

Dieleksoseksponering i petroleumsnæringen

– En kunnskapsoppsummering

Forfattere: Vincent Simensen*, Nils Petter Skaugset*, Hilde Nilsen**, Morten Lunde**,
Sølvi Sveen** og Stine Eriksen Hammer*

Prosjektleder: Stine Eriksen Hammer

*Statens arbeidsmiljøinstitutt (STAMI)

**Petroleumstilsynet (Ptil)



PETROLEUMSTILSYNET

Innhold

Forkortelser	3
Sammendrag	4
1 Mål	6
2 Bakgrunn	6
2.1 Avgrensinger	6
2.2 Diesel og dieseleksos	6
2.3 Helserisiko og grenseverdier	8
2.4 Eksponering og kartlegging av dieseleksos	9
3 Dagens utfordringer med eksponering for dieseleksos i petroleumsnæringen	10
3.1 Etablering av risikobilde	10
3.2 Dagens omfang	10
3.3 Styring av eksponeringsrisiko knyttet til dieseleksos	11
3.4 Utstyr og arbeidsbetingelser som medfører risiko for dieseleksoseksponering	11
3.5 Risikoutsatte personellgrupper	13
3.6 Dagens praksis for eksponeringsvurderinger og målinger i næringen	14
3.7 Forberedelser til ny grenseverdi	15
3.8 Usikkerhet og mangler i datagrunnlaget	16
4 Kunnskapsgjennomgang	17
4.1 Vitenskapelig publisert litteratur	17
4.1.1 STAMI rapporten: «Dagens eksponeringsbilde»	21
4.1.2 Dieseleksoseksponering på fregatt	22
4.1.3 EXPO målinger	22
5 Tilgjengelige målemetoder	26
6 Konklusjon	28
7 Anbefalinger	29
Etterord	30
Referanser	31

Forkortelser

BC	Black carbon
CO	Karbonmonoksid
CO ₂	Karbondioksid
DPM	Partikulært dieselmateriale (Diesel particulate matter)
EC	Elementært karbon
FTIR	Fouriertransformert infrarød spektroskopi (Fourier transformed infrared spectroscopy)
HFO	Tung brenselolje (Heavy fuel oil)
IARC	International Agency of Research on Cancer
LOD	Bestemmelsesgrense (Limit of detection)
LOQ	Kvantifiseringsgrense (Limit of quantification)
MDO	Marin dieselolje
MGO	Marin gassolje
NDIR	Ikke-spredd infrarød spektroskopi (Non-dispersive infrared spectroscopy)
NIOSH	National Institute for Occupational Safety and Health
NO	Nitrogenmonoksid
NO _x	Nitrogenoksider
NO ₂	Nitrogendioksid
OC	Organisk karbon
PAH	Polysykliske aromatiske hydrokarboner
Ptil	Petroleumstilsynet
STAMI	Statens Arbeidsmiljøinstitutt
TC	Totalt karbon
VOC	Flyktige organiske forbindelser (Volatile organic compounds)

Sammendrag

Det har blitt gjennomført en kunnskapsinnhenting om eksponering for dieseleksos på arbeidsplasser i norsk petroleumsnæring. Dette på bakgrunn av at det fra 21.02.2023 innføres en ny grenseverdi for dieseleksoseksponering. For dieseleksos er det fastsatt en grenseverdi på $0,05 \text{ mg/m}^3$, målt som elementært karbon (EC). For et arbeidsskift på 12 timer vil dette tilsvare en grenseverdi på $0,03 \text{ mg/m}^3$, jf. Aktivitetsforskriften § 36. Erfaringer fra Petroleumstilsynet (Ptil) gjennom tilsyn har vist at eksponering for dieseleksos er en utfordring i petroleumsnæringen. Et forbedret risikobilde er nødvendig for både å kunne forstå omfanget av utfordringene bedre, og for å gi næringen et bredere kunnskapsgrunnlag for effektiv styring av risiko og gjennomføring av eksponeringsreducerende tiltak. Det ble gjennomført en spørreundersøkelse av Ptil der selskapene i petroleumsnæringen ble bedt om å redegjøre for omfanget av dieseleksos som en arbeidsmiljøutfordring, i tillegg til hvilke arbeidsbetingelser som etter deres vurdering kunne medføre risiko for dieseleksoseksponering. 79 % av selskapene oppga at eksponering for dieseleksos var en utfordring og identifisert som en kjent eksponeringsrisiko. 92 % av disse oppgir videre at utfordringene med dieseleksos er størst ved bestemte vær og vindforhold.

To vitenskapelige publikasjoner fra STAMI ble gjennomgått for å belyse eksponeringsbildet knyttet til dieseleksos i norsk petroleumsnæring. I publikasjonene ble det rapportert varierende nivå av målt EC på arbeidsmiljø i petroleumsnæringen, og at bidrag av EC fra hver kilde av dieseleksos varierte. Et systematisk litteratursøk ble gjennomført for å finne relevant internasjonal litteratur knyttet til eksponering for dieseleksos i petroleumsnæring. I litteratursøket ble det funnet eksponeringsstudier som har vært utført på båter, men ikke på innretninger offshore eller på landanlegg. Målinger av EC fra petroleumsnæringen som er lagret i EXPO, den nasjonale databasen for kjemisk arbeidsmiljøeksponering, ble gjennomgått. I EXPO var det kun lagret 140 resultater av EC fra petroleumsnæringen, hvorav ingen var personbårne målinger. Gjennomgangen av tilgjengelig internasjonal litteratur og data fra EXPO viste at kunnskapen om eksponering for dieseleksos er mangelfull i petroleumsnæringen.

En gjennomgang av ulike typer målemetoder med mulighet for å bestemme EC, til bruk i petroleumsnæringen, ble vurdert. Dagens målemetode for bestemmelse av EC som markør for dieseleksos er oppsamling på filter etterfulgt av en laboratorieanalyse. Det ble ikke funnet direktevisende, personbårne instrumentering som tilstrekkelige erstatninger for dagens målemetode.

Det er videre et behov for mer forskning og økt måleaktivitet, spesielt personbårne målinger, for å øke kunnskapen rundt omfang og nivå av dieseleksoseksponering i petroleumsnæringen. Videre er effekten av eksponeringsreducerende tiltak mangelfullt rapportert. Utvikling av en direktevisende, personbåren sensor for EC tilpasset petroleumsnæringen anbefales og vil kunne være et godt verktøy for risikostyring av eksponering for dieseleksos.

1 Mål

Hensikten med denne rapporten er å gi en oversikt over tilgjengelig kunnskap om eksponering for dieseleksos på arbeidsplasser i petroleumsnæringen. Informasjon skal samles inn fra næringen for å kunne danne et bedre bilde av dieseleksos som en arbeidsmiljøutfordring, samt belyse hvilke prosesser som medfører risiko for eksponering for dieseleksos. Tilgjengelig målemetoder for bestemmelse av elementært karbon (EC) i arbeidsmiljøet skal gjennomgås. Rapporten skal være et bidrag til å øke forståelsen og kunnskapen knyttet til dieseleksos som eksponeringsfaktor i petroleumsnæringen.

2 Bakgrunn

2.1 Avgrensinger

Daglig benyttes ulike typer forbrenningsmotorer i petroleumsnæringen. Generatorer, kompressorer, aggregater, turbiner og motorer som tar hånd om fremdrift og drift av ulike typer utstyr, innretninger, båter og helikoptre er eksempler på dette. Det anvendes ulike typer drivstoff til de ulike typene forbrenningsmotorer. I denne rapporten er det valgt å avgrense omfang og innhold til å omhandle eksos fra utsyr og motorer som benytter diesel som drivstoff, heretter kalt dieseleksos.

2.2 Diesel og dieseleksos

Dieselolje, også bare kalt diesel, fremstilles av petrokjemiske stoffer, eller biomasser, ofte til bruk som brensel i fossile forbrenningsmotorer. I Norge og EU er det satt krav til dieselkvalitet for marint bruk, definert i ISO standard 8217, hvor det defineres forskjellen mellom dieselprodukter hovedsakelig basert på svovelinhold og en rekke fysiokjemiske egenskaper som blant annet tetthet og viskositet (ISO, 2017).

Dieselprodukter defineres som destillater og residualer, hvor destillater er lettere dieselprodukter og residualene er tyngre dieselprodukter. Dieselprodukter av typen DMX og DMA, som er de letteste destillatene, omfatter typisk marine gassoljer (MGO). Det som kalles marin dieselolje (MDO) faller typisk under typen DMB, DMZ, eller til og med DMC, avhengig

av egenskapene til produktet. I residualene vil man finne tyngre oljer som tung brenselolje (HFO), og er vanligere i bruk for de største båtklassene.

Ved forbrenning av diesel frigis den lagrede kjemiske energien i brenselet og det dannes nye kjemiske forbindelser i reaksjonen. Samlebetegnelsen på forbindelsene som er et resultat av forbrenningsreaksjonen kalles dieseleksos. Dieseleksos består av aerosoler (faste partikler og kondensert væske) og gasser.

Dieseleksos består av **partikler** og **gass**, men forholdet mellom de ulike komponentene er avhengig av flere faktorer som motortype, temperatur under forbrenning og dieseltype.

Sammensetningen i de ulike fasene i dieseleksosen er avhengig av flere faktorer, som blant annet type forbrenningsmotor, forbrenningstemperatur og type diesel. Faste partikler som dannes ved forbrenning av diesel er hovedsakelig sotpartikler. Sotpartikler i arbeidsmiljøssammenheng måles som elementært karbon (EC), og brukes som en markør for eksponering for dieseleksos (Birch, 2002; European et al., 2017). Gassene som dannes ved forbrenning av diesel består hovedsakelig av karbondioksid (CO_2) og oksygen, i tillegg til karbonmonoksid (CO), svoveldioksid (SO_2) og nitrogenoksider (NO_x) (Moldanová, 2009).

Ifølge forurensningsforskriften er flere komponenter i dieseleksos klassifisert som luftforurensende (Forurensningsforskriften, 2004), noe som betyr at man typisk vil forsøke å redusere utslipp for å unngå og overskride utslippskrav satt av myndigheter. I bilindustrien brukes ofte urea oppløst i vann, også kjent som Adblue, som et additiv til dieseldrevne kjøretøy sammen med en katalysator i utløpet fra motoren for å redusere utslipp av NO_x -gasser. Det blir også tatt i bruk partikkelfilter for å redusere mengden sotpartikler som en del av utslippene. Bruken av Adblue gjør at det oppstår isocyanasyre og ammoniakk som kan brukes til å videre redusere NO_x -gasser. Det har blitt konkludert i tidligere forskning at en liten andel av isocyanasyre og ammoniakk vil være en del av eksosen selv etter å ha passert katalysatoren for reduksjon av NO_x -gasser (Suarez-Bertoa & Astorga, 2016; Wentzell et al., 2013). I marine miljø har det blitt brukt etterbehandlingssystemer som blander væsker med dieseleksos, også kalt scrubbere, for å minske utslipp til luft (Lehtoranta et al., 2019).

2.3 Helserisiko og grenseverdier

I 2012 ble dieseleksos klassifisert som kreftfremkallende (gruppe 1) av IARC (International Agency for Research on Cancer) på bakgrunn av at det er påvist en økt risiko for lungekreft i forbindelse med eksponering for dieseleksos. Andre negative helseeffekter som irritasjon av øyne og øvre luftveier, hoste, lungebetennelse og hjerte- og karsykdommer er også rapportert etter eksponering for dieseleksos (Ris, 2007).

Det totale innholdet av dieseleksos er en kompleks blanding av kjemiske stoffer, men mange av de stoffene finnes bare i spormengder. Dieseleksos inneholder blant annet en blanding av organiske gasser, eksempelvis metanol, etylen, formaldehyd, akrolein, benzen, naftalen, pyren, antracen og andre aromatiske forbindelser som har kjente toksiske

Dieleksos er klassifisert som kreftfremkallende. Det innføres derfor en **ny grenseverdi for dieseleksos som trer i kraft **21. februar 2023**.**

effekter (Henning et al., 2017; Perrone, 2014; Steiner, 2016). Det er kjent at dieseleksos inneholder luktende og irriterende stoffer som nitrogendioksid, svoveldioksid, formaldehyd, akrolein og fenol (Cernansky, 1983).

Sotpartikler er lite løselige i lungevæske og utgjør ikke en betydelig helserisiko alene, men det er også andre komponenter som binder seg til det elementære karbonet i sotet og har kjente toksiske effekter. Dette er komponenter som blant annet ulike flyktige organiske forbindelser (VOC), polyaromatiske hydrokarboner (PAH), metaller og metalloksider, men som kun eksisterer i små spormengder i dieseleksos (Steiner, 2016).

Elementært karbon (EC) er blitt bestemt som en markør for dieseleksos, og representerer den partikulære fraksjonen (Arbeidstilsynet, 2021; European et al., 2017). Nitrogendioksid (NO₂) er tidligere brukt som en markør for gassfasen i dieseleksos (Hedmer et al., 2017). NO₂ har i dag en grenseverdi som er 0,96 mg/m³ (0,5 ppm) for et 8-timers arbeidsskift, i tillegg til en 15-minutters korttidsverdi på 1,91 mg/m³ (1 ppm), og disse grenseverdiene har tidligere blitt brukt for å styre risiko knyttet til eksponering for dieseleksos. Ved innføring av ny 8-timers grenseverdi for EC på 0,050 mg/m³ (50 µg/m³) som markør for dieseleksos, vil denne også gjelde for petroleumsnæringen når den innføres 21. februar 2023 (Arbeidstilsynet, 2021). Ettersom EC ikke vil få en eksplisitt korttidsverdi eller takverdi, så kan man benytte arbeidstilsynets tommelfingerregel ved kortvarige overskridelser (Arbeidstilsynet).

Grenseverdien for EC vil tilsvare $0,030 \text{ mg/m}^3$, og for NO_2 tilsvare $0,58 \text{ mg/m}^3$ for et 12-timers arbeidsskift basert på Aktivitetsforskriften fastsatt av Ptil, under § 36 Kjemisk helsefare (Aktivitetsforskriften, 2010). Fremtidig risikostyring må derfor ta hensyn til grenseverdier for både EC og NO_2 .

2.4 Eksponering og kartlegging av dieseleksos

Fra tidligere forskningsstudier er en betydelig del av dieseleksoskarakterisering utført med spesielt fokus på utslipp til ytre miljø. Dette har resultert blant annet i at bilindustrien har blitt pålagt utslippskrav for fossile forbrenningsmotorer av reguleringsmyndigheter (Ayodhya & Narayanappa, 2018; Jeya Jeevahan et al., 2017). I marint miljø har fokuset til tidligere forskning vært på utslipp fra

Det er **få studier** knyttet til **eksponering** for dieseleksos i petroleumsnæringen. Hovedparten av studiene går på klimaforskning og lokale utslipp f.eks. til havner og store byer.

båttrafikk og hvordan dette påvirker luftkvaliteten i nærliggende områder og klima (Aliabadi, 2016; Tolis et al., 2015). Antall eksponeringsstudier i arbeidsmiljø utendørs er derimot få. En mulig grunn til dette kan være at det er utfordrende å få tatt representative målinger på arbeidsplasser hvor eksponeringsnivå påvirkes i stor grad av ytre forhold. Varierende vær og vindforhold påvirker resultatene, noe som også vil ha innvirkning på reproduserbarheten til de ulike studiene. Dette er spesielt relevant på arbeidsplasser offshore, hvor en stor del av arbeidet foregår utendørs på åpne dekk.

Prøvetaking med filter er dagens metode for å bestemme konsentrasjon av EC i luft og brukes til å kunne si noe om eksponeringen for dieseleksos i arbeidsmiljø. Dette innebærer at filterprøver sendes til arbeidsplasser, hvor de eksponeres i relevante arbeidsmiljø og deretter returneres til analyselaboratoriet. Ved prøvetaking offshore medfører dette utfordringer knyttet til tidsbruk og transport. Tiden det tar fra prøvene er tatt til resultatene foreligger, kan medføre en forsinkelse for å raskt kunne gjennomføre eksponeringsreducerende tiltak. Direktevisende sensorer for NO_2 har frem til i dag blitt benyttet i utstrakt grad for å overvåke eksponering for dieseleksos offshore og risikostyrende verktøy (Eriksen Hammer et al., 2023; Hedmer et al., 2017). Måling av NO_2 vil representere kun gassfasen av dieseleksos. Dersom liknende direktevisende utstyr hadde vært tilgjengelig for bestemmelse av EC, ville det vært fordelaktig

for bruk på arbeidsplasser hvor det er mistanke om eller kjennskap til varierende eksponering for dieseleksos (SfS, 2022).

3 Dagens utfordringer med eksponering for dieseleksos i petroleumsnæringen

3.1 Etablering av risikobilde

Petroleumstilsynet (Ptil) har over tid hatt stor oppmerksomhet rettet mot dieseleksos som arbeidsmiljøfaktor. Dette på bakgrunn av erfaringer fra tilsyn og bekymringsmeldinger, som har vist at eksponering for dieseleksos kan være en utfordring både på faste og flyttbare innretninger offshore, samt på landanlegg. Samtidig har selskapene hatt ulik praksis for styring av risiko knyttet til dieseleksoseksponering.

I 2022 gjennomførte Ptil en spørreundersøkelse i næringen der det ble innhentet informasjon om utfordringer knyttet til dieseleksoseksponering og selskapenes praksis for styring av risiko. 24 selskap besvarte undersøkelsen, henholdsvis ni operatørselskap og 15 riggselskap. Data fra undersøkelsen er benyttet som grunnlag for å etablere et risikobilde knyttet til eksponering for dieseleksos i næringen.

Undersøkelsen er besvart på selskapsnivå, noe som innebærer et begrenset detaljeringsnivå på innsamlet data.

3.2 Dagens omfang

Totalt har 79 % av selskapene som har besvart undersøkelsen oppgitt at dieseleksos er en arbeidsmiljøutfordring på deres innretninger og landanlegg. Besvarelsene fordeler seg relativt likt mellom operatørselskap og redere, hvorav 78 % av operatørselskapene og 80 % av rederne oppgir dieseleksos som en utfordring.

Undersøkelsen er besvart på selskapsnivå, og det er derfor vanskelig å anslå omfanget av innretninger som er berørt, eller på hvilke typer innretninger utfordringen er størst.

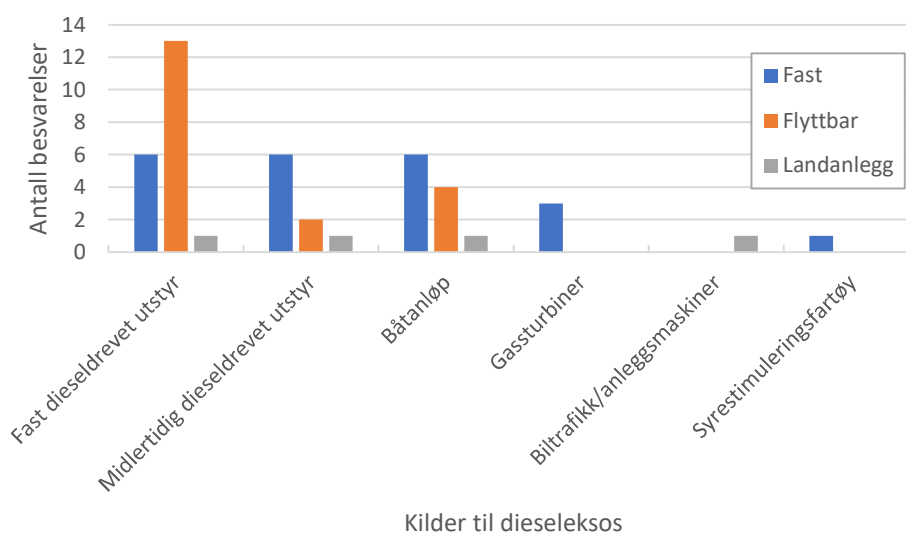
3.3 Styring av eksponeringsrisiko knyttet til dieseleksos

De deltakende selskapene rapporterte at de har iverksatt ulike systemer og styringsverktøy for å håndtere eksponeringsrisiko for dieseleksos. Det er imidlertid stor variasjon mellom selskapene med hensyn på hvordan risiko styres og hvilke krav som stilles.

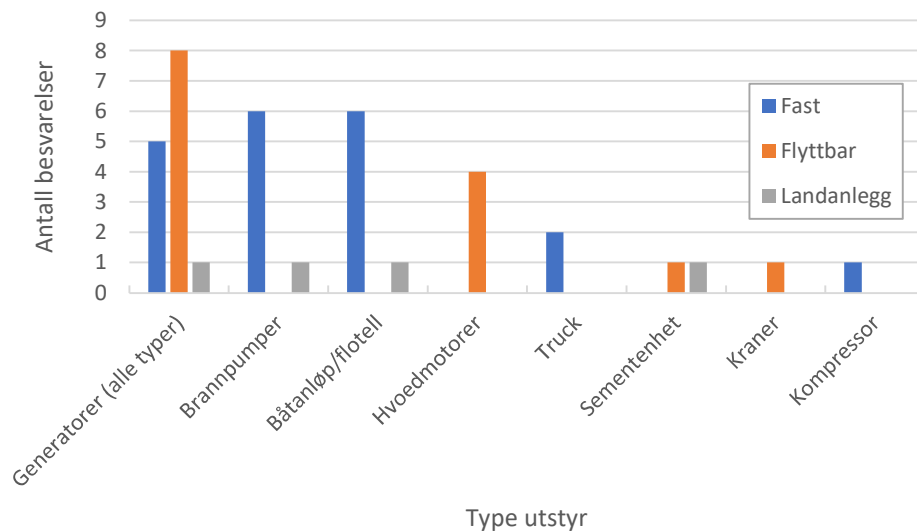
Rundt halvparten av både redere og operatører opplyste at de har etablert formaliserte opplæringsprogrammer knyttet til dieseleksoseksponering. I overkant av tre-fjerdedeler oppgir at det er etablert skriftlige instruksjoner knyttet til håndtering av eksponeringsrisiko. Det kan se ut til at disse instruksene i varierende grad beskriver praksis/krav knyttet til bruk av både direktevisende utstyr og gjennomføring av eksponeringskartlegging. Undersøkelsen gir i begrenset grad svar på om instruksene det refereres til dekker alle deler av virksomheten og i hvilken grad de er forankret i formaliserte krav i det enkelte selskap.

3.4 Utstyr og arbeidsbetingelser som medfører risiko for dieseleksoseksponering

Figur 1 viser at fast dieseldrevet utstyr rapporteres som den mest sentrale kilden til dieseleksos, men også midlertidig dieseldrevet utstyr og båtanløp er angitt som viktige kilder. Fordelingen av kilder som bidrar til eksponeringsrisiko er ulik for flyttbare og faste innretninger. For flyttbare innretninger blir fast dieseldrevet utstyr hyppigst rapportert som kilde til eksponering (13), mens utfordringer knyttet til midlertidig utstyr blir rapportert langt sjeldnere (2). For faste innretninger viser tilbakemeldingene en jevn fordeling mellom midlertidig og fast utstyr (6 på hver).

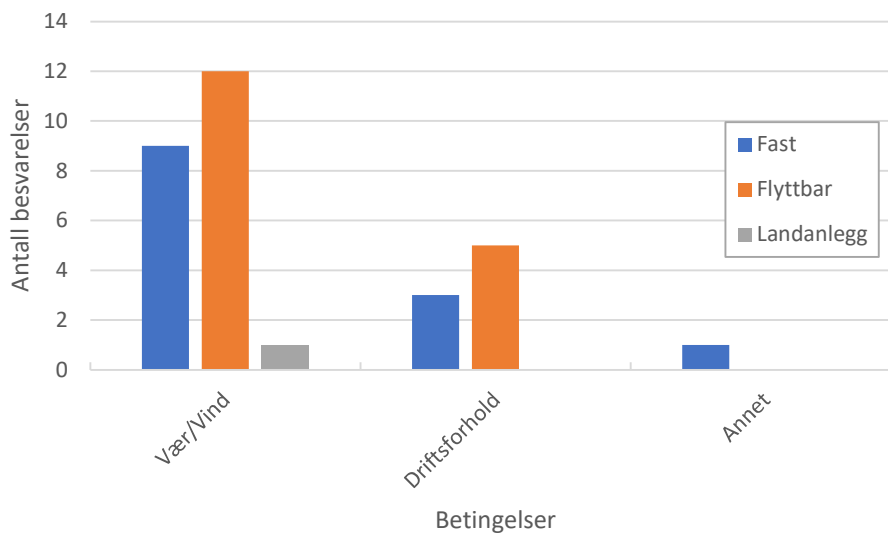


Figur 1. Kilder til dieseleksos fordelt på faste innretninger, flyttbare innretninger og landanlegg.



Figur 2. Utstyr som rapporteres til å være de mest relevante kildene til dieseleksos fordelt på faste innretninger, flyttbare innretninger og landanlegg.

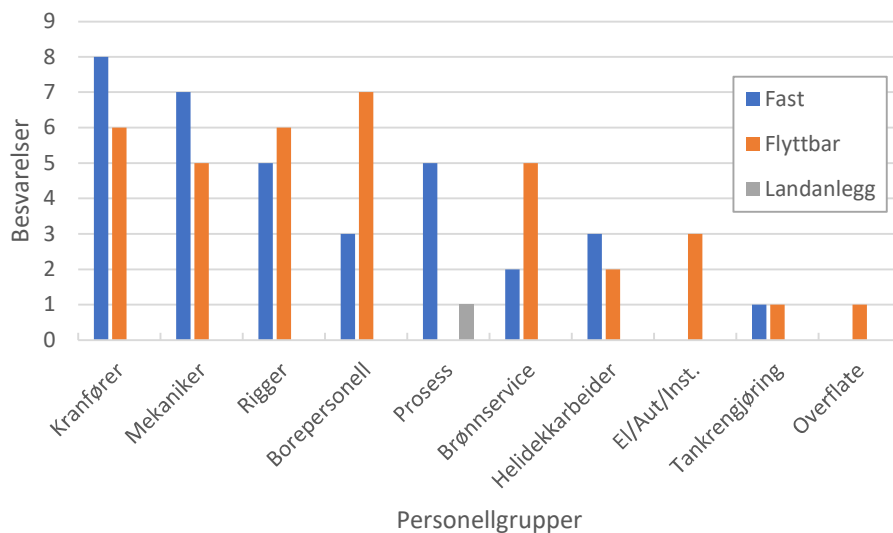
Figur 2 viser at utstyr som rapporteres til å bidra mest til dieseleksos er generatorer, brannpumper og båtanløp/floteller. Her er generatorer rangert som den mest sentrale kilden for flyttbare innretninger, og nest mest for faste innretninger. 92 % av de selskapene som oppga at eksponering for dieseleksos var en utfordring og en identifisert eksponeringsrisiko, rapporterte videre at utfordringene med dieseleksos er størst ved bestemte vær og vindforhold (se fig. 3). I tillegg oppgir om lag en tredjedel av selskapene at også bestemte driftsforhold kan påvirke eksponeringsomfanget. Dette er spesielt knyttet til antall dieseldrevne maskiner i drift.



Figur 3. Betingelser som utgjør de største utfordringene med dieseleksos fordelt på faste innretninger, flyttbare innretninger og landanlegg.

3.5 Risikoutsatte personellgrupper

Selskapene ble bedt om å oppgi de personellgruppene som er blitt identifisert som mest risikoutsatt med tanke på dieseleksoseksponering. Resultatene fra spørreundersøkelsen avdekker at de aller fleste personellgruppene, i varierende grad, er utsatt for eksponeringsrisiko. Personellgruppene kranfører (14), mekaniker (12), rigger (11), borepersonell (10), brønnservice (7) og prosessoperatør (7) rapporteres til å være mest risikoutsatt. For gruppene kranfører, mekaniker og rigger rapporteres utfordringene til å være relativt lik på flyttbare og faste innretninger. Borepersonell oppgis å være mer risikoutsatt på flyttbare enn på faste innretninger. Dette har sannsynligvis sammenheng med at borepersonell ikke alltid er til stede på faste innretninger. Prosessoperatører rapporteres å være mer risikoutsatt på faste enn på flyttbare innretninger. Prosessoperatører er imidlertid en stillingskategori som i liten grad er representert på flyttbare innretninger. Figur 4. under viser de 11 personellgruppene som ble hyppigst tilbakemeldt som identifiserte risikoutsatte grupper.



Figur 4. Identifiserte risikoutsatte personellgrupper fordelt på faste innretninger, flyttbare innretninger og landanlegg.

3.6 Dagens praksis for eksponeringsvurderinger og målinger i næringen

Totalt 20 av 24 selskap oppgir at de har gjennomført faglige vurderinger av dieseleksoseksponering, hvorav syv av disse angir dette som eneste gjennomførte vurdering/kartlegging.

En liten andel av de resterende selskapene har ikke gjennomført verken eksponeringsvurderinger eller -målinger, men anser heller ikke dieseleksos som en arbeidsmiljøutfordring på sine innretninger.

15 selskap har gjennomført målinger av komponenter i dieseleksos, hvorav 10 av disse rapporterer om målinger av både NO₂ og EC. Det rapporteres at det i stor grad utføres stasjonære målinger. Syv selskap har imidlertid også gjennomført personbårne målinger, hvorav fire av disse har målt på både NO₂ og EC.

Enkelte selskap oppgir i tillegg at de har gjennomført andre vurderinger knyttet til eksponering for dieseleksos, deriblant studier av eksosspredning og kvalitative undersøkelser blant personell som kan bli eksponert for dieseleksos. Typer bedriftsspesifikke studier inkluderer videre; gassmåling for logging og overvåking, fagvurdering, direktevisende målinger, og intervjubaserte kvalitative undersøkelser.

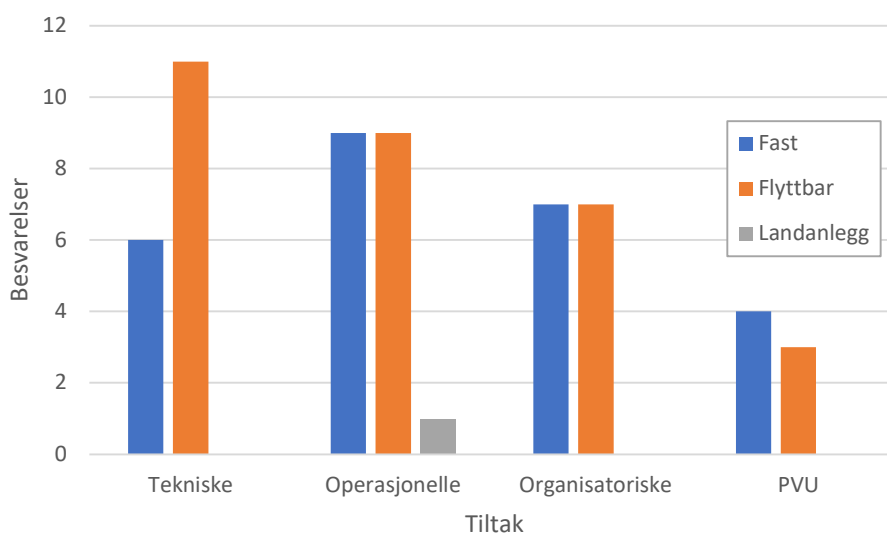
Besvarelsene antyder at næringen har igangsatt et arbeid med kvantitative kartlegginger av dieseleksoseksponering. Omfanget av gjennomførte kartlegginger, og hvilke eksponeringsnivåer som forekommer framkommer imidlertid ikke av undersøkelsen.

3.7 Forberedelser til ny grenseverdi

Undersøkelsen viser at 23 av 24 selskap har gjennomført tiltak for å redusere/eliminere eksponeringsrisiko de siste fem årene. 22 av 24 selskap oppgir at de har gjennomført eller er i gang med ulike typer aktiviteter for å tilpasse seg ny grenseverdi for dieseleksos. Av gjennomførte tiltak de fem siste år er fordelingen relativt lik i næringen.

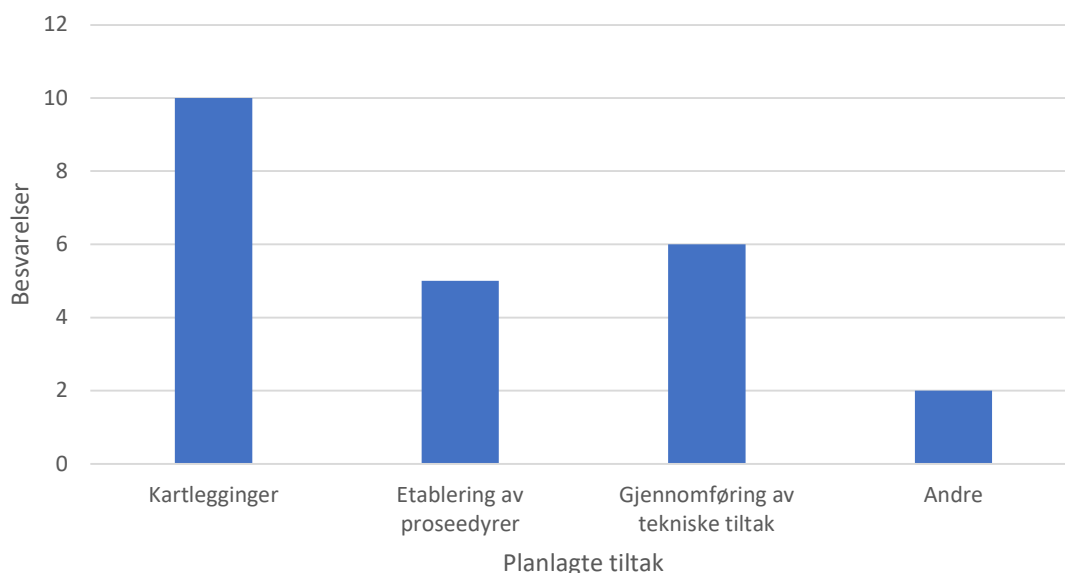
Hovedvekten av tiltak er på operasjonelt og organisatorisk nivå. Det blir i tillegg oppgitt at flere tekniske tiltak er gjennomført både på faste og flyttbare innretninger og at bruk av personlig verneutstyr ser ut til å benyttes i begrenset grad. Blant de oppgitte tiltakene som er gjennomført ser det ut til at tekniske tiltak for å flytte avkastet til dieseleksos, modifisering av utstyr for å redusere dieseleksosproduksjon, samt overgang til elektrisk drift eller elektrisk utstyr oftest blir nevnt. Blant operasjonelle og organisatoriske tiltak som nevnes er bevissthet rundt værforhold og kilder til eksponering, stans av arbeid og økt bevissthet rundt planlegging av jobber der bruk av dieseldrevet utstyr kan forurense arbeidsområdet.

Basert på de rapporterte opplysningene er det ikke mulig å gi et anslag på hvilken risikoreduksjon som er oppnådd ved implementering av disse tiltakene.



Figur 5. Risikoreduserende tiltak iverksatt de siste fem årene fordelt på faste innretninger, flyttbare innretninger og landanlegg.

22 av 24 selskap har oppgitt at de har gjennomført eller planlegger å gjennomføre tiltak for å imøtekomme ny grenseverdi for dieseleksos. Fordeling av tiltak er vist i figur 6. De fleste tiltakene ser ut å dreie seg om å formalisere styring gjennom prosedyrer og krav, samt økt kartleggingsaktivitet. Det vises også til enkelte tekniske tiltak som er gjennomført eller planlagt gjennomført for å redusere eksponeringsrisiko.



Figur 6. Tiltak selskapene har planlagt for å imøtekomme ny grenseverdi

3.8 Usikkerhet og mangler i datagrunnlaget

Opplysningene som er oppsummert i dette kapittelet ble innhentet ved hjelp av et Microsoft Forms spørreskjema sommeren 2022. I invitasjonen til å delta i undersøkelsen ble det presisert at det enkelte selskap kunne velge å rapportere flere besvarer knyttet til driftsområder eller andre inndelinger av innretninger og anlegg der dette ble vurdert som hensiktsmessig av selskapet selv. Ingen av deltakerne valgte å benytte denne muligheten.

Da deltakerens porteføljer av innretninger og landanlegg varierer betydelig, vil datagrunnlaget i liten grad reflektere innretningsspesifikke ulikheter og omfang av eksponeringsutfordringer innen det enkelte selskap, dette gjelder spesielt for selskap med et høyt antall innretninger og/eller anlegg.

Det ble i undersøkelsen valgt å ikke innhente detaljert informasjon knyttet til kartlagte eksponeringsnivåer og vurdering av disse opp mot eksisterende og fremtidige grenseverdier, eller nivåer for innslag av risikoreduserende tiltak. Undersøkelsen vil dermed ikke gi svar på hvilke eksponeringsnivåer som forekommer i næringen.

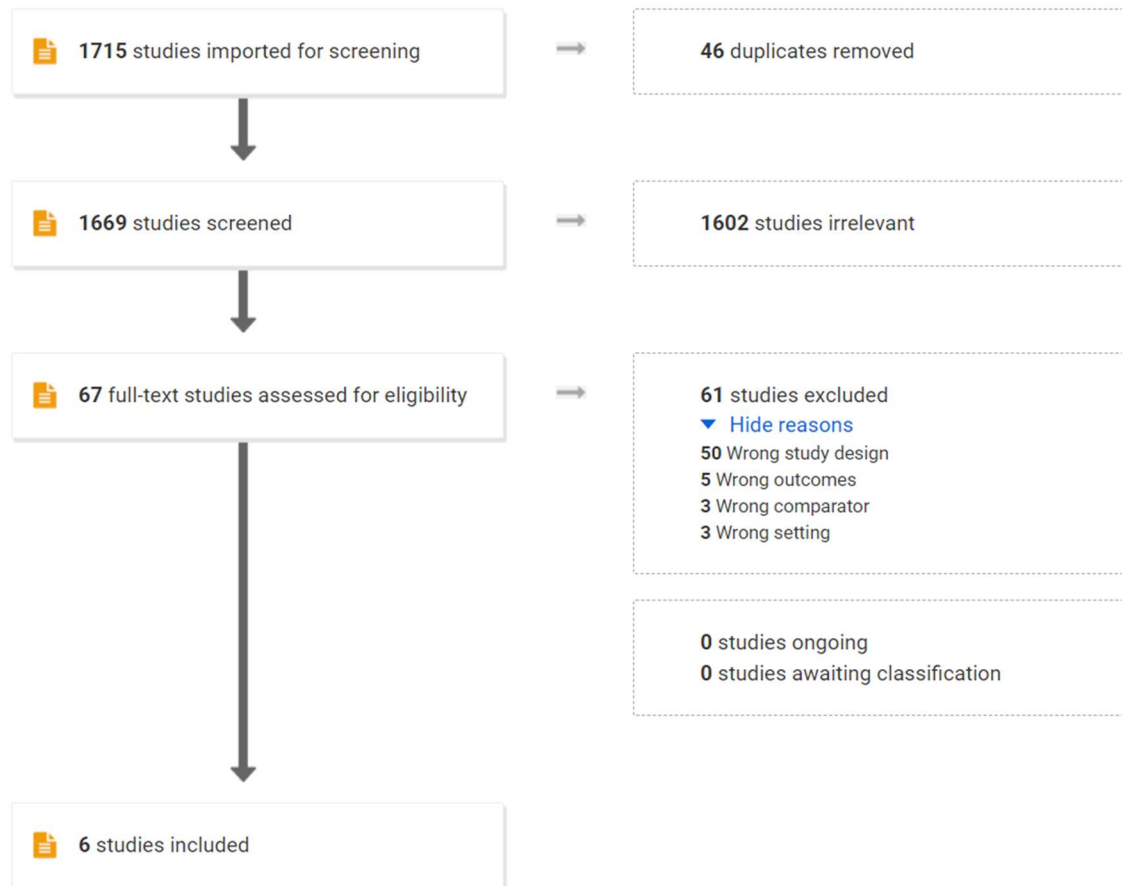
4 Kunnskapsgjennomgang

4.1 Vitenskapelig publisert litteratur

En systematisk litteraturgjennomgang av vitenskapelige publikasjoner ble gjennomført første halvår av 2022. En oversikt over prosessen er vist i figur 7. Det ble søkt i databasene Medline, Embase og Web of Science som inneholdt søkeordene «oil»

Av **1669** gjennomgåtte artikler fantes det bare **seks relevante** diesel eksponeringsstudier offshore eller i petroleumsnæringen.

sammen med «rig» eller «platform», i tillegg til «diesel exhaust», «elemental carbon», «diesel engine» eller «carbon black». Resultatet fra dette søket ga 1896 treff totalt hvorav 181 ble oppdaget som dubletter i EndNote (The EndNote Team, 2013), og derfor fjernet. De resterende 1715 treffene ble eksportert til Covidence, et verktøy for systematisk litteratursøk og gjennomgang (*Covidence systematic review software*). 37 vitenskapelige publikasjoner ble flagget som dubletter av programmet, og ytterligere 9 ble manuelt markert som dubletter. Etter fjerning av 46 dubletter ble tittel og sammendrag gjennomgått av to forskere for relevans mot dieseleksos og eksponering. 1602 av publikasjonene ble ikke ansett som relevante og ble forkastet da de verken var eksponeringsstudier i arbeidsmiljøsammenheng eller omhandlet dieseleksos som eksponeringsfaktor. De 67 resterende publikasjonene ble lest og vurdert opp mot relevansen for problemstillingen. Seks av disse ble vurdert som relevante, da de omfattet arbeidsmiljørelaterte eksponeringer av dieseleksos i petroleumsnæringen. Et sammendrag av de seks relevante studiene er gitt i tabell 1.



Figur 7. Oversikt for gjennomgang av vitenskapelige publikasjoner i Covidence.

Tabell 1: Sammenheng av studiene inkludert i kunnskapsoppsummeringen om eksponerings for dieseleksos i petroleumsnæringssektoren.

Studie	Undersøkte komponenter	Sammenheng av studie	Konsentrasjon av EC og NO ₂ hvis tilgjengelige
(Langer et al., 2020)	CO ₂ , SO ₂ , NO _x , VOC, PAH, PM _{2.5} , OC og EC.	Undersøkte eksponering på isbryter ved forbrenning av HFO eller MDO gjennom stasjonære målinger innendørs og utendørs.	GM på 0,00002 mg/m ³ EC utendørs (n = 2) og 0,00016 mg/m ³ innendørs EC (n = 16)
(Debia et al., 2016)	OC, EC, NO ₂ , NO, CO, PM ₁ , PM _{2.5} , PM ₄ , PM ₁₀ og PM _{tot}	Undersøkte eksponering av havnearbeidere gjennom personbåre målinger og stasjonære målinger.	GM på 0,0016 mg/m ³ EC, og maksverdi 0,0040 mg/m ³ (n=29)
(Bondi et al., 1983)	NO ₂	Undersøkte eksponeringen for NO ₂ ombord to ubåter med personbåre og stasjonære direktevisende over 12 dager sammenhengende.	Daglig AM på 0,035 ppm med en maksverdi på 0,2 ppm
(Gan et al., 2010)	OC, EC og DPM	Undersøkte eksponering ombord ubåter og for arbeidere på en brygge i sammenheng med ubåter.	Døgngjennomsnitt 0,004-0,040 mg/m ³ EC
(Zhang et al., 2021)	CO ₂ , CO, OC, EC, PAH og n-alkaner.	Undersøkte utslipp fra båter som brukte HFO, og sammenliknet ulike belastninger på motoren.	
(Kerrane et al., 2007)	Benzen	Undersøkte eksponeringen til fiskere om bord fiskebåter.	

I 2020 publiserte Langer et al. en studie som omhandlet utslippsmålinger gjort innendørs ombord en isbryter og utendørs på dekk. Typen brensel, MDO og HFO, ble sammenlignet på bakgrunn av stasjonært målt CO_2 , SO_2 , NO_x , VOC, PAH og partikler ($\text{PM}_{2.5}$). I tillegg ble det målt OC og EC, men ettersom det ikke ble påvist en statistisk forskjell i typen brensel ble disse målingene kun presentert i et vedlegg til publikasjonen. Basert på vedlegg til artikkelen viste resultatene for EC et geometrisk gjennomsnitt på $0,00002 \text{ mg/m}^3$ ($0,02 \text{ }\mu\text{g/m}^3$) utendørs ($n = 2$) og $0,00016$ ($0,16 \text{ }\mu\text{g/m}^3$) mg/m^3 innendørs ($n = 16$). Motorrommene hadde de høyeste målingene av VOC, PAH, partikler og NO_x , samt SO_2 spesielt ved forbrenning av HFO. I oppholdsrommene var målingene noe lavere bortsett fra for NO_x noe som tydet på at lufteanlegget innendørs kan være utsatt for eksos fra motorene. Ved en spesifikk vindretning, relativ til båtens bevegelse, var konsentrasjonene målt innendørs høyere, noe som kan indikere at eksosen har forurenset luftinntaket til ventilasjonsanlegget.

Debia et al. kartla i 2016 eksponeringen til havnearbeidere der hovedkilden til dieseleksos var lastebiler. Studien inkluderte personbårne målinger av OC, EC, NO_2 , NO, CO og stasjonære målinger av partikulært materiale i forskjellige størrelsesfraksjoner. På bakgrunn av 29 målinger ble det utregnet et geometrisk gjennomsnitt av EC på $0,0016 \text{ mg/m}^3$, og en maksverdi på $0,0040 \text{ mg/m}^3$. Forfatterne av artikkelen påpekte at de relativt lave EC verdiene kunne skyldes tiltak gjort av dieselmotorprodusenter for å minimere utslipp. Videre ble det vist at det var en svak korrelasjon mellom TC og EC ($r = 0,34$). Den svake korrelasjonen mellom TC og EC kunne skyldes andre kilder til OC, som trevirke og sigarettøyk, noe som indikerer at EC er et bedre valg som dieselmarkør enn TC i eksponeringsmålinger.

Bondi et al. publiserte i 1983 en studie som kartla eksponering av NO_2 ombord på to ubåter med stasjonære og personbårne målinger, i tillegg til en stasjonær direktevisende måling som pågikk 12 dager sammenhengende i en av ubåtene. Sistnevnte viste et daglig gjennomsnitt på $0,035 \text{ ppm}$. Maksverdien ble målt til $0,2 \text{ ppm}$ for en av dagene ombord. Denne konsentrasjonen ble målt da ubåten kjørte langs vannoverflaten, slik at luftinntaket ble eksponert for dieseleksos.

I 2010 publiserte Gan et al. en studie som kartla eksponering av OC, EC og DPM ombord ubåter og på en brygge ca. 35m fra ubåten under et opphold i en havn. Døgngjennomsnittet for EC varierte mellom $0,004$ - $0,040 \text{ mg/m}^3$ for de forskjellige ubåtene. Videre presenterte studien en gjennomsnittsverdi av forholdet mellom EC til TC på 0,45 og et forhold mellom TC til DPM på 0,8 for en personlig prøve, alt om bord ubåter. På bryggen ble det rapportert et forhold mellom EC til TC på 0,23. Forskjellen mellom EC og TC, i og utenfor en av ubåtene, ble angitt til å skyldes en høyere andel ufullstendig forbrent brensel.

Zhang et al. publiserte en artikkel i 2021 hvor de undersøkte utslipp fra båter som bruker HFO og sammenlignet ulike belastninger av dieselmotoren. Komponenter som ble undersøkt var CO₂, CO, OC, EC, PAH og n-alkaner. Studien rapporterte at forholdet mellom OC og EC er avhengig av partikkelstørrelse. Forholdet mellom OC og EC er også vist til å øke med belastning på motoren. Dette skyldes muligens til forholdet mellom luft og brensel som synker, og vil resultere i en lavere andel fullstendig forbrenning av dieselen.

Personbårne målinger av benzen hos fiskere ble rapportert av Kirrane et al. i 2007. Firetakts- og totaktsbensinmotorer ble sammenliknet, i tillegg til dieselmotorer om bord i båten. Estimerte gjennomsnittsverdier av benzen hos fiskere var rapportert til henholdsvis 0,0389 mg/m³, 0,0584 mg/m³ og 0,0157 mg/m³ og tilskrevet eksponeringen for eksos fra båtmotoren. I rapporten ble det argumentert med at selv om eksponeringen var lavest for dieselmotorer, så reflekterte ikke dette den mulige eksponeringen av andre komponenter i eksosen med toksiske egenskaper.

Litteraturgjennomgangen viser at det er svært få studier omhandler eksponering for dieseleksos i petroleumsnæringen som omfatter eksponeringsmålinger av EC. De få studiene som er publiserte, viser at målingene av EC i relevante arbeidsområder varierer i stor grad. Videre viser studiene at konsentrasjoner ombord på skip eller ubåter avhenger av lufteanleggene, de operasjonelle forholdene og vindforholdene.

Konsentrasjonen av EC varierer mye i studiene, fra lav konsentrasjon til nivåer nærme den kommende grenseverdien.

4.1.1 STAMI rapporten: «Dagens eksponeringsbilde»

En STAMI rapport publisert i 2012 viser målinger av dieseleksoseksponering offshore med både stasjonære og personbårne prøver av EC og NO₂ på åtte ulike innretninger (Solbu, 2012). Det var i hovedsak samlet stasjonære prøver (n=91) og noen færre personbårne prøver (n=16). Målingene ble utført ved ulike arbeidssteder: boligkvarter, gangvei, generatorrom, helikopterdekk, krankabin, laboratorium, landanlegg, plattformdekk, rør/lastedekk, skipsdekk og værdekk. Den høyeste mediankonsentrasjonen av EC ble målt på forsyningsskip, ved skipsdekk og krankabin, begge på 0,021 mg/m³. Det ble i rapporten konkludert med at det ikke var en statistisk sammenheng mellom nivåene av NO₂ og EC.

4.1.2 Dieseleksos eksponering på fregatt

I 2020 utførte STAMI en studie med dieseleksponeringsmålinger om bord på en fregatt, med hensikt å kartlegge eksponeringen til arbeidere på et helikopterdekk (Eriksen Hammer et al., 2023). Totalt ble det foretatt 9 personlige målinger og 12 stasjonære målinger av EC og NO₂ i arbeidsluften, med arbeidsskift som varte mellom 6-12 timer og der majoriteten av arbeidstiden var på helikopterdekk. Det ble i tillegg foretatt karakterisering av de ulike eksoskildene ombord på skipet blant annet dieselmotor, dieselgenerator, dieseldreven gassturbin og et helikopter.

Studien viste at eksponeringen varierte gjennom prøvetakingsperioden på ni dager. NO₂ ble påvist i alle dieseleksosavkast, i tillegg til eksosen fra helikopteret, og korrelasjonen var signifikant mellom EC og NO₂ målinger. Generelt var eksponeringen for gassene (NO₂ og VOC-er) i dieseleksosen lav, da mediankonsentrasjonen for NO₂ var 0,08 mg/m³ for personbårne prøver og 0,1 mg/m³ for stasjonære prøver. Blant VOC-ene var det rapportert at en relativ stor andel lå under bestemmelsesgrensen for målemetoden, men at det ikke ble gjort en kvantitativ analyse. Konsentrasjonen av EC varierte mellom 0,005 og 0,038 mg/m³. Dette tyder på stor variasjon og at man ikke kan utelukke at en på enkelte dager kan få eksponering opp mot og over en grenseverdi på 0,05 mg/m³ på et 8-timers skift. Videre viste studien at det er viktig å dokumentere eksponeringen over tid, da eksponeringen var svært væravhengig.

Kildekarakteriseringen viste at dieseleksosen i stor grad kom av dieseldreven hovedmotor og dieselgenerator, og at dieselgeneratorene var hovedkildene til utslipp av elementært karbon. Den dieseldrevne gassturbinen bidro relativt lite med EC i forhold til dieselmotor og dieselgeneratorene. Det ble også identifisert i mindre mengder flere organiske forbindelser i dieseleksosen som er kjent for å kunne gi kvalme, virke irriterende på øyne og luftveier samt gi pustebesvær.

4.1.3 EXPO målinger

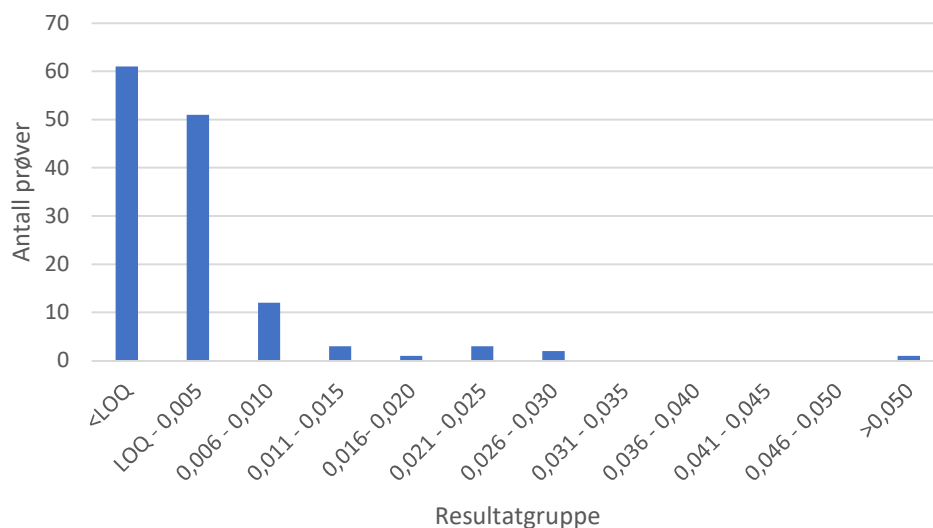
STAMI drifter den nasjonale databasen for kjemisk eksponering i arbeidslivet, EXPO. Databasen skal gi et bedre kunnskapsgrunnlag for forebyggende arbeid knyttet til eksponering i arbeidsmiljø, og kan brukes som en del av kunnskapsgrunnlaget for å vurdere eksponeringsbilde for ulike kjemiske forbindelser i forskjellige næringer. Virksomheter kan på en sikker måte registrere og lagre luftprøver fra sine arbeidsplasser hvor de selv styrer tilgangen til resultatene i webportalen, EXPO Online. STAMI bruker aggregerte data fra EXPO til å føre statistikk og belyse kunnskapshull, på en slik måte at aggregerte data ikke kan spores tilbake til

den enkelte virksomhet. I dag er det flere bedrifter i petroleumsnæringen som har lagret eksponeringsmålinger av dieseleksos i EXPO.

Per november 2022 var det registrert 140 prøver av elementært karbon i EXPO fra virksomheter registrert innunder næringsgrupper 06 og 09.1 i den norske standarden for næringsgruppering (SN07). Næringsgruppekodene står henholdsvis for «Utvinning av råolje og naturgass» og «Tjenester knyttet til utvinning av råolje og naturgass». En annen relevant næring var 19.2 «Produksjon av raffinerte petroleumsprodukter», men det var ingen registrerte prøver på virksomheter innenfor nevnte næringsgruppe. Et sammendrag av statistiske data basert på disse prøvene vises i tabell 2.

Tabell 2. Sammendrag av registrerte resultater av EC gjennomført i petroleumsnæringen og lagret i EXPO (2014-2022)¹

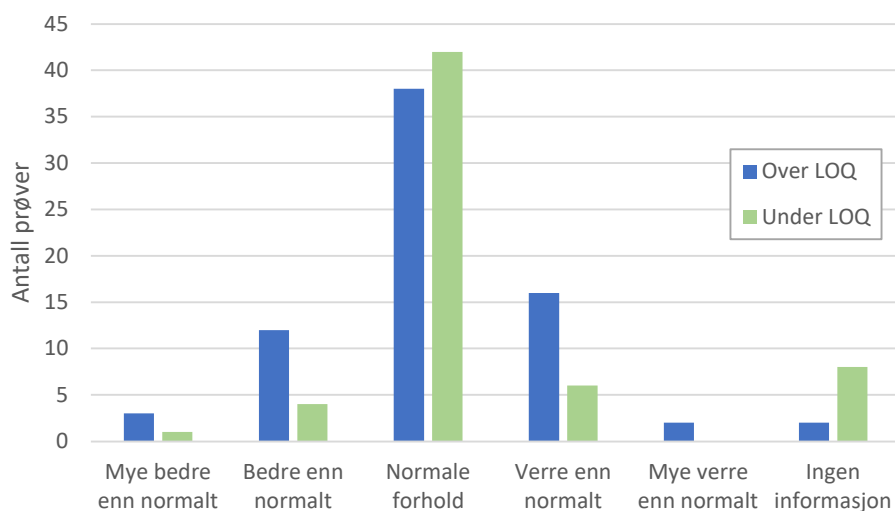
Antall prøver	AM (mg/m ³)	GM (mg/m ³)	25 persentil (mg/m ³)	Median (mg/m ³)	75 persentil (mg/m ³)
140	0,0039	0,0090	0,0019	0,0012	0,0034



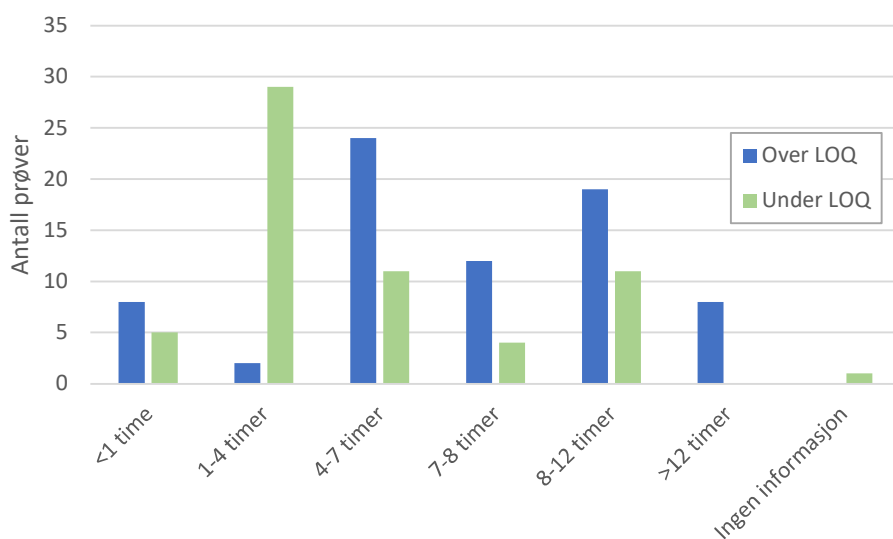
Figur 8. Fordelingen av registrerte måleresultater av EC i EXPO

¹ AM – aritmetisk gjennomsnitt, GM – geometrisk gjennomsnitt

Alle prøvene registrert i EXPO var tatt som stasjonære målinger. Omtrent 44% av resultatene var under kvantifiseringsgrensen (LOQ) og videre er kun 10 % av prøvene over 0,010 mg/m³ (fig.8). Kun en prøve hadde en konsentrasjon over 0,050 mg/m³ for EC, og denne prøven var samlet inn utendørs i én time under forhold bekrevet som verre enn normalt. Den korte prøvetakingstiden antyder at prøvetaking ble gjort rettet mot en plassering med mistanke om høy eksponering.

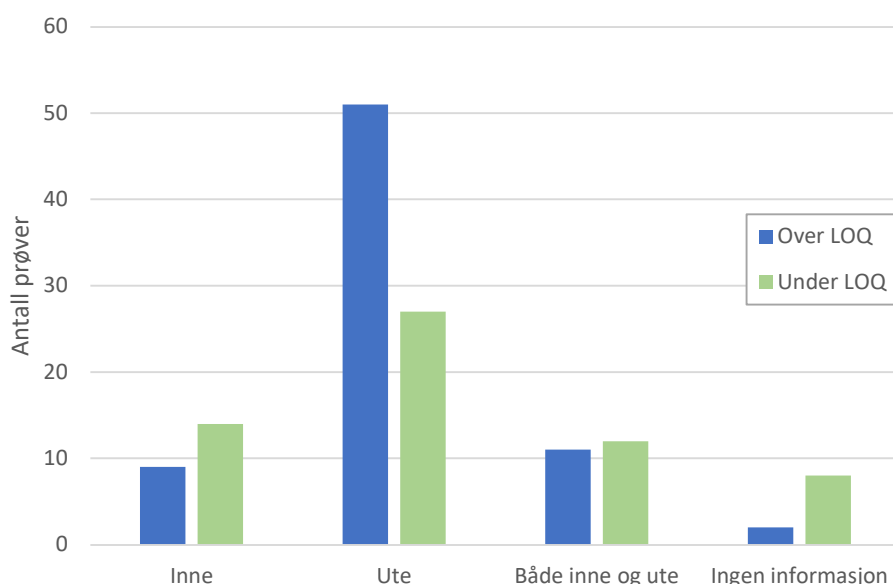


Figur 9. Fordeling av forhold under prøvetaking for registrerte måleresultater av EC i EXPO.



Figur 10. Fordeling av prøvetakingsperioder for registrerte måleresultater av EC i EXPO.

De fleste prøvene ble tatt under normale forhold, noe som kan ses i figur 9. Prøvetakingstider varierte mer, fra mindre enn en time til over 12 timer (fig.10). Omtrent halvparten av prøvene ble samlet inn utendørs, og her var tre fjerdedeler over LOQ. Plasseringen av målingene viste at 70% av prøvene over LOQ, ble tatt utendørs. Tilsvarende var 44% av prøvene under LOQ tatt utendørs (fig.11).



Figur 11. Fordeling av plasseringen til registrerte måleresultater av EC i EXPO.

Selv om hovedvekten av prøvene hadde en konsentrasjon som var lavere enn $0,010 \text{ mg/m}^3$, og flest prøver ble tatt ved normale forhold, kan det ikke med sikkerhet hevdes at dette danner et representativt utvalg av prøver for å vise hele eksponeringsbildet knyttet til dieseleksos. Det var relativt få prøver generelt, og ingen personbårne prøver. Kortere prøvetakingstider, under 8 timer, betyr trolig at spesifikke arbeidsprosesser eller oppgaver har blitt undersøkt og representerer derfor ikke eksponeringen over et helt arbeidsskift. Flere prøver er nødvendig for å kunne danne et mer komplett bilde av eksponering knyttet til dieseleksos i petroleumsnæringen. For flere av prøvene var det også manglende informasjon om de er tatt offshore eller på landbaserte anlegg, men det er tydelig at det mangler en vesentlig representasjon av personbårne prøver.

Det er **ingen personbårne prøver** registrert i **EXPO**. De fleste prøver er samlet inn under normale forhold, og ligger under grenseverdien for EC.

5 Tilgjengelige målemetoder

For å vurdere hvilke typer målemetoder som er aktuelle for bruk i petroleumsnæringen, når det kommer til eksponering av dieseleksos, er det visse betingelser som er lagt til grunn i denne rapporten. Bruken av betegnelsen «black carbon» (BC) forekommer i studier rettet mot utslipp og miljøovervåkning (Sugrue et al., 2022). I likhet med EC, så er BC karboninnholdige forbindelser som oppstår ved ufullstendig forbrenning av fossile brensler. BC inkluderer organisk karbon (OC) i de forbindelser som er bundet til partikler av EC. Definisjonen av betegnelsen er også knyttet til målemetoden brukt for å bestemme BC ettersom dette gjøres kun ved optiske metoder. Dersom målemetoden som bestemmer BC skal kunne brukes som et alternativ for å bestemme EC, må man kunne estimere med akseptert sikkerhet at andelen OC er lav nok. I petroleumsnæringen vil man trolig ikke kunne gjøre dette siden kilder til OC er mange, inkl. løsemidler, maskineri eller annen kjemisk prosesssteknologi. Kilden til elementært karbon derimot vil primært være fra fossile forbrenningsmotorer. Man risikerer derfor å overestimere EC ved å kun bestemme BC i petroleumsnæringen. Videre må en målemetode spesifikt kunne bestemme elementært karbon ettersom dette er markøren for eksponering av dieseleksos og får en egen grenseverdi.

I innretningsforskriften må elektrisk utstyr til bruk i eksplosjonsfarlige områder være godkjent for dette, noe som kalles ex-godkjenning (Innretningsforskriften, 2001). NORSOK standarden for elektrisk utstyr spesifiserer også at områder med eksplosjonsfare må ta i bruk elektrisk utstyr som er godkjent for dette (Standard, 2016). Ettersom en stor del av arbeidsoperasjonene i petroleumsnæringen befinner seg i områder med eksplosjonsfare, vil det være rimelig å anta at måleutstyr for bestemmelse av elementært karbon må innfri dette kravet. Et utvalg av målemetoder har blitt diskutert i avsnittene under med nevnte betingelser som forutsetning.

Sunset Laboratories (*Sunset Laboratory Inc.*, 2023) har utviklet OCEC Aerosol Analyzer som er basisen for NIOSH metode 5040, og var det første markedsførte instrumentet til bestemmelse av elementært karbon som markør for eksponering av dieseleksos. Gjennom et definert temperaturprogram varmes prøven i et ovnskammer, hvor transmittansen gjennom prøven måles kontinuerlig med en laser. Segmentene i programmet og typen bæregass skiller på OC og EC sammen med målt transmittanse. Instrumentet bruker metangass etter endt program som internstandard, og kalibrerer instrumentet etter hver prøve. Ved STAMI har et slikt instrument blitt brukt siden 2011, både til forskning og tjenesteyting (Berlinger et al., 2019). Instrumentet gir ikke direktevisende målinger ettersom prøvene må eksponeres i et arbeidsmiljø for deretter å sendes et laboratorium hvor instrumentet befinner seg. I senere tid har Sunset Laboratories

utviklet OCEC Field Analyzer, et tilsvarende instrument som har en annen type detektor, men instrumentet er stasjonært og bruker også metangass til kalibrering etter hver prøve. Ingen av de to instrumentene fra Sunset Laboratories er godkjent til bruk i områder som krever ex-godkjenning.

Magee Scientific (*Magee Scientific* 2023) har utviklet flere instrumenter som brukes i sammenheng med målinger av dieseleksos. DRI model 2015 har samme type detektor som Sunset Laboratories' OCEC Field Analyzer, og har en tilsvarende deteksjonsgrense, men tar heller ikke direktevisende målinger. Mer nylig har Magee Scientific produsert et nytt system, CASS (Carbonaceous Aerosol Speciation System), som er en kombinasjon av to tidligere instrumenter de har utgitt; TCA08 Total Carbon Analyzer og AE33 Aethalometer. Det første instrumentet bestemmer TC og den andre bestemmer BC i direktevisende målinger. CASS behøver ikke ekstern gasstilførsel da den kun pumper inn luft fra miljøet den plasseres i til bruk som bæregass. Produsenten hevder at bestemmelse av BC kan brukes til å regne ut EC ved hjelp av en miljøspesifikk faktor som representerer andelen EC mot OC i arbeidsmiljøet. BC bestemmes optisk ved måling av svertningen (transmittansen) til et filter som eksponeres for arbeidsmiljøet. En artikkel publisert i 2022 rapporterer en bestemmelsesgrense for TCA08 til å være $0,0003 \text{ mg/m}^3$ for TC (Ivancic et al., 2022). En distributør av instrumentet AE33 viser til en deteksjonsgrense for 1 time på $<0,000005 \text{ mg/m}^3$ (Ecomesure, 2022). CASS er ikke regnet som personbåren ettersom den veier totalt 89 kg og må derfor plasseres stasjonært, og den er heller ikke ex-godkjent til bruk i eksplosjonsfarlige områder.

Stat Peel (*Stat Peel*, 2020) har utviklet et prøvetaking- og analysemetode som opprinnelig var rettet mot nanofiber, men har nylig også videreutviklet dette til å inkludere blant annet karbonforbindelser som nanorør og grafen. Stat Peel har utviklet egne prøvetakere med innebygde pumper for regulering av volumstrømmen. Etter bruk plasseres prøvetakere i et stasjonært analyseinstrument som bestemmer konsentrasjon av eksponering basert på Ramanspektrometri som måleteknikk. Produsenten har ikke rapportert sensitivitet for målemetoden, og produsenten har heller ikke søkt om godkjenning til bruk av de bærbare prøvetakerne i eksplosjonsfarlige områder.

Inntil 2021, produserte FLIR en personbåren måler for partikulært dieselmateriale (DPM) kalt Airtec. Instrumentet hadde en rapportert sensitivitet på $0,015 \text{ mg/m}^3$ og ga tidsoppløste målinger, men ikke i realtid. Sensitiviteten var heller ikke tilfredsstillende for å kunne ta gode vurderinger, etter arbeidstilsynets veiledning for vurdering av eksponeringsmålinger (Arbeidstilsynet).

I en publikasjon presenteres arbeidet for å utvikle en metode som kan bli mer effektiv enn den termo-optiske metoden i NIOSH metode 5040 (Parks et al., 2021). Forsøkene ser på å kun bruke en optisk metode som kan bestemme EC i DPM ved å bruke en Fourier-transformert infrarød (FTIR) metode. Basert på metoden og målte blind prøver, viser de en utregnet bestemmelsesgrense på 0,0010 mg/cm² som tilsvarer 0,0036 mg/m³.

Det er dermed ikke funnet noen prøvetakingsmetoder for å bestemme EC i arbeidsatmosfæren med en direktevisende og personbåren måler til bruk i eksplosjonsfarlige områder. Det er verdt å bemerke at arbeidet til sistnevnte publikasjon har potensialet til å kunne brukes hvis den videreutvikles, ettersom det

Foreløpig finnes **ingen aktuelle direktevisende instrument** som kan brukes i **arbeidsmiljøet offshore eller på landanlegg for å bestemme EC**, men det arbeides internasjonalt med å utvikle egnet instrumentering.

allerede finnes relativt portable FTIR-instrumenter med ex-godkjenning på markedet.

6 Konklusjon

En spørreundersøkelse ble gjennomført i petroleumsnæringen i 2022 for å innhente informasjon om utfordringer knyttet til dieseleksoseksponering og selskapenes praksis for styring av risiko. Besvarelsene viste at dieseleksos anses som en utfordring både på faste og flyttbare innretninger og på enkelte landanlegg. Gjennom spørreundersøkelsen var det tydelig at det er flere arbeidsprosesser der man forventer eksponering for dieseleksos, men at kunnskapen om omfang og nivå var mangelfull. En systematisk gjennomgang av litteratur knyttet til eksponering for dieseleksos i petroleumsnæringen har blitt gjennomført. Funnene fra gjennomgangen viste at litteraturen var mangelfull når det gjelder omfanget av eksponering og tiltak som kan bidra til å redusere eksponering. Det er derimot sannsynlig at redusert bruk av dieseldrevet utstyr på innretninger offshore og på landanlegg vil redusere eksponeringen for dieseleksos. Utvalget av målemetoder til å bestemme EC på arbeidsplasser i petroleumsnæringen, og spesielt direktevisende eksponeringsmålinger er begrenset. Tidligere studier fra STAMI viser varierende nivåer av dieseleksos i petroleumsnæringen. De tilgjengelige resultatene fra EXPO var utelukkende stasjonære målinger og ga derfor ikke et representativt bilde av den personlige dieseleksoseksponeringen. Litteraturen viste også at prøvetaking utendørs er utfordrende med tanke på vær og vindforhold. Dagens målemetoder uten direktevisende, personbårne målere

anses som utfordrende ettersom det ikke gir mulighet for en løpende risikovurdering med hensyn på dieseleksos. Et begrenset datagrunnlag i form av eksponeringsmålinger av EC medfører at det ikke foreligger tilstrekkelig oversikt over eksponeringsnivåer, og i hvilke situasjoner og under hvilke betingelser dieseleksos kan utgjøre en eksponeringsrisiko. Dermed er også grunnlaget for å etablere hensiktsmessige risikostyringssystemer og identifisere risikoreduserende tiltak mangelfullt.

7 Anbefalinger

For å danne et bedre risikobilde av dieseleksoseksponering i petroleumsnæringen må det tas flere personbårne prøver både offshore, på faste og flyttbare innretninger, og landanlegg. Videre forskning og kartlegging av arbeidsmiljø i petroleumsnæringen bør utføres for bedre å karakterisere kjente komponenter i dieseleksos. I tillegg må det samles flere målinger før og etter eksponeringsreduserende tiltak for å undersøke effekten av tiltakene. Det anbefales å utvikle direktevisende, personbårne sensorer for EC, godkjente for bruk i ex-områder, som verktøy til god risikostyring.

Etterord

Forfatterne ønsker å takke følgende for medvirkende arbeid til denne kunnskapsoppsummeringen:

Ingrid Løken – Hovedbibliotekar, STAMI

Benedicte Mohr – Hovedbibliotekar, STAMI

Deltakere som ga innspill på seminaret «*Dieseleksos – til pust og plage*», arrangert av Ptil i Stavanger, 13. desember 2022

Alle operatører og redere som bidro ved å besvare spørsmål knyttet til eksponering og håndtering av dieseleksos som en arbeidsmiljøutfordring i spørreskjemaet som Ptil sendte ut sommeren 2022

Referanser

- Aktivitetsforskriften. (2010). *Forskrift om utføring av aktiviteter i petroleumsvirksomheten*. Retrieved from <https://www.ptil.no/regelverk/alle-forskrifter/aktivitetsforskriften/VIII/36/>
- Aliabadi, A. A., Thomas, J. L., Herber, A. B., Staebler, R. M., Leaitch, W. R., Schulz, H., Law, K. S., Marelle, L., Burkart, J., Willis, M. D., Bozem, H., Hoor, P. M., Köllner, F., Schneider, J., Levasseur, M., and Abbatt, J. P. D. (2016). Ship emissions measurement in the Arctic by plume intercepts of the Canadian Coast Guard icebreaker Amundsen from the Polar 6 aircraft platform. *Atmospheric Chemistry and Physics (Print)*, 16(12), 7899-7916. <https://doi.org/10.5194/acp-16-7899-2016>
- Arbeidstilsynet. *Grenseverdier for kjemisk eksponering*. [https://www.arbeidstilsynet.no/tema/kjemikalier/grenseverdier-for-kjemisk-pavirking/#Korttidsverdier\(grenseforkorttidseksponering\)ogtommelfingerregelvedoverkridelser](https://www.arbeidstilsynet.no/tema/kjemikalier/grenseverdier-for-kjemisk-pavirking/#Korttidsverdier(grenseforkorttidseksponering)ogtommelfingerregelvedoverkridelser)
- Arbeidstilsynet. *Kartlegging og vurdering av eksponering for kjemikalier*. <https://www.arbeidstilsynet.no/tema/kjemikalier/kartlegging-eksponering-for-kjemikalier/>
- Arbeidstilsynet. (2021). Grunnlag for fastsettelse av grenseverdi for dieseleksos. Revisjon av direktiv 2019/130/EU.
- Ayodhya, A. S., & Narayanappa, K. G. (2018). An overview of after-treatment systems for diesel engines. *Environmental Science and Pollution Research International*, 25(35), 35034-35047. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-3487-8>
- Berlinger, B., Ellingsen, D. G., Romanova, N., Friisk, G., Daae, H. L., Weinbruch, S., Skaugset, N. P., & Thomassen, Y. (2019). Elemental Carbon and Nitrogen Dioxide as Markers of Exposure to Diesel Exhaust in Selected Norwegian Industries. *Ann Work Expo Health*, 63(3), 349-358. <https://doi.org/10.1093/annweh/wxy112>
- Birch, M. E. (2002). Occupational monitoring of particulate diesel exhaust by NIOSH method 5040. *Applied Occupational and Environmental Hygiene*, 17(6), 400-405. <https://doi.org/10.1080/10473220290035390>
- Bondi, K. R., Shea, M. L., & DeBell, R. M. (1983). Nitrogen Dioxide Levels Aboard Nuclear Submarines. *American Industrial Hygiene Association Journal*, 44(11), 828-832. <https://doi.org/10.1080/15298668391405814>

- Cernansky, N. P. (1983). Diesel Exhaust Odor and Irritants: A Review. *Journal of the Air Pollution Control Association*(33), 97-104.
<https://doi.org/10.1080/00022470.1983.10465560>
- Covidence systematic review software. In. Veritas Health Innovation. www.covidence.org
- Debia, M., Neesham-Grenon, E., Mudaheranwa, O. C., & Ragetti, M. S. (2016). Diesel exhaust exposures in port workers. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 13(7), 549-557. <https://doi.org/10.1080/15459624.2016.1153802>
- Ecomesure. (2022). *Product : MAGEE AE33 Aethalometer*. Retrieved 06-12-2022 from <https://ecomasure.com/en/scientific-instruments/magee-ae33-aethalometer>
- Eriksen Hammer, S., Daae, H. L., Kåsin, K., Helmersmo, K., Simensen, V., Skaugset, N. P., Hassel, E., & Zardin, E. (2023). Chemical characterisation of combustion engine exhaust and assessment of helicopter deck operator occupational exposures on an offshore frigate class ship. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 1-20.
<https://doi.org/10.1080/15459624.2023.2180150>
- European, C., Directorate-General for Employment, S. A., Inclusion, Hartwig, A., Klein, C., Van Tongeren, M., Pospischil, E., Papameletiou, D., Levy, L., Heederik, D., Santonen, T., & Greim, H. (2017). *SCOEL/OPIN/403 diesel engine exhaust : opinion from the Scientific Committee on Occupational Exposure Limits*. Publications Office.
<https://doi.org/doi/10.2767/299599>
- Forurensningsforskriften. (2004). *Forskrift om begrensning av forurensning*. (FOR-2004-06-01-931). Retrieved from <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2004-06-01-931>
- Gan, T. H., Hanhela, P., Mazurek, W., & Gillett, R. (2010). Characteristics of submarine engine diesel particulates in the maritime environment. *Journal of Aerosol Science*, 41(1), 23-35. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jaerosci.2009.09.007>
- Hedmer, M., Wierzbicka, A., Li, H., Albin, M., Tinnerberg, H., & Broberg, K. (2017). Diesel Exhaust Exposure Assessment Among Tunnel Construction Workers—Correlations Between Nitrogen Dioxide, Respirable Elemental Carbon, and Particle Number. *Annals of Work Exposures and Health*, 61(5), 539-553.
<https://doi.org/10.1093/annweh/wxx024>
- Henning, R. J., Johnson, G. T., Coyle, J. P., & Harbison, R. D. (2017). Acrolein Can Cause Cardiovascular Disease: A Review. *Cardiovasc Toxicol*, 17(3), 227-236.
<https://doi.org/10.1007/s12012-016-9396-5>

- Innretningsforskriften. (2001). *Forskrift om utforming og utrusting av innretninger med mer i petroleumsvirksomheten*. (FOR-2001-09-03-1100). Retrieved from <https://lovdata.no/dokument/LTI/forskrift/2001-09-03-1100>
- ISO. (2017). Petroleum products — Fuels (class F)
— Specifications of marine fuels. In (6 ed.).
- Ivancic, M., Gregoric, A., Lavric, G., Alföldy, B., Jezek, I., Hasheminassab, S., Pakbin, P., Ahangar, F., Sowlat, M., Boddeker, S., & Rigler, M. (2022). Two-year-long high-time-resolution apportionment of primary and secondary carbonaceous aerosols in the Los Angeles Basin using an advanced total carbon-black carbon (TC-BC(λ)) method. *Science of the Total Environment*, 848, 157606. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157606>
- Jeya Jeevahan, G. Mageshwaran, G. Britto Joseph, R. B. Durai Raj, & Kannan, R. T. (2017). Various strategies for reducing Nox emissions of biodiesel fuel used in conventional diesel engines: A review. *Chemical Engineering Communications*, 204(10), 1202-1223. <https://doi.org/10.1080/00986445.2017.1353500>
- Kirrane, E., Loomis, D., Egeghy, P., & Nylander-French, L. (2007). Personal exposure to benzene from fuel emissions among commercial fishers: comparison of two-stroke, four-stroke and diesel engines. *Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology*, 17(2), 151-158. <https://doi.org/10.1038/sj.jes.7500487>
- Langer, S., Österman, C., Strandberg, B., Moldanová, J., & Fridén, H. (2020). Impacts of fuel quality on indoor environment onboard a ship: From policy to practice. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 83, 102352. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.trd.2020.102352>
- Lehtoranta, K., Aakko-Saksa, P., Murtonen, T., Vesala, H., Ntziachristos, L., Rönkkö, T., Karjalainen, P., Kuittinen, N., & Timonen, H. (2019). Particulate Mass and Nonvolatile Particle Number Emissions from Marine Engines Using Low-Sulfur Fuels, Natural Gas, or Scrubbers. *Environmental Science & Technology*, 53(6), 3315-3322. <https://doi.org/10.1021/acs.est.8b05555>
- Magee Scientific (2023). <https://mageesci.com>
- Moldanová, J. (2009). Characterisation of particulate matter and gaseous emissions from a large ship diesel engine. *Atmospheric Environment*(43), 2632-2641. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2009.02.008>

- Parks, D. A., Griffiths, P. R., Weakley, A. T., & Miller, A. L. (2021). Quantifying elemental and organic carbon in diesel particulate matter by mid-infrared spectrometry. *Aerosol Sci Technol*, 55(9), 1-14. <https://doi.org/10.1080/02786826.2021.1917764>
- Perrone, M. G. (2014). Exhaust emissions of polycyclic aromatic hydrocarbons, n-alkanes and phenols from vehicles coming within different European classes. *Atmospheric Environment*(82), 391-400. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2013.10.040>
- Ris, C. (2007). U.S. EPA health assessment for diesel engine exhaust: a review. *Inhal Toxicol*, 19 Suppl 1, 229-239. <https://doi.org/10.1080/08958370701497960>
- SfS. (2022). *Styring av risiko for dieseleksos eksponering* (Anbefaling 049N, Issue. <https://samarbeidforsikkerhet.no/wp-content/uploads/2022/03/Anbefaling-049N-Styring-av-risiko-for-dieseleksos-eksponering-.pdf>
- Solbu, K. F. (2012). Dieseleksos i arbeidsatmosfæren i norsk olje-og gassindustri–Dagens eksponeringsbilde.
- Standard, N. (2016). Electrical systems. In (2016 ed.).
- Stat Peel. (2020). <https://www.statpeel.com/>
- Steiner, S. (2016). Diesel exhaust: current knowledge of adverse effects and underlying cellular mechanisms. *Archive of Toxicology*(90), 1541-1553.
- Suarez-Bertoa, R., & Astorga, C. (2016). Isocyanic acid and ammonia in vehicle emissions. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 49, 259-270. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.trd.2016.08.039>
- Sugrue, R. A., Preble, C. V., Tarplin, A. G., & Kirchstetter, T. W. (2022). In-Use Passenger Vessel Emission Rates of Black Carbon and Nitrogen Oxides. *Environmental Science & Technology*, 56(12), 7679-7686. <https://doi.org/10.1021/acs.est.2c00435>
- Sunset Laboratory Inc. (2023). <https://www.sunlab.com/>
- The EndNote Team. (2013). *EndNote*. In (Version EndNote 20) [64 bit]. Clarivate.
- Tolis, E. I., Saraga, D. E., Lytra, M. K., Papathanasiou, A. C., Bougaidis, P. N., Prekas-Patronakis, O. E., Ioannidis, I. I., & Bartzis, J. G. (2015). Concentration and chemical composition of PM2.5 for a one-year period at Thessaloniki, Greece: A comparison between city and port area. *Atmospheric Environment*, 113, 197-207. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.05.014>
- Wentzell, J. J. B., Liggio, J., Li, S.-M., Vlasenko, A., Staebler, R., Lu, G., Poitras, M.-J., Chan, T., & Brook, J. R. (2013). Measurements of Gas phase Acids in Diesel Exhaust: A Relevant Source of HNCO? *Environmental Science & Technology*, 47(14), 7663-7671. <https://doi.org/10.1021/es401127j>

Zhang, F., Chen, Y., Su, P., Cui, M., Han, Y., Matthias, V., & Wang, G. (2021). Variations and characteristics of carbonaceous substances emitted from a heavy fuel oil ship engine under different operating loads. *Environmental Pollution (Barking, Essex: 1987)*, 284, 117388. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.117388>