.2(VI),
- MEPC.159(55)
- MEPC.200(62)
- MEPC.227(64)
- Other \_\_\_\_\_

**Discharge of gray water**

- Zone 1
- Zone 2
- Zone 3
- Zone 4
- Harbour
- No discharge in any zones

**Quantity of discharged grey water in zone 1,2,3,4, and harbour(m3)**

---

---

---

---

**Gray water treatment system**

- Yes
- No

**Gray water treatment - comments**

---

---

---

---

**Discharge to sea from scrubber**

- Zone 1
- Zone 2
- Zone 3
- Zone 4
- Harbour
- No discharge in any zones
- Not applicable, no scrubber on board

**Quantity of discharge from scrubbers, (m3)**

---

---

---

---

**10. Operational data, Geiranger Fjord, Zone 3**

Transit mode: East of longitude: 6°42' E

**Ship speed, kn**

---

---

---

---

**Propulsion power, kW**

---

---

---

---

**Number of main engines in operation**

- 1
- 2
- 3
- 4
- Other \_\_\_\_\_

**Main engine load, %**

- 10-25
- 26-40
- 41-60
- 60-80
- >80
- Other, exact load \_\_\_\_\_

**Exhaust temperatures**

	< 250	250-269	270-299	300-330	> 330	Not applicable
Main engine exhaust temperature after turbocharger, (C)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
SCR catalyst cut off temperature, (C)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**Aux engine power, kW**

---

---

---

---

**Number of aux engines in operation**

- 1
- 2
- 3
- 4
- Other \_\_\_\_\_

**Aux engine load, %**

- 10-25
- 26-40
- 41-60
- 60-80
- >80
- Other, exact load \_\_\_\_\_

**Exhaust temperatures, aux engine, (C)**

	< 250	250-269	270-299	300-330	> 330	Not applicable
Aux engine exhaust temperature after turbocharger, (C)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
SCR catalyst cut off temperature, (C)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**11. Operational data, Geiranger Fjord, Zone 4**

Transit mode: East of longitude: 7°10' E

**Ship speed, kn**

---

---

---

---

**Propulsion power, kW**

---

---

---

---



**12. Operation data - Geiranger harbour**

Data when moored in Gerianger harbour

**Time in harbour, (h)**

- 2-4
- 4-6
- 6-8
- 8-10
- Other \_\_\_\_\_

**Aux. engine power, kW**

---

---

---

---

---

**Number of engines in operation**

- 1
- 2
- 3
- 4
- Other \_\_\_\_\_

**NOx abatement system in operation**

- Yes
- No
- Not applicable

**Scrubber system in operation**

- Yes
- No
- Not applicable



Thank you very much for your contribution to this survey.