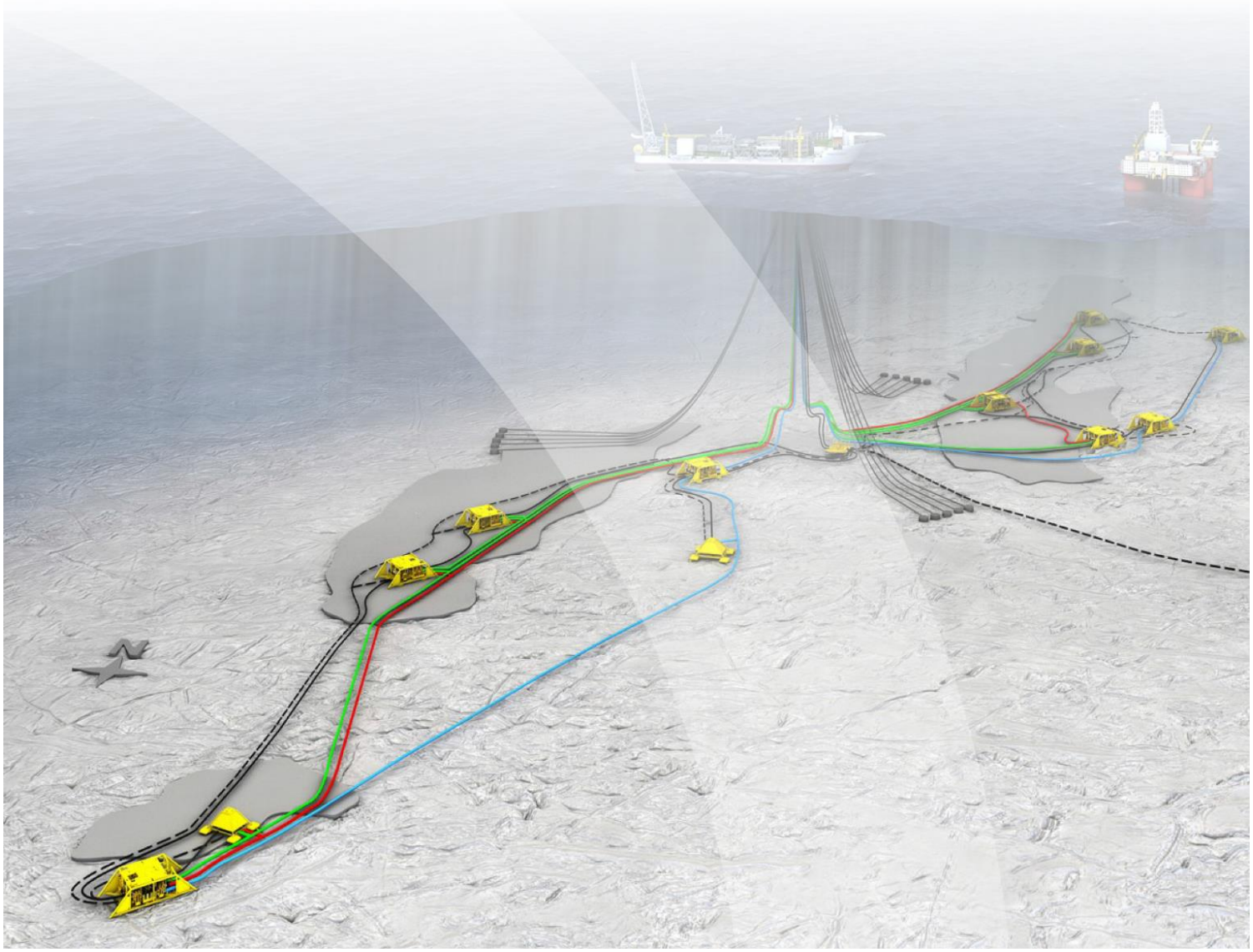
Norsk institutt for luftforskning
Norwegian Institute for Air Research

Johan Castberg-feltet i Barentshavet

Oppdatering av rapport OR 25/2014

Tore Flatlandsmo Berglen, Dag Tønnesen og Sverre Solberg



NILU rapport 14/2017

NILU rapport 14/2017	ISBN: 978-82-425-2881-0 ISSN: 2464-3327	TILGJENGELIGHET: A – Åpen
DATO 2017 – 05 - 16	ANSVARLIG SIGNATUR Ole-Anders Braathen, Viseadministrerende direktør (sign.)	ANTALL SIDER 39
TITTEL Johan Castberg-feltet i Barentshavet Oppdatering av rapport OR 25/2014		PROSJEKTLEDER Tore Flatlandsmo Berglen NILU PROSJEKT NR. O-117047
FORFATTER(E) Tore Flatlandsmo Berglen, Dag Tønnesen og Sverre Solberg		KVALITETSSIKRER Sverre Solberg
OPPDRAGSGIVER Statoil Prosjektet ledes av Akvaplan-NIVA v/ Ida Dahl-Hansen		OPPDRAGSGIVERS REF. Kjersti Dagestad

REFERAT

Miljøkonsekvensene av fremtidige utslipp til luft fra Johan Castberg-feltet i Barentshavet er vurdert. Tidligere beregninger med WRF-EMEP-modellen er benyttet. CO_2, CH_4 og NMVOC er vurdert utfra deres bidrag til økt drivhuseffekt (klimagasser) der Johan Castberg er et middels stort felt i norsk sammenheng. Utslipp av NOx vil gi bidrag til eutrofiering og forsuring (ved avsetning), SO_X gir bidrag til forsuring. Konklusjonen er at bidraget til eutrofiering og forsuring i Nord-Norge fra Johan Castberg-feltet er ubetydelig. Økning i ozon, det vil si N120, det vil si antall dager med 8-timers løpende middelverdi av O_3-konsentrasjon over 120 µg/m^3, er eneste parameter der beregningene gir en viss økning, opp med 1 tilfelle fra 10. Utslipp av BC (Black Carbon) er også vurdert. Det vurderes at klimaeffekten av installasjonene på Johan Castberg vil bli liten.

TITLE

Johan Castberg oil field - Assessment of emissions to air

EMNEORD

Luftkvalitet | Industriforurensning | Polare områrer

ABSTRACT

The environmental impact of future emissions from activities at the Johan Castberg oil field has been investigated. Concerning emissions of CO_2, CH_4 og NMVOC, the total emissions rank Johan Castberg as a medium size field in Norway. For NO_X and SO_X, the environmental impact from deposition is considered to be small. Concerning formation of ozone from NO_X emissions, the model estimates give an increase of N120 (number of days with 8-hrs running mean value higher than 120 µg/m^3), up from 10 to 11. Effects of Black Carbon emissions from Johan Castberg is also estimated, and the climate impact is considered to be small.

PUBLISERINGSTYPE: Digitalt dokument (pdf) | FORSIDEBILDE: Kilde: Statoil

© NILU – Norsk institutt for luftforskning
Publikasjonen kan siteres fritt med kildeangivelse

NILU er ISO-sertifisert i henhold til NS-EN ISO 9001/ISO 14001 og akkreditert i henhold til NS-EN ISO/IEC 17025.

Forord

NILU – Norsk institutt for luftforskning hadde i 2014 et prosjekt på oppdrag for Statoil der miljøkonsekvenser av utslipp til luft fra fremtidig aktivitet på Johan Castberg-feltet i Barentshavet ble vurdert. Rapporten inngikk i underlagsmaterialet som skulle danne grunnlag for beslutning om mulig utbygging av Johan Castberg-feltet i Barentshavet og omhandlet to utbyggingsalternativer, ilandføring eller FPSO (Floating Production, Storage and Offloading).

Nå har rettighetshaverne til Johan Castberg feltet, hvor Statoil er operatør, valgt en løsning som innebærer at en eventuell utbygging skal skje ved en FPSO med produksjon til havs. Dette betyr at det blir ingen ilandføring til Veidnes, som ble vurdert i 2014. I tillegg er en utbyggingsløsning med en FPSO videre modnet, og nye utslippsestimater foreligger. Det er dermed behov for oppdaterte beregninger og nye vurderinger av miljøkonsekvensene av utbyggingen.

Rapporten er skrevet av Tore Flatlandsmo Berglen som også har vært prosjektleder. Medforfatter Dag Tønnesen har bidratt med god hjelp, faglige innspill og diskusjoner. Og som i forrige rapport: Underlagsmateriale og tidligere kunnskap samt diskusjoner med Sverre Solberg og Tove Marit Svendby har vært verdifulle. Diskusjoner med professor Terje Koren Berntsen, Institutt for geofag, Universitetet i Oslo og kunnskap fra kollega ved NILU Andreas Stohl har også vært meget nyttige. Forskningsdirektør ved avdeling for By- og industri (INBY) er Leonor Tarrasón. Kontaktperson hos Statoil var Kjersti Dagestad.
Ida Hansen-Dahl ved Akvaplan-NIVA kooordinerte de samordnede miljøprosjektene med Statoil.

Innhold

Forord **2**

Sammendrag **4**

1 Innledning **6**

2 Bakgrunnskonsentrasjoner, utslipp og tålegrenser **10**

2.1 Generelt om komponentene som vurderes i denne studien 10

2.1.1 Karbondioksid CO_2 10

2.1.2 Nitrogenoksider (NO_x) 12

2.1.3 Svoveloksider (SO_x) 14

2.1.4 Metan (CH_4) 14

2.1.5 NMVOC (non-methane volatile organic compounds) 15

2.1.6 Ozon, O_3 16

2.1.7 Black Carbon (BC) 16

2.2 Maksimale utslipp for Johan Castberg brukt i denne studien og estimerte utslipp over levetiden 17

2.3 På hvilken måte representerer gassene som slippes ut et miljøproblem? 21

2.4 Forsuring og eutrofiering, eksisterende nivåer og tålegrenser 26

3 Vurdering av de ulike komponentene i utslipp fra Johan Castberg **31**

3.1 Vurdering av klimagassene CO_2, CH_4 og NMVOC 31

3.2 Vurdering av NO_x 31

3.3 Vurdering av ozon O_3 32

3.4 Vurdering av SO_x 33

3.5 Samlet konklusjon for NO_x, ozon og SO_x 33

3.6 Vurdering av BC 34

4 Referanser **35**

Vedlegg A Oksidasjon av CH_4 (metan) til CO_2, dannelse av OH og tap av NO_x i nattkjemi. **38**

Sammendrag

NILU – Norsk institutt for luftforskning har på oppdrag fra Statoil vurdert miljøkonsekvensene av utslipp til luft fra fremtidig utbygging og drift av Johan Castberg-feltet i Barentshavet. Utslipp av CO_2, CH_4, NO_x, SO_x, NMVOC, samt BC (Black Carbon) er vurdert, i tillegg til ozondannelse grunnet økte NO_x-utslipp.

Dette er en oppdatert rapport av studien NILU gjorde i 2014. Vurderingene er gjennomført for utbyggingsalternativet som omfatter havbunnsutbygging, produksjon- og lagerskip - FPSO (Floating Production Storage and Off-loading) og direkte eksport av oljen i skytteltankere. Utslippstall estimert av Statoil er basert på teknisk underlag per april 2017. Det er ikke gjort nye modellberegninger, men tidligere studier av petroleumsvirksomhet i Barentshavet med representative modellberegninger med WRF-EMEP-modellen (Solberg et al., 2012b) danner grunnlag for vurderingene i denne studien. For å vurdere miljøeffekten av de ulike utslippene, er maksimale beregnede utslipp fra Johan Castberg brukt. Utslippene skyldes hovedsakelig bruk av gassturbiner til energiproduksjon, men utslipp på grunn av fakling, boring, transport og marine operasjoner er også inkludert. De ulike delkildene til utslipp bidrar forskjellig i forhold til de ulike komponentene som slippes ut. Energibehovet er først og fremst generert av behovet for vann- og gassinjeksjon for å øke utvinningsgraden for reservoaret, samt energien som trengs for oppvarming av brønnstrømmen og oppvarming av innretningen.

CO_2, CH_4 og NMVOC er vurdert utfra deres bidrag til økt drivhuseffekt (klimagasser). Utslipp av CH_4 (23 ganger sterkere klimagass enn CO_2 i 100 års perspektiv) og NMVOC (oksideres til CO_2 i atmosfæren) er omregnet til tilsvarende utslipp av CO_2. Omregnet til CO_2-ekvivalenter tilsvarer maksimale utslipp fra Johan Castberg omlag 370 000 tonn CO_2 pr år. Det gjør Johan Castberg til et middels stort felt i norsk petroleumsvirksomhet og ville plassert feltet på 11. plass over utslipp fra norsk petroleumsvirksomhet til havs i 2015 og 9. plass over landbasert industri.

Utslipp av NO_x vil gi bidrag til eutrofiering og forsuring på grunn av økt avsetning. Maksimal beregnet økning i avsetning av nitrogen er 1 mg N/(m^2 år) (år 2023, det vil si oppstartsfasen). Gitt at nåværende avsetning er rundt 200 mg N/(m^2 år), er forventet maksimumsbidrag som opptrer i oppstartsfasen fra Johan Castberg ubetydelig (under 5 ‰ av eksisterende avsetning). I driftsfasen vil bidraget være 1/3 av dette. Maksimalt bidrag fra Johan Castberg vil også være mindre enn variasjonen i N-avsetning fra år til år. Økning i ozon på grunn av NOx-utslipp er vurdert. Antall dager med 8-timers løpende middelverdi av O_3-konsentrasjon over 120 µg/m^3 er eneste parameter der beregningene gir en viss økning fra Johan Castberg-utslippene, med en økning på 1 dag i forhold til en nå-situasjon med 10 dager pr. årmen denne forskjellen må sies å være innenfor usikkerheten av denne parameteren, som varierer fra år til år.

For svovel er maksimal avsetning beregnet. Beregningene gir en økning i avsetning av svovel på 0,5 mg S/(m^2 år) mot nåværende avsetning i Nord-Norge rundt 200 mg S/(m^2 år), det vil si ~2,5‰ av eksisterende avsetning. Bidraget fra Johan Castberg er derved ubetydelig. I driftsfasen vil bidraget være 1/8 av dette.

Basert på disse resultatene er konklusjonen at bidraget til eutrofiering, forsuring og bakkenært ozon i Nord-Norge fra Johan Castberg-feltet vil være ubetydelig, men generelt kan man si at for områder som i dag har overskridelser av tålegrensen for eutrofiering og forsuring, eller ligger på grensen til overskridelse, vil et hvert bidrag til økning av svovel- og nitrogenavsetningen potensielt endre dette bildet.

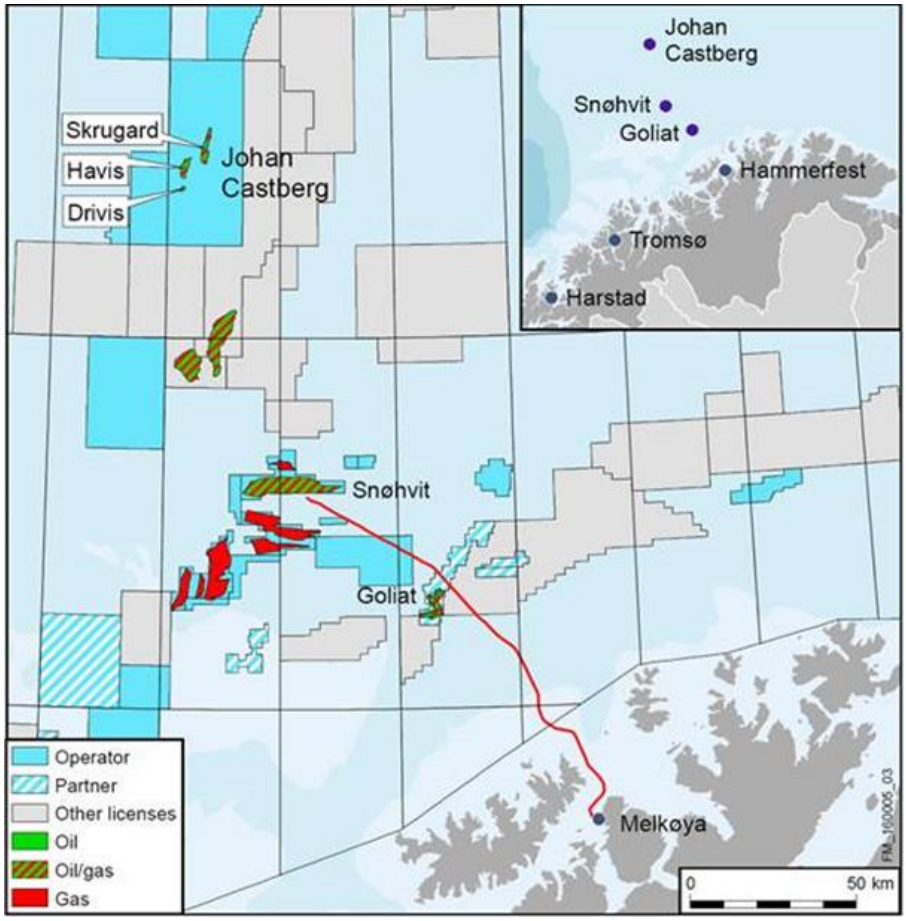
Utslipp av BC (Black Carbon) som dannes ved ufullstendig forbrenning er også vurdert. På Johan Castberg vil utslipp av BC være et resultat av fakling. Fakling benyttes som trykkavlasting ved en eventuell nødsituasjon, og ved oppstart og nedstenging av produksjonen. Utslipp av BC fra fakling vil være størst ved innkjøring av anlegget, det vil si før produksjonen kommer i regulær drift. Gassen fra Johan Castberg består av lette komponenter og vil ha en mer fullstendig forbrenning sammenlignet med gass med tyngre komponenter. Forventet utslipp vil derfor være relativt beskjedent og det vurderes derfor at klimaeffekten av installasjonene på Johan Castberg vil bli liten. Likefullt gir utslipp av BC i Arktis større effekt pr. utslippsenhet enn utslipp lenger sør. BC gir bidrag til klimaendringer og Arktis er spesielt sårbart. Det bør derfor være et mål å redusere utslipp av BC ved fakling til et minimum i Johan Castberg-prosjektet.

Johan Castberg-feltet i Barentshavet
Oppdatering av rapport OR 25/2014

1 Innledning

Johan Castberg er en fellesbetegnelse for den planlagte feltutbyggingen av reservoarene Skrugard, Havis og Drivis i Barentshavet. Feltet ligger i produksjonslisens PL 532. Statoil er operatør for feltet med en eierandel på 50 prosent. Øvrige rettighetshavere er Eni Norge AS (30%) og Petoro AS (20%). Feltet ligger i norsk sektor i Barentshavet, lokalisert omlag 240 km nord-vest for Hammerfest og 200 km sør for Bjørnøya (se Figur 1 for lokalisering).

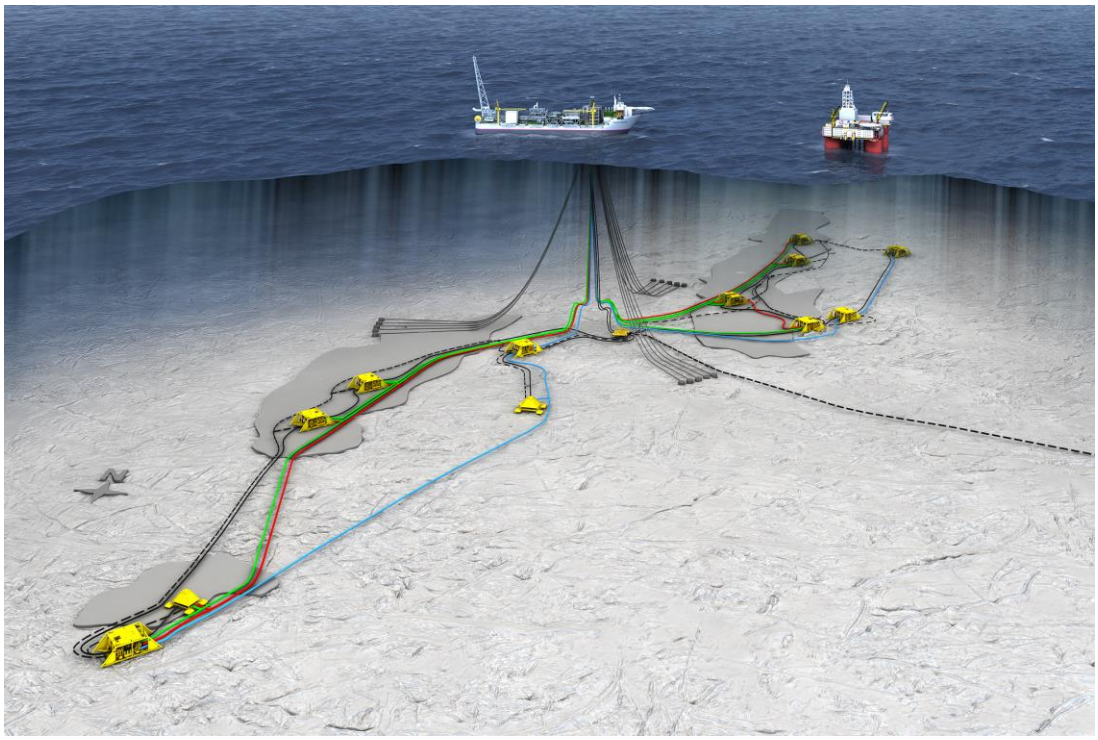
NILU har tidligere skrevet en rapport der miljøkonsekvensene av utslipp til luft ble vurdert (Berglen, Tønnesen og Solberg, NILU OR 25/2014). I den rapporten ble to utbyggings-alternativer vurdert.



Figur 1: Lokalisering av Johan Castberg (felles navn for utbygging av reservoarene Skrugard, Havis og Drivis). Feltene Snøhvit og Goliat, samt eksisterende gassledning fra Snøhvit til Melkøya (rød linje) er også vist. (Kilde: Statoil 20.09.2016).

I 2016 ble det bestemt, etter utredning av to utbyggingsalternativer, at lisensen skulle gå videre mot en investeringsbeslutning der utbyggingsløsningen innebærer havbunns-installasjoner, et produksjonsskip (FPSO) på feltet der stabilisering og lagring av råoljen vil skje om bord (Figur 2). Stabilisert olje eksporteres med tankere fra feltet. Det vil også legges en fiberoptisk kabel til Melkøya, alternativt til Snøhvit feltet.

Utbyggingen av Johan Castberg er planlagt startet i 2019. Boring av brønner vil pågå i fem år i perioden 2019-2024, to år inn i produksjonsperioden. Produksjon er planlagt å starte i løpet av 2022, og feltets forventede levetid er 30 år, med muligheter for forlengelse gjennom innfasing av eventuelle andre funn senere.



Figur 2: Skisse av valgte utbyggingsløsning for Johan Castberg, med havbunnsutbygging, flytende produksjonsenhet og lagerskip og helårlig boring i perioden 2019-2024 (Kilde: Statoil 2016).

Figur 3: Illustrasjon av produksjonsskip (FPSO) (Kilde: Statoil 2016).

Herværende rapport tar utgangspunkt i tilsendt underlagsmateriale og oppdaterte estimater for utslipp utarbeidet av Statoil.

NILU har tidligere gjort flere studier som bidrag til konsekvensutredninger og miljøvurderinger, blant annet;

- Johan Castberg-feltet i Barentshavet. Vurdering av utslipp til luft av Tore Flatlandsmo Berglen, Dag Tønnesen og Sverre Solberg (2014). Kjeller, NILU (NILU OR 25/2014).

- Innspill til konsekvensanalyse for Snøhvitfeltet og Melkøyaterminalen. Utslipp til luft av Svein Knudsen, Cristina Guerreiro og Herdis Laupsa (2001). Kjeller, NILU (NILU OR 08/2001).

- Konsekvenser av utslipp til luft fra Goliat-feltet. Underlag for konsekvensutredning av Tore Flatlandsmo Berglen, Tore Høgåsen, Svein Knudsen, Magne Osmundsen, Arild Sundfjord, Bente Wathne, Per Arild Aarrestad, (2008) Kjeller, NILU (NILU OR 58/2008).

- Åpning av havområdene ved Jan Mayen for petroleumsvirksomhet. Konsekvenser av regulære utslipp til luft av Sverre Solberg, Tove Svendby, Karl Idar Gjerstad, Liu Li, Bente Wathne, Brit Lisa Skjelkvåle, Tore Høgåsen, Per Arild Aarrestad og Jan Ove Gjershaug (2012). Kjeller, NILU (NILU OR 32/2012).

- Åpning av havområdene vest for delelinjen i Barentshavet Sør for petroleumsvirksomhet. Konsekvenser av regulære utslipp til luft; av Sverre Solberg, Tove Svendby, Karl Idar Gjerstad, Liu Li, Bente Wathne, Brit Lisa Skjelkvåle, Tore Høgåsen, Per Arild Aarrestad og Jan Ove Gjershaug (2012). Kjeller, NILU (NILU OR 33/2012).

Alle disse fem rapportene omhandler prosjekter i nordområdene og Barentshavet, og kunnskap fra disse er derfor nyttige for denne studien. Den første av disse fem er rapporten som danner grunnlag for denne oppdateringen, den sistnevnte studien for Barentshavet Sør er relevant siden den i stor grad omhandler de samme komponentene og de samme land- og havområdene. For de to sistnevnte studiene ble det også utført omfattende modellberegninger ved bruk av WRF-EMEP-modellen. WRF-EMEP er en numerisk regnemodell som inkluderer både atmosfærisk spredning, kjemisk omvandling (omlag 70 sporgasser og 150 kjemiske reaksjoner), utvasking i nedbør, tørravsetning osv. WRF-EMEP-systemet er en videreutviklet versjon av EMEP-modellen, som har dannet basis for FNs internasjonale utslippsavtaler og langtransportkonvensjonen.

I denne rapporten er det ikke gjort nye modellberegninger. Gitt at Johan Castberg ligger i et område med sammenlignbare forhold (arktisk atmosfære, arktisk hav, polarnatt om vinteren, midnattssol om sommeren) kan det forventes tilnærmet samme kjemiske regime og samme spredningsforhold som i tidligere studier. Slik sett er det faglig sett forsvarlig å bygge på tidligere resultater . Resultater fra WRF-EMEP-beregningene for Barentshavet Sør er derfor vurdert og analysert for å kvantifisere miljøeffekten av en utbygging på Johan Castberg-feltet.

Vurdering av miljøkonsekvenser er gjort for utslipp av karbondioksid (CO_2), metan (CH_4), nitrogenoksider (NO_x), svoveloksider (SO_x), hydrokarboner unntatt metan (NMVOC) og BC (Black Carbon). Først gis bakgrunnsinformasjon om komponentene som vurderes (kilder/sluk, utslippsmengder, egenskaper). Dernest diskuteres de estimerte utslippene som er brukt i denne studien. Så beskrives hvilke miljøeffekter som er relevant for de forskjellige komponentene; klimagassene CO_2 og CH_4 samt NMVOC, og videre miljøpåvirkningen av NO_X og SO_X, inkludert bidraget til eutrofiering og forsuring og muligheten for dannelse av ozon (O_3). Betydningen av BC og partikler i Arktis blir grundig diskutert. Begrepene forsuring, eutrofiering, eksisterende bakgrunnsnivå og tålegrenser vil bli forklart.

2 Bakgrunnskonsentrasjoner, utslipp og tålegrenser

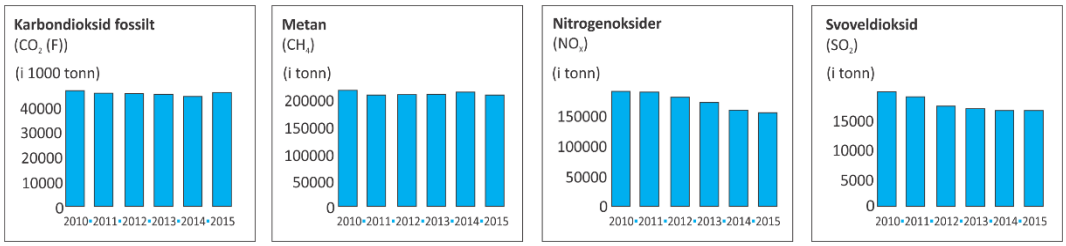
2.1 Generelt om komponentene som vurderes i denne studien

2.1.1 Karbondioksid (CO_2)

CO_2 dannes ved forbrenning og nedbrytning av biologisk materiale, respirasjon (pusting) og ved oksidasjon av CH_4 og høyerestående hydrokarboner (se Vedlegg A for utfyllende informasjon). CO_2 tapes ved fotosyntese i planter og opptak i havet, og det er intet kjemisk tap av CO_2 i atmosfæren. Blandingsforholdet av CO_2 i atmosfæren er nå omlag 400 ppm[1] med en sesongvariasjon rundt 2-3 ppm. Minimum opptrer på sommerhalvkulen (grunnet økt tap ved fotosyntese) og maksimum på vinterhalvkulen (grunnet økte kilder ved forbrenning og mindre fotosyntese). Nivået av CO_2 er stigende grunnet menneskeskapte utslipp (eks IPCC, 2013).

CO_2 er en klimagass og absorberer utgående langbølget stråling i spektrene rundt 15 - 20 µm og 4 - 4,5 µm. Økning i CO_2-konsentrasjon gir derved økning i drivhuseffekt og globale klimaendringer. Økningen i CO_2-nivået i industriell tid har gitt et ekstra strålingspådriv lik 1,68 W/m^2 (IPCC, 2013). Likeledes har pH i overflatelaget i havet sunket med 0,1 enheter siden før-industriell tid (også IPCC, 2013).

Globale menneskeskapte utslipp av CO_2 er rundt 37 gigatonn CO_2 pr år, dvs. 37 milliarder tonn, eller $3{,}7 \times 10^{16}$ g (IPCC, 2013). De menneskeskapte utslippene utgjør om lag 5 prosent av det naturlige karbonkretsløpet, men menneskeskapte utslipp fører til at likevekten/balansen i atmosfæren forrykkes. Samlede norske utslipp av fossilt CO_2 (CO2(F)) er 40 mill. tonn (Figur 4), dvs. 4×10^{13} g, omlag 1‰ av samlede menneskeskapte utslipp.

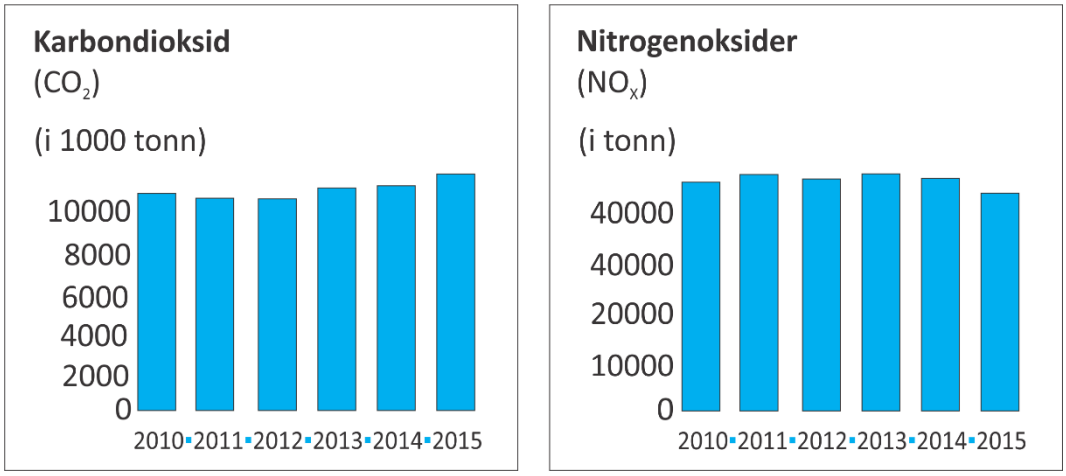


Figur 4: Totale utslipp og trender av CO_2, CH_4, NO_x og SO_2 i Norge 2010 – 2015. Kilde: Norske utslipp, se www.norskeutslipp.no [URL 08-04-2017].

Utslipp av CO_2 fra Johan Castberg skyldes hovedsakelig bruk av gassturbiner til energiproduksjon. Energibehovet er først og fremst generert av behovet for vann- og gassinjeksjon for å øke utvinningsgraden for reservoaret, samt energien som trengs for oppvarming av brønnstrømmen og innretningen.

[1] ppm: parts per million, dvs. milliond'tedele, 1 / 1 000 000.

Av Norges utslipp står petroleumsvirksomhet til havs for omlag 11,6 mill. tonn CO_2(F) (Figur 5) fotnote [2], dvs. 25% av samlede norske utslipp (tall oppdatert pr 2015). De 10 største enkeltkildene innen petroleumsvirksomhet til havs er listet opp i Tabell 1. Innenfor landbasert industri er de tre største enkeltkildene også innenfor petroleumsvirksomhet (Tabell 2). Den største enkeltkilden innen petroleumsvirksomhet til havs er Åsgard (årlige utslipp 1,02 millioner tonn CO_2, Tabell 1) og på land Statoil Refining Norway (dvs Mongstad, årlige utslipp 2,13 millioner tonn, Tabell 2).



Figur 5: Totale utslipp og trender av CO_2 og NO_X fra petroleumsvirksomhet til havs i Norge 2010 – 2015. Kilde: Norske utslipp, se www.norskeutslipp.no [URL 08-04-2017].

Tabell 1: De 10 største utslippskildene av CO_2 fra petroleumsvirksomhet til havs i Norge i 2015 (gitt i 1000 tonn). Kilde: Norske utslipp, se www.norskeutslipp.no [URL 08-04-2017]

Virksomhet	Utslipp til luft
Åsgard (Statoil petroleum AS)	1 021
Gullfaks (Statoil petroleum AS)	908
Oseberg (Statoil petroleum AS)	889
Statfjord (Statoil petroleum AS)	855
Troll (Statoil asa)	719
Ekofisk (Conocophillips Skandinavia AS)	669
Sleipner øst (Statoil petroleum AS)	497
Snorre (Statoil petroleum AS)	491
Knarr (A/S Norske Shell)	389
Norne (Statoil petroleum AS)	370

[2] CO_2(F) betegner CO_2 som stammer fra bruk av fossile brensler, se http://www.norskeutslipp.no/no/Komponenter/Utslipp/Karbondioksid-fossilt/?ComponentType=utslipp&ComponentPageID=180&SectorID=90 [URL 08-05-2017]

Tabell 2: De ti største utslippskildene av CO_2 fra landbasert industri i Norge i 2015 (gitt i 1000 tonn). Kilde: Norske utslipp, se www.norskeutslipp.no[3] [URL 08-04-2017].

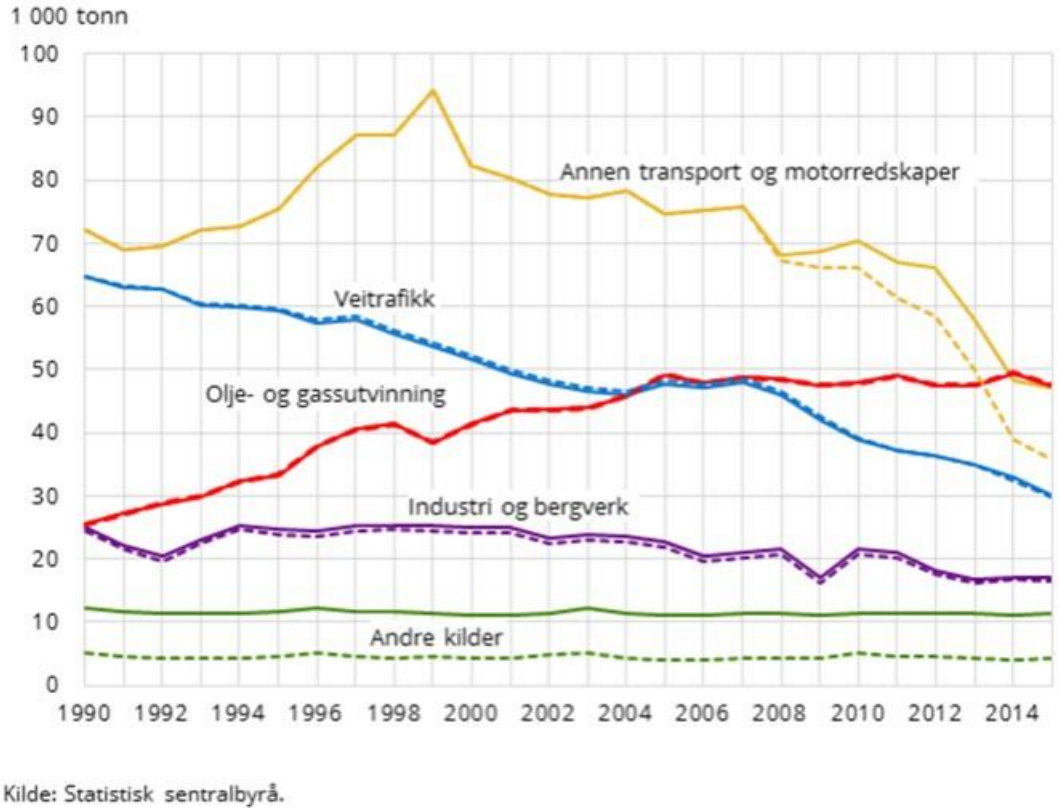
Virksomhet	Utslipp til luft
Statoil Refining Norway	2 130
Gassco Kårstø	1 156
Hammerfest LNG	1 024
Yara Norge, Yara Porsgrunn	805
Norcem Brevik	744
Hydro Aluminium, Sunndal	609
Noretyl AS	464
Alcoa Mosjøen	372,
Statoil ASA Tjeldbergodden Metanolfabrikk	336
Esso Norge, Slagentangen	328

For CO_2 er det viktig å skille mellom levetid og oppholdstid. Levetid er definert som tiden det tar å redusere en gitt (ekstra) konsentrasjon til 37% av den opprinnelige (dvs e^{-1} hvor e er eksponentialfunksjonen, dvs den inverse funksjon til logaritmefunksjonen, dette kan vises ved utledning av massebalanseligningen), mens oppholdstiden er definert som den tid et molekyl forblir i atmosfæren inntil det tapes. Levetiden for CO_2 er anslagsvis 100 år, mens oppholdstid for et CO_2-molekyl atmosfæren er rundt 7-9 år (Jacob, 1999). For å forklare nærmere; som et tenkt eksperiment slipper man ut 1 million tonn CO_2. Dette ekstra utslippet blander seg med CO_2 som allerede er i atmosfæren. Etter 7-9 år vil de fleste av molekylene man slapp ut være tapt ved opptak i planter (fotosyntese). Det er få eller ingen av de opprinnelige molekylene igjen i lufta. Men økningen i atmosfærens CO_2-konsentrasjon forårsaket av det ekstra utslippet vil vedvare og det ekstra bidraget til konsentrasjonen vil være redusert til 37% av det opprinnelige etter anslagsvis 100 år.

2.1.2 Nitrogenoksider (NO_x)

NO_X ($NO + NO_2$) dannes ved forbrenning ved høy temperatur. Luft består av 78% molekylært nitrogen, N_2, der bindingen mellom nitrogenatomene N-N er meget sterk. Høy temperatur/mye energi kan bryte opp denne bindingen og NO_X dannes. Mesteparten av NO_X slippes ut i form av NO (~90-95% avhengig av kildetype), mens det resterende slippes ut som NO_2. Samlede utslipp av NO_X i Norge i 2015 var 153 000 tonn (Tabell 3, se også Figur 5 for trender). Figur 6 viser kildefordeling av NO_X fra 1990-2015 i Norge. Utslippene fra kategorien annen transport og motorredskaper er tradisjonelt største kilde. Olje- og gassutvinning er nest største kilde, om lag 50 000 tonn pr år og disse utslippene har vært tilnærmet stabile siden 2005 (energibehovet har gått opp, men nye anlegg har turbiner med lav-NO_X teknologi). Utslippene både fra annen transport og motorredskaper og veitrafikk (tredje største kilde) er redusert de senere årene, hovedsakelig pga. teknologiforbedringer som følge av skjerpede utslippskrav. Gitt nedgangen i andre kilder medfører dette at den relative andelen NO_X fra olje- og gassutvinning har økt de senere årene. De viktigste naturlige kildene til NO_X er lyn og utslipp fra jord. NO_2 er en giftig gass og det er derfor etablert strenge luftkvalitetskrav og grenseverdier.

[3] Full nettadresse: http://www.norskeutslipp.no/no/Komponenter/Utslipp/Karbondioksid-fossilt/?ComponentType=utslipp&ComponentPageID=180&SectorID=600# [URL 08-04-2017].



Figur 6: Utslipp av NO_x etter kilde i perioden 1990 – 2015. Nye beregninger viser for perioden 1990 – 2015 viser større utslipp enn tidligere anslått. Stiplet linje viser utslipp ved gammel metode. Kilde: Statistisk sentralbyrå, se http://www.ssb.no/agassn [URL 08-04-2017].

Mesteparten av NO_x tapes fra atmosfæren ved at det går over til HNO_3/NO_3^-, men noe avsettes også direkte på bakken i form av NO_2 og utgjør en del av den samlede N-avsetningen. HNO_3 er svært vannløselig og tapes ved våtavsetning i nedbør. Løst i vann bidrar HNO_3 til forsuring av nedbør og vassdrag. Nitrogen fungerer som gjødsel, planter og alger trenger nitrogen for å vokse, men for mye nitrogen kan virke skadelig og bl.a. forskyve artssammensetningen mot arter som tåler høy nitrogenbelastning. NO_x er også viktig med tanke på ozon (O_3). Reaksjoner mellom NO_x og hydrokarboner med sollys tilstede gir dannelse av ozon (Vedlegg A). Ozon er svært reaktivt og er skadelig for planter og dyr ved tilstrekkelige doser.

Levetiden for NO_x i atmosfæren er typisk en dag. I polarnatten er levetiden lenger (fravær av sollys og OH). Da er reaksjon med O_3 og dannelse av HNO_3 på partikler en viktig tapsvei (se Vedlegg A for detaljer). Levetiden for HNO_3 avhenger av nedbøren, men er i størrelsesorden noen dager.

Tabell 3: Totale utslipp av forsurende gasser og ozonforløpere, år 2015. Kilde: Statistisk sentralbyrå, se http://www.ssb.no/agassn [URL 08-04-2017].

Utslipp av NOX, SO2, NH3, NMVOC og CO. 1 000 tonn [1]

	2015	Endring i prosent	
		Siden 1990	2014 - 2015
Nitrogenoksid (NOX)	153	-23,4	-3,7
Svoveldioksid (SO2)	16	-68,7	-0,9
Ammoniakk (NH3)	27	12,3	0,5
Flyktige organiske forbindelser (NMVOC)	157	-48,0	-1,0
Karbonmonoksid (CO)	385	-53,4	1,5

[1] Omfatter ikke utenriks sjø- og luftfart.

2.1.3 Svoveloksider (SO_x)

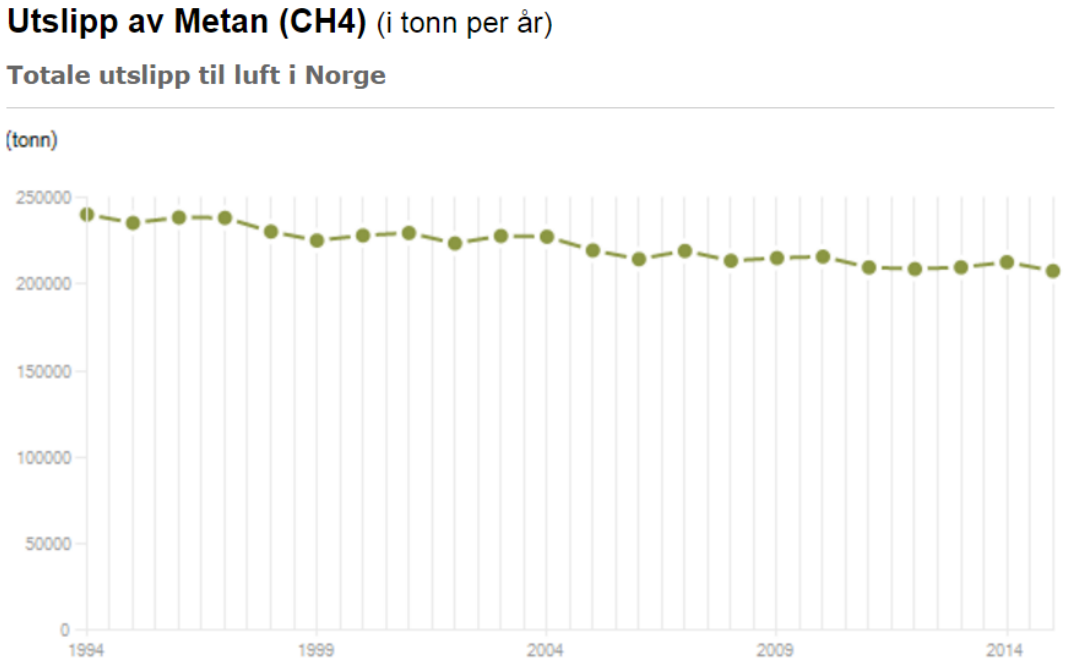
Med SO_x menes her mesteparten SO_2 pluss noe sulfat [SO_4^{2-}]. Industri (bl.a. smelteverk) har vært blant de største antropogene (menneskeskapte) kildene av SO_2, skipsfart er en annen stor kilde. De antropogene utslippene av svovel er sterkt redusert i Europa de senere år pga. rensetiltak. Angående naturlige utslipp er vulkaner en viktig svovelkilde, samt DMS (dimetylsulfid, CH_3SCH_3) som stammer fra alger i havet. På global skala har sulfatpartikler betydning for jordas strålingsbalanse og klima, men for denne studien er svovel viktig med tanke på sur nedbør (svoveloksider løst i vann som H_2SO_4) som bidrar til forsuring av jord og vann. Sur nedbør er mindre kritisk i Norge i dag enn det var tidligere.

Levetiden for SO_2 i atmosfæren er typisk en dag, noe lenger i polarnatten. Levetiden for H_2SO_4 avhenger av nedbørmengde, men er i størrelsesorden noen dager.

2.1.4 Metan (CH_4)

Metan dannes hovedsakelig ved nedbrytning av organisk materiale uten oksygen tilstede (anaerob nedbrytning). Med oksygen tilstede blir sluttproduktet CO_2. De viktigste naturlige kildene er våtmarker og hav, mens menneskeskapte kilder inkluderer gassproduksjon og kullgruver, drøvtyggere, rismarker, biomassebrenning og søppeldynger (Flatlandsmo, 1997). Metan er også en klimagass som absorberer utgående langbølget stråling i spektre rundt 3,8 µm og 7,6 µm. Som klimagass er metan 23 ganger sterkere enn CO_2 i et 100 års perspektiv (GWP 23). Metan tapes ved reaksjon med OH (som kun dannes med sollys tilstede).

Estimert levetid for CH_4 i atmosfæren er 8-10 år. Totale norske utslipp er omlag 210 000 tonn pr år (Figur 7).



Figur 7: Totale utslipp og trend i utslipp av metan i Norge. Kilde: Norske utslipp, se www.norskeutslipp.no [URL 08-04-2017] [4]

2.1.5 NMVOC (non-methane volatile organic compounds)

Dette er en stor gruppe gasser som også blir kalt flyktige hydrokarboner (VOC: «volatile organic compounds» – flyktige organiske forbindelser). Som navnet sier består de av hydrogen (H) og karbon (C), i tillegg kan de inneholde for eksempel oksygen (O). Enkleste hydrokarbonet i atmosfæren er metan (CH_4, ikke inkludert i NMVOC). Det finnes et stort antall mer eller mindre kompliserte hydrokarboner. Det er store naturlige utslipp av hydrokarboner, bl.a. fra vegetasjon, slik at det er et naturlig bakgrunnsnivå. Mesteparten av hydrokarbonene vil oksideres/brytes ned og ende opp som CO_2. I denne oksidasjonen kan det dannes ozon hvis det er tilstrekkelig NO_x tilstede i tillegg til sollys. Levetiden for hydrokarboner i atmosfæren varierer, fra ~10 år for metan og nedover til noen timer for de mest reaktive. Større og tyngre molekyler vil generelt ha kortere levetid. Kildesammensetningen er viktig for hvilken påvirkning gassene har på den øvrige atmosfærekjemien. Lasting, lagring og avdamping av naturgass inneholder hovedsakelig lette alkaner som er relativt sett mindre reaktive og dermed mindre «ozon-potente» på kort skala, dvs. at eventuelt bidrag til ozondannelse og annen påvirkning på kjemien vil ta lenger tid og derved fortynnes mer i atmosfæren. NMVOC-utslipp fra forbrenningsmotorer (skipstrafikk, turbiner osv.) vil derimot gi en større andel reaktive hydrokarboner (aromatiske forbindelser, tyngre alkaner osv.) som er atskillig mer effektive til å danne ozon og påvirke atmosfærekjemien på kortere skala.

[4] http://www.norskeutslipp.no/no/Komponenter/Utslipp/Metan/?ComponentType=utslipp&ComponentPageID=55&SectorID=90 [URL 08-04-2017]

2.1.6 Ozon (O_3)

Bakkenært ozon stammer fra fotokjemiske reaksjoner mellom flyktige organiske forbindelser (VOCer,) og nitrogenoksider (NO_x) under påvirkning av kortbølget solstråling. Noe ozon kommer også fra stratosfæren som følge av nedblanding. I Skandinavia varierer bakgrunnsnivået av bakkenært ozon mellom 40 og 80 $\mu g/m^3$ gjennom året og er vanligvis høyest om våren. Bakgrunnsnivået av ozon er adskillig nærmere grenseverdiene for effekter på helse og vegetasjon enn for de fleste andre luftforurensninger. Episoder med forhøyede ozonkonsentrasjoner i Norge er gjerne knyttet til høytrykksituasjoner over kontinentet i sommerhalvåret med transport av forurensede luftmasser nordover mot Skandinavia.

Ozon er en meget reaktiv gass som skader cellene når den tas opp i biologisk materiale (dyr og planter). Den har negative virkninger på helse og vegetasjon, men også en korrosiv/nedbrytende virkning på materialer. Helsevirkningene gjelder særlig for astmatikere og andre med kroniske luftveislidelser. Virkninger på vegetasjon gjelder særlig for nyttevekster som grønnsaker og korn. Ved langvarig eksponering er det påvist negative virkninger på skog. Materialer som gummi og andre polymerforbindelser kan også skades av ozon.

2.1.7 Black Carbon (BC)

Black carbon (forkortet BC) er et uttrykk som brukes om den karbonholdige lysabsorberende delen av partikler. Terminologien for slike partikler er forvirrende og som regel knyttet til hvilket måleprinsipp som anvendes, og i dagligtale omtales gjerne BC som sot, selv om dette er en betydelig forenkling. I denne rapporten benyttes uttrykket Black Carbon eller BC siden dette anvendes i internasjonal forskningslitteratur og er et etablert begrep.

BC dannes hovedsakelig ved ufullstendig forbrenning. Utslipp av BC fra Johan Castberg vil forekomme ved fakling, dvs. episoder der overskytende gass brennes. Fakling benyttes som en nødprosedyre når anlegget skal tømmes for gass ved rask nedstengning. Dette er en del av sikkerhetssystemet og kan forekomme i hele anleggets driftsperiode. Men fakling skjer også i perioder når gassinjeksjonssystemet er ute av drift. Dette forekommer spesielt i anleggs- og oppstartsfasen av prosjektet når det måtte oppstå problemer med gassinjektorene før anlegget er godt innkjørt. BC fra fakling oppstår altså fordi forbrenningen i flammen er ufullstendig. Ved god forbrenning med nok oksygen tilstede dannes hovedsakelig CO_2 og vann (H_2O). Ved ufullstendig forbrenning dannes karbonpartikler. Et viktig poeng ved fakling av gass er hvor ”lett” eller ”tung” gassen som fakles er. Ved fakling av lett gass (slik som vil være tilfelle for Johan Castberg), dvs. gass med få karbonatomer pr molekyl (eksempelvis etan, propan), vil forholdet mellom karbonatomer i gassen / oksygen i luften være lite. Sagt med andre ord; det vil være nok oksygen tilstede for å gi fullstendig forbrenning. Ved fakling av tung gass, dvs. gass med lange karbonkjeder vil forholdet karbon/oksygen være stort. Da vil det ikke være nok oksygen til alle karbonatomer for å danne CO_2 og ufullstendig forbrenning oppstår.

De totale årlige utslippene av sot i Norge er omlag 4000 tonn hvorav vedfyring er største kilde [5] (merk at norske myndigheter bruker betegnelsen «sot» og ikke «Black Carbon/BC», jfr

[5] http://www.miljostatus.no/tema/klima/norske-klimagassutslipp/utslipp-av-sot-i-norge/ [URL 08-04-2017]

betraktning først i dette kapitlet). Olje og gassutvinning stod for om lag 17 % av totalutslippene i 2013 (643 av totalt 3759 tonn, kilde: Miljøstatus Norge, se fotnote for nettadressen).

2.2 Maksimale utslipp for Johan Castberg brukt i denne studien og estimerte utslipp over levetiden

Alle oppdaterte estimater for utslipp er oppgitt av Statoil. Det er estimert og beregnet utslipp for sju ulike komponenter (CO_2, CH_4, NO_x, SO_x, NMVOC, PM_{10} og BC). De ulike komponentene har litt ulik utslippsprofil siden de stammer fra ulike prosesser. Oversikt over de ulike kildene og prosessene er gitt i Tabell 4.

Tabell 4: Kilder til utslipp, tidshorisont og komponenter som slippes ut. Kilde: Statoil

Prosess	Tidshorisont	Komponenter
Kraftgenerering på FPSO	4.kv 2022 → 2052	CO_2, NO_x, CH_4
Boring	2019-2024 (tilsammen 5 år)	NO_x, SO_x, NMVOC
Fakkel	Spesielt i starten	CO_2, PM_{10} og BC
Diffuse utslipp fra FPSO	4.kv 2022 → 2052	CH_4
Marine operasjoner	Spesielt 2019-2022	CO_2 , NO_x, SO_x
Diesel på FPSO	4.kv 2022 → 2052	Små utslipp
Helikopter og forsyningsfartøy	4.kv 2022 → 2052	SO_x og NO_x
Oljetankere, Lasting	4.kv 2022 → 2052	NMVOC, CH_4

De ulike komponentene har litt ulik tidsprofil avhengig av hvilken prosess som er opphav til de ulike utslippene og i hvilken fase av prosjektet det er størst utslipp (boring, installasjon, oppstart og produksjon).

For CO_2, CH_4 og NMVOC er det små utslipp fra første år som stiger raskt og når et maksimum de første årene av regulær produksjon og som så synker langsomt ettersom oljeproduksjon og gassinjeksjon avtar. For NO_x og SO_x er det størst utslipp i konstruksjons- og oppstartsfasen når det ligger borerigg på feltet (2019-2024), men så er det kraftgenerering som bidrar mest til utslippene og dermed synker utslippene utover i produksjonsperioden. For BC er det også størst utslipp i konstruksjons- og oppstartsfasen siden det antas at regularitetsproblemene vil være størst på anlegget før det er godt innkjørt, og slike problemer med utstyr og anlegg vil gi mer fakling enn ved stabil produksjon senere i produksjonsperioden.

Gitt de ulike utslippsprofilene er det ikke et enkeltstående år med maksimale utslipp for alle komponentene. For å vurdere miljøkonsekvensene av utslippene er maksimumsverdiene for de ulike komponentene valgt (selv om de ikke gjelder samme år). Dette fordi de representerer den maksimale forventede miljøbelastningen fra Johan Castberg. Utslippstall brukt i denne studien er vist i Tabell 5.

For BC-utslipp er det antatt utslippsfaktorer på 0,856 g PM_{10}/Sm^3 (Sm^3 betegner standard kubikkmeter). Tidligere har NILU gjort vurderinger av faklingsepisoder ved Melkøya (Dag Tønnesen, upublisert arbeide) og Kollsnes (Berglen og Tønnesen, 2009). I sistnevnte studie om en hendelse 19. mai 2009 ble det brukt utslippsfaktorer fra Melkøya som viste at sotmengden varierte mellom 4,4 g sot/Sm^3 og 18,8 g sot/Sm^3 (beregninger kommunisert av Asgeir Løvås,

StatoilHydro). I snitt ble det produsert 7,2 g sot/Sm^3 fakkelgass. Tallene brukt for Melkøya er nesten en faktor 10 høyere enn utslippsfaktorene brukt for Johan Castberg. En viktig forklaring på denne forskjellen er at det på Melkøya var tekniske utfordringer og ukontrollert fakling av hele produksjonen av gass og kondensat fra havbunnsbrønnene (tyngre forbindelser), mens kontrollert fakling av gass separert fra oljen på Johan Castberg vil gi mindre utslippsmengde pr mengde fakkelgass som blir brent. Se ellers utdypende forklaring i foregående kapittel om dannelse og utslipp av BC (kap 2.1.7 på s. 16).

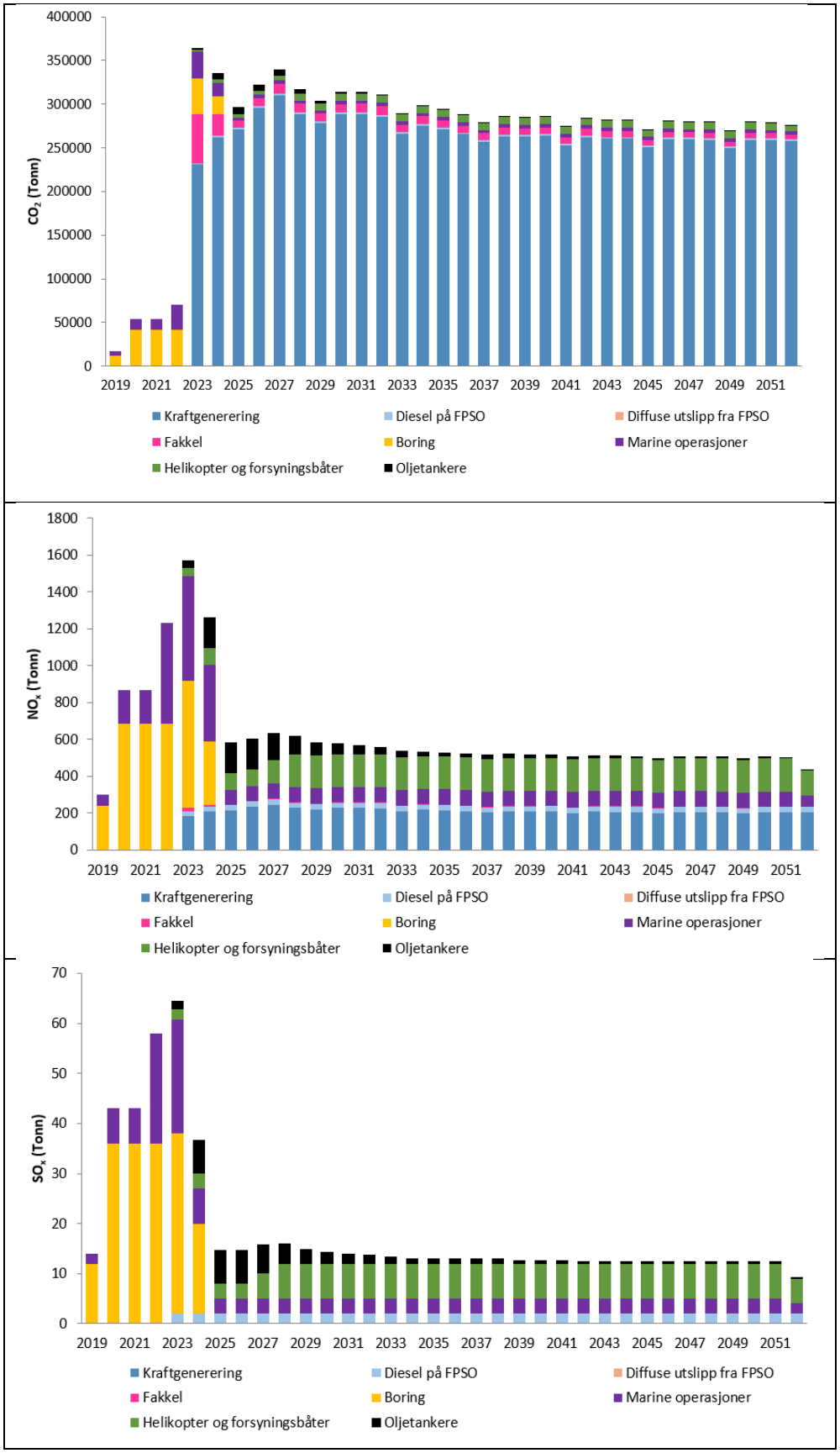
Tabell 5: Maksimale utslipp til luft av komponentene som er vurdert i denne studien. Kilde: Statoil.

Komponent	Utslipp (tonn)	År
CO_2	363 813	2023
NO_x	1 571	2023
SO_x	65	2023
CH_4 fotnote 1	194	2027
NMVOC fotnote 1	353	2023
PM_{10} fotnote 2	12,7	2023
BC fotnote 2	10,2	2023

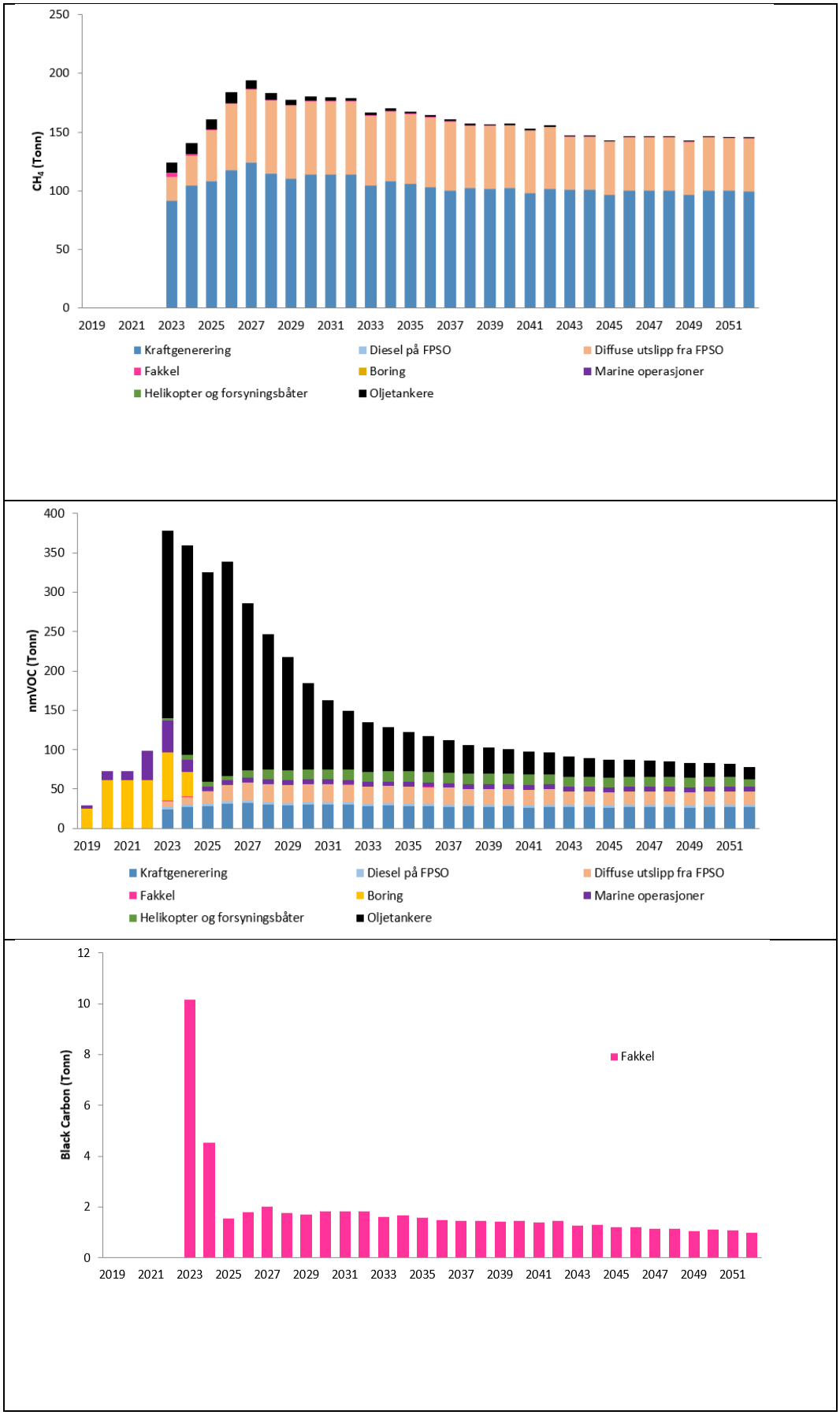
1)Det vil være gjenvinning av metan og NMVOC på FPSO og gjenvinning av NMVOC på skytteltankere.
2) Utslipp av PM_{10} og BC er basert på totalt faklet volum 14,9 mill Sm^3 i 2023, utslippsfaktor 0,856 g PM_{10}/Sm^3 og antagelsen om at BC utgjør 80% av PM_{10}.

Hvis man sammenligner de maksimale utslippene i Tabell 5 med de største utslippskildene fra petroleumsvirksomhet til havs i Norge i 2015 (de 10 største er vist i Tabell 1) så ville 363 813 tonn CO_2 fra Johan Castberg gitt en 12. plass på listen. Videre ville 1571 tonn NO_x gitt en 8. plass, 65 tonn SO_x ville gitt en 3. plass og 194 tonn CH_4 ville gitt en 25. plass på listene for 2015 (lister ikke vist her, se www.norskeutslipp.no for fullstendige tabeller over de største utslippskildene i Norge). For de øvrige komponentene: NMVOC er delt opp på mange ulike komponenter i norskeutslipp-databasen og vanskelig å sammenligne, mens PM_{10} og BC ikke er gitt. Disse tallene indikerer at Johan Castberg vil bli et mellomstort felt i norsk sammenheng mtp utslipp til luft.

Figur 8 viser utvikling av CO_2, NO_x, SO_x, CH_4, NMVOC og BC over feltets levetid. Fordelingen viser hvordan de ulike komponentene har ulik tidsprofil, enkelte har størst utslipp i konstruksjons- og oppstartsfasen (eks NO_x), mens andre har størst utslipp i driftsfasen (CO_2).



Figur 8: Estimerte utslipp av CO_2 (øverst), NO_x (2. linje etc.), SO_x, CH_4, NMVOC og BC (neste side) over


CH4 (Tonn)
250
200
150
100
50
0
2019 2021 2023 2025 2027 2029 2031 2033 2035 2037 2039 2041 2043 2045 2047 2049 2051
Kraftgenerering
Diesel på FPSO
Diffuse utslipp fra FPSO
Fakkel
Boring
Marine operasjoner
Helikopter og forsyningsbåter
Oljetankere
nmVOC (Tonn)
400
350
300
250
200
150
100
50
0
2019 2021 2023 2025 2027 2029 2031 2033 2035 2037 2039 2041 2043 2045 2047 2049 2051
Kraftgenerering
Diesel på FPSO
Diffuse utslipp fra FPSO
Fakkel
Boring
Marine operasjoner
Helikopter og forsyningsbåter
Oljetankere
Black Carbon (Tonn)
12
10
8
6
4
2
0
2019 2021 2023 2025 2027 2029 2031 2033 2035 2037 2039 2041 2043 2045 2047 2049 2051
Fakkel

Figur forts.

2.3 På hvilken måte representerer gassene som slippes ut et miljøproblem?

I denne studien er utslipp av CO_2, NO_x, SO_x, CH_4, NMVOC og BC vurdert. I tillegg diskuteres ozon siden utslipp av NO_x pluss hydrokarboner og sollys gir dannelse av ozon nedstrøms av utslippet (se kap. 2.1 og Vedlegg A).

Klimagassene CO_2 og CH_4, samt NMVOC

CO_2 og CH_4 er klimagasser, dvs. de absorberer utgående langbølget stråling og bidrar til drivhuseffekten (IPCC, 2013). Ekstra utslipp av klimagasser bidrar til økt drivhuseffekt og derved økt global, menneskeskapt oppvarming. Utslipp av NMVOC vil oksideres i atmosfæren i løpet av relativt kort tid og ende opp som CO_2. NMVOC kategoriseres derfor inn under klimagasser og utslippene vurderes i henhold til klimaeffekten av dets endeprodukt CO_2. Diffuse utslipp og lekkasjer av CH_4 og NMVOC kan representere et sikkerhetsproblem på installasjonene i det dette er brennbare gasser. Det er en problemstilling som ikke er relevant for denne studien og heller ikke omtalt her. Her vurderes kun miljøeffekten av utslippene.

CO_2 er ikke giftig, men kan være farlig ved høye konsentrasjoner. Det har vært rapportert tilfeller der CO_2 har oppført seg som tunggass ved utslipp fra punktkilder og spesielle meteorologiske forhold, dvs. ved kalde, rolige, vindstille og stabile forhold vinterstid. Igjen er dette en problemstilling som gjelder sikkerhet, ikke miljø. Derfor er dette ikke diskutert i denne rapporten. Dessuten er det mindre sannsynlig at slike spesielle meteorologiske forhold med strålingsavkjøling fra bakken vil opptre ute i havet.

NO_x

For NO_X er det tre relevante problemstillinger ang. miljø: eutrofiering, forsuring og dannelse av ozon. Eutrofiering betyr overgjødsling og tilførsel av ekstra nitrogen. Hovedtapsvei for NO_X er overgang til HNO_3 som er meget vannløselig. Løst i vann vil HNO_3 dissosiere fullstendig (H^+ + NO_3^-) og bidra til forsuring av vann og vassdrag. Siste effekt er dannelse av ozon ved fotokjemiske reaksjoner der NO_X, hydrokarboner og sollys inngår. NO_X-utslippene fra Johan Castberg vurderes opp mot alle disse tre problemstillingene.

Svovel (SO_x)

Når det gjelder utslipp av svovel er forsuringseffekten den mest relevante for denne studien. SO_2 oksideres til sulfat H_2SO_4 som er meget vannløselig og dissosieres fullstendig i vann (sterk syre) til $2H^+ + SO_4^{2-}$ og bidrar derved til forsuring.

Utslipp av svovel bidrar også til dannelse av partikler i atmosfæren, såkalte aerosoler, spesielt hvis SO_2 tapes i gassfase ved reaksjon med OH (Berglen et al., 2004). Disse aerosolene bidrar til avkjøling, dvs. motvirker oppvarmingseffekt forårsaket av klimagasser. Avkjølingseffekten er dog liten, samt at utslippene fra Johan Castberg er relativt små. Klimaeffekten av SO_x er derfor ikke vurdert i denne studien.

Black Carbon (BC)

Nedenstående beskrivelse gir et overblikk over relevante problemstillinger ang. BC, men også for andre partikler i Arktis. Beskrivelsen er også relevant for betydningen av generell storskala transport inn mot Arktis, samt innen Arktis. Slik sett er den også aktuell for andre

komponenter omtalt i denne studien. Se ellers Solberg et al (2012a) for ytterligere informasjon.

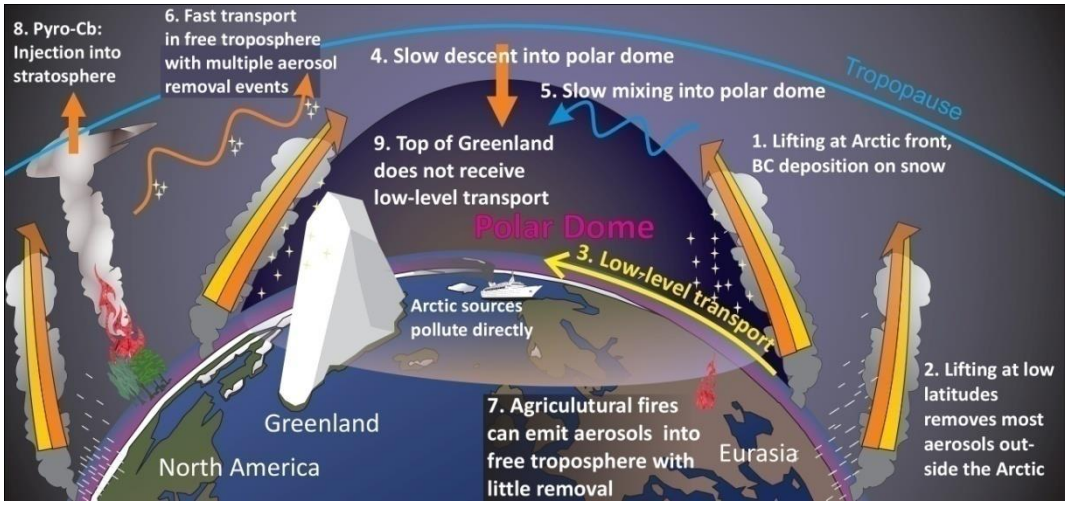
På 1950-tallet ble det rapportert om høye nivåer av partikler i atmosfæren i Arktis basert på observasjoner fra fly, og begrepet ”Arctic haze” ble lansert. Dataene og problemstillingene ble imidlertid liggende i rundt tjue år helt til observasjoner på 1970-tallet viste høye konsentrasjoner av sulfat, nitrat og partikler generelt i nordområdene. Gjennom 1970- og 1980-tallet økte oppmerksomheten om forurensninger i Arktis sterkt, og det første pan-arktiske måleprogrammet ble etablert på starten av 1980-tallet (Rahn og Heidam, 1981). Norge var en sentral aktør, spesielt gjennom arbeid på NILU og målinger ved Ny-Ålesund på Spitsbergen.

Forskningen viste at hele Arktis var utsatt for langtransporterte luftforurensninger, særlig fra utslipp som stammet fra det Eurasiske[6] kontinent. De første tiårene var det svovel og nitrogenforbindelser som var hovedfokuset, men etter hvert ble det klart at alle typer luftforurensninger, som PCB, hydrokarboner, BC, tungmetaller osv., ble fraktet med atmosfæren inn i Arktis. Samtidig viste målingene en svært markert sesongvariasjon. Konsentrasjonen av partikler var f.eks. 20-40 ganger høyere om vinteren enn om sommeren (Barrie, 1986).

Sesongvariasjonen og de høye nivåene om vinteren/våren kan forklares med de spesielle meteorologiske forholdene i Arktis. Vinterstid, i mangel av soloppvarming, kan atmosfæren i Arktis bli svært stabil, dvs. at den vertikale blandingen reduseres. Det arktiske grenselaget kan ligge som en kappe av tung, kald luft (”Arctic dome”) nær bakken, mens forurensningene fra utslippsområder i sør forenklet sett transporteres oppover langs skrå ”flater” og løftes over denne polkappen. I det såkalte BP-prosjektet viste Iversen og Joranger (1985) at transporten inn i Arktis skjer langs flater med konstant entropi (isentrope flater)[7]. Forurensningene i nord vil dermed vise en lagdelt vertikal struktur der høyden reflekterer luftmassenes opprinnelige temperatur ved bakken. Utslipp fra varme områder lengst sør (f.eks. i Asia) vil finnes igjen høyt oppe over Arktis, mens det bare er de nærmeste, kalde utslippsområdene, dvs. det nordlige Eurasia, som kan bidra til forurensninger ved overflaten i Arktis (Stohl et al., 2007). Figur 9 viser en skjematisk framstilling av transporten av forurensninger (BC-partikler) inn i Arktis.

[6] Eurasia betegner landmassene i Europa og Asia kombinert, dvs fra Atlanterhavet i vest til Stillehavet i øst, fra Nordishavet i nord til Middelhavet, Indiske Hav og Sør-Kinahavet i sør.

[7] Isentrope flater betegner flater med konstant potensiell temperatur θ. Potensiell temperatur er den temperaturen en luftpakke vil ha hvis den senkes adiabatisk til bakkenivå, dvs uten tap eller tilførsel av energi eller varme. Isentrope flater opptrer som fysiske flater i en stabil atmosfære og transport av luftmasser vil skje langs disse. En isentrop flate vil ha varierende avstand til bakken målt i meter.



Figur 9: Skjematisk framstilling av transporten (av BC) til Arktis (Stohl, 2006; AMAP, 2011). Tegningen er mest relevant for situasjonen om vinteren. Sommerstid er polkappen ("polar dome") mindre.

Samtidig er såkalte *blocking*-tilstander en av de viktigste mekanismene for transport fra nordlige utslippsområder inn i Arktis om vinteren. Vandrende lavtrykk i Nord-Atlanteren kombinert med et stabil "blokkerende" høytrykk over Russland/Sibir vil sette opp en luftstrøm fra Norden/Øst-Europa nordvestover inn i arktiske områder. Dette regnes som den viktigste transportveien inn i Arktis om vinteren. Dermed er Svalbard blant de arktiske områdene som er mest eksponert for langtransporterte luftforurensninger (Simoes et al., 2001). Trendstudier av Hole et al. (2008) viste at langtidsutviklingen i SO_2 og sulfat i Arktis er styrt av utslippstrenden i det nordlige Eurasia.

Den kjemiske nedbrytningen i atmosfæren er også redusert vinterstid, og spesielt i Arktis. Det er lite nedbør i Arktis om vinteren, og større områder kan nærmest ha "ørkentilstander". Utvasking av forurensninger i nedbør og skyer, som ellers er en av de viktigste tapsprosessene, blir dermed lite effektiv (Barrie og Platt, 1997). Levetiden av sulfat kan komme opp i to uker (Barrie, 1986), og transportstrekningen kan være flere tusen kilometer (Seinfeld og Pandis, 1998) vinterstid. Avsetning til underlaget ("tørravsetning") vil dessuten være lite effektiv over snø og is.

Uten solas UV-stråling vil dessuten konsentrasjonen av oksidanter (som OH) bli lav, og oksidasjonen og den fotokjemiske nedbrytningen av gasser som NO_x, SO_2 og hydrokarboner, skjer langsomt.

Lang kjemisk levetid kombinert med rask transport av utslippene fra Eurasia inn i Arktis, er årsaken til de høye nivåene som observeres i nordområdene i perioden desember-april. Den nordlige delen av Eurasia ligger da innenfor polkappen (nord for polarfronten). Om sommeren ligger polarfronten lenger nord, lavtrykkene er svakere, og transporten inn i Arktis er langsommere. Det er også lavere vertikal stabilitet, og konveksjon over åpent hav kan føre til vertikal blanding av luftmassene. I tillegg er den kjemiske levetiden kortere om sommeren. Tåke og lave skyer forekommer hyppig i Arktis, og utvasking av sulfat, nitrat og andre partikler i yr og regn er en effektiv tapsmekanisme (Barrie, 1986). Lange dager med solstråling øker hastigheten av de fotokjemiske reaksjonene i atmosfæren, og nedbrytningen av SO_2, NO_2 og NMVOC øker.

På 1970- og 1980-tallet var det SO_2/sulfat og NO_2/nitrat som var hovedtemaet for Arktis-forskningen, mens i senere år har bl.a. ozon (Solberg et al., 1996), kvikksølv (Berg et al., 2003) og BC-partikler (Stohl et al., 2007) blitt viktige forskningsfelter. Spesielt klimaeffekten av BC og andre partikler i Arktis har vært et sentralt forskningstema de siste årene (Skeie et al., 2011).

Arktis har en nøkkelrolle i spørsmålet om menneskeskapte klimaendringer. Det er her temperaturendringene er antatt å kunne bli størst, og det finnes viktige tilbakekoblingsmekanismer som kan forsterke klimaendringene. Konsekvensen av økt absorbsjon av solstråling gjennom redusert havisutbredelse er ett eksempel på en slik mekanisme som kan akselerere temperaturøkningen. Frigivelse av drivhusgassen metan fra smeltende permafrost et annet. Middeltemperaturen i Arktis har da også økt mer enn dobbelt så mye som den globale middeltemperaturen de siste 100 årene (AMAP, 2011).

Atmosfæriske partikler har betydning både for klima, lokal luftkvalitet og menneskers helse. Klimakonsekvensene ved bruk og utvinning av fossilt brensel i arktiske områder, er spesielt knyttet til sulfat og BC. Dette skyldes de lysabsorberende og/eller reflekterende egenskapene til partiklene.

BC-partikler kan påvirke strålingsbalansen og klimaet på tre måter (AMAP, 2011):

1. BC i luft absorberer solstråling effektivt og har dermed en direkte, oppvarmende effekt.
2. Avsetning av de mørke BC-partiklene på hvit snø/is vil føre til redusert bakkealbedo/refleksjon (mindre tilbakespredning av sollys) og dermed en indirekte oppvarming.
3. BC i luft kan fungere som kondensasjonskjerner og dermed føre til økt skydannelse, redusert størrelse på skydråpene og dermed en indirekte avkjølende effekt.

For punkt. 1 viser studier at effekten av BC er større jo lavere i atmosfæren partiklene befinner seg (Flanner, 2013). Likeledes er effekten av BC i atmosfæren størst på våren (april – mai) grunnet høy innstråling og stor bakkealbedo (også Flanner, 2013). Selv fakling der flammetemperatur er typisk rundt 800°C vil det termiske løftet være begrenset og utslipp av BC-partikler vil gi forhøyede konsentrasjoner i lavere lag av atmosfæren. Dette underbygges også av fenomenet med transport inn mot Arktis langs isentropflater (Iversen og Joranger, 1985) der utslipp langt nord vil ende opp lavere i atmosfæren enn utslipp lenger sør som transporteres inn i Arktis.

Sulfat vil på sin side reflektere, og ikke absorbere, solstrålingen og har dermed en direkte avkjølende effekt. I tillegg vil sulfat på samme måte som BC bidra til skydannelse og dermed i tillegg gi en indirekte avkjølende effekt (Ødemark et al., 2012).

For dagens situasjon er det utslipp fra husholdninger i Asia (Asian domestic emissions) som bidrar til størst oppvarming i Arktis etterfulgt av utslipp fra fakling i Russland (Sand et al, Nature Climate Change 2016, figur 1). Dette gjelder kortlivede klimadrivere sett under ett (short-lived climate forcers, SLCFer, dvs BC, SO_2, NO_x, VOC, OC [organisk karbon] og O_3).

Utslipp i Asia utgjør et langtransportert bidrag, mens russiske utslipp fra fakling i stor grad slippes ut nær og i Arktis.

Klimaeffekten av BC og andre partikler i Arktis kan være vanskelig å tallfeste. Dette skyldes at det er vanskelig beregne riktige konsentrasjonsnivåer av BC i Arktis med dagens modeller (AMAP, 2011). Derved blir også netto strålingseffekt, dvs. summen av de positive og negative direkte og indirekte effektene, en usikker størrelse. Dagens modeller indikerer imidlertid at strålingspådrivet (”radiative forcing”, enhet W/m^2) fra utslipp av BC øker jo lenger nord utslippet skjer. Dette illustreres best ved en såkalt normalisert strålingspådriv (enhet $W\ m^{-2}$ / Tg $år^{-1}$). Sagt på en annen måte, spørsmålet blir hvor stort strålingspådriv/strålingsøkning et visst utslipp vil gi avhengig av hvor det slippes ut. Beregninger viser at utslipp i Arktis vil gi et normalisert strålingspådriv nord for 60°N lik 0,38 $W\ m^{-2}$ / Tg $år^{-1}$, men et tilsvarende utslipp på midlere bredder vil gi et normalisert strålingspådriv lik 0,17 $W\ m^{-2}$ / Tg $år^{-1}$ (Sand et al., 2013).

Den tilhørende temperaturresponsen (enhet K, dvs grader Kelvin) grunnet økte utslipp i Arktis er også større for områdene i nord (nord for 60°N) enn for områder lengre sør. Følsomheten (enhet K / Tg $år^{-1}$) er beregnet til å være 0,24 K / Tg $år^{-1}$ for Arktiske utslipp og 0,05 K / Tg $år^{-1}$ for utslipp lenger sør (Sand et al., 2013). Regnet globalt er følsomheten hhv 0,03 K / Tg $år^{-1}$ og 0,01 K / Tg $år^{-1}$.

Nyere og mer detaljerte beregninger (Sand et al, Nature Climate Change 2016, figur 2) viser at følsomheten (K / Tg $år^{-1}$) er størst for utslipp fra russisk fakling (rundt 0,95 K / Tg $år^{-1}$ for BC hvor 0,2 K / Tg $år^{-1}$ skyldes direkte effekter av BC i atmosfæren og 0,75 K / Tg $år^{-1}$ skyldes avsetning på snø. Fakling i nordiske land gir en følsomhet fra utslipp av BC på i underkant av 0,4 K / Tg $år^{-1}$. Andre studier (Winiger et al., 2017) viser dog noe lavere bidrag fra fakling i Russland, avhengig om man snakker om russisk europeisk Arktis eller Sibir.

Uavhengig av beregningsmetode er hovedbudskapet at BC sluppet ut i og nær Arktis har større oppvarmingseffekt enn BC sluppet ut lenger sør. Typisk vil temperaturøkningen grunnet en bestemt mengde utslipp være 3-5 ganger større om utslippene skjer i Arktis enn om de skjer på sørligere breddegrader.

Johan Castberg-feltet ligger så langt nord at det vil være innenfor arktisk luft så og si hele året (innenfor polarkappen). Dvs. at utslippene fra feltet vil derfor regnes som arktiske utslipp. Samtidig vil luftstrømmer fra Norden/Øst-Europa som går nordvestover inn i Arktis, pga det nevnte blocking-fenomenet, typisk passere over Finnmark og bringe utslipp fra Johan Castberg videre nordover.

Nye utslipp av BC i selve Arktis (som Johan Castberg) vil derfor gi større effekt og ha større konsekvenser enn et tilsvarende utslipp fra felt lenger sør.

2.4 Forsuring og eutrofiering, eksisterende nivåer og tålegrenser

Forsuring betyr senkning av pH i vassdrag og innsjøer grunnet økning i sur nedbør[8]. Nedbør har en «naturlig» surhet rundt pH=5,6 pga. naturlig forekommende CO_2 i atmosfæren, men økt tilførsel av CO_2, SO_2 og NO_x gir økt konsentrasjon av $[H^+]$ og derved lavere pH i regnvann som i sin tur gir lavere pH i elver, innsjøer og jordsmonn.

Eutrofiering (overgjødsling) innebærer økt planteproduksjon forårsaket av økt tilførsel av næringssalter. Eutrofiering kan være et problem både for vegetasjon, ferskvannsøkosystemer og marine økosystemer. For vegetasjon og marine miljøer er eutrofiering hovedsakelig knyttet til økt tilførsel av nitrogen. I ferskvann er eutrofiering også forårsaket av økt tilførsel av fosfor.

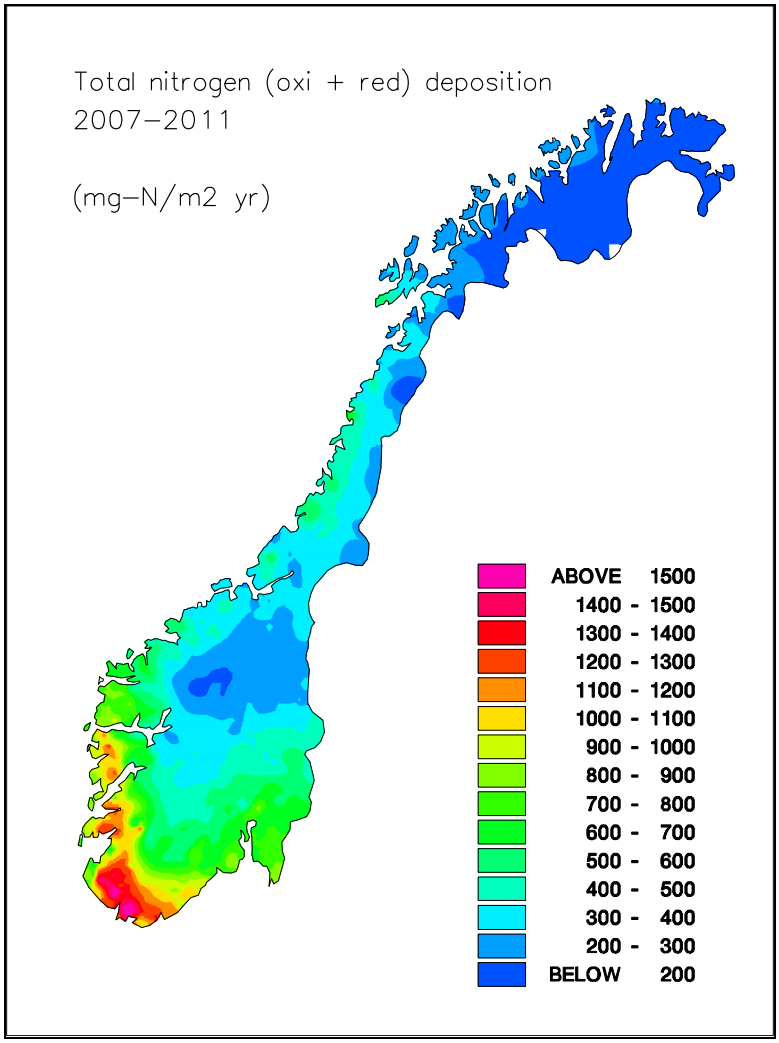
For denne studien er økt utslipp av NO_x med dertil økt avsetning av nitrogen mest relevant. En effekt av eutrofiering er fremvekst av arter som tåler mye nitrogen på bekostning av arter som tåler mindre nitrogen. Nitrogensterke arter fortrenger de nitrogensvake med tilhørende tap av biologisk mangfold.

For å vurdere økt avsetning fra petroleumsvirksomhet og dets mulige effekt på miljøet er det viktig å etablere to viktige begreper; eksisterende avsetning og naturens tålegrense. Med andre ord er det tre begreper som må sammenstilles, eksisterende avsetning, øket avsetning fra petroleumsvirksomhet og naturens evne til å tåle denne (økte) avsetningen.

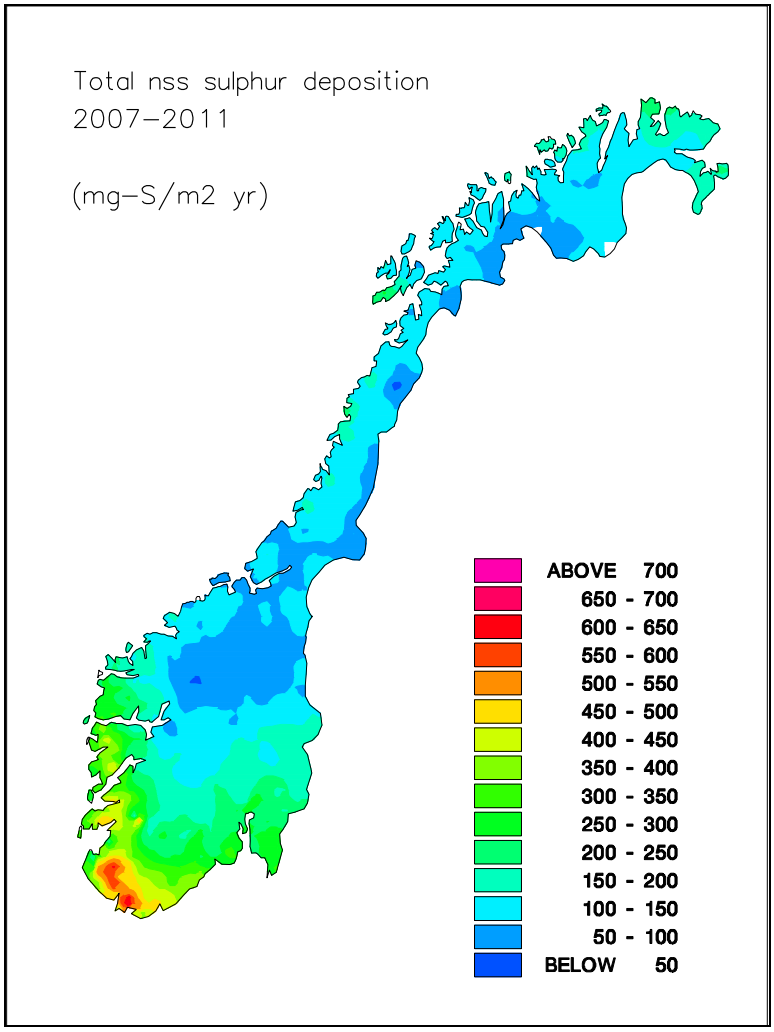
NILU har på oppdrag fra norske myndigheter gjort flere studier tidligere for å bestemme eksisterende avsetning av uorganiske komponenter i Norge. Siste studie er oppdatert med tall for årene 2007-2011 (Aas et al., 2012). Total avsetning av nitrogen er vist i Figur 10. De største verdiene sees på Sør-Vestlandet grunnet langtransportert forurensning fra Europa (opp mot 1500 mg N/(m^2 år)). Laveste verdier sees i Nord-Norge og spesielt Finnmark (avsetning under 200 mg N/(m^2 år).

Oppdatert avsetning av svovel er vist i Figur 11. Igjen er det Sør-Vestlandet som har de høyeste verdiene (opp mot 700 mg S/m^2 år) grunnet langtransportert forurensing. Nord-Norge har lave verdier med unntak av Øst-Finnmark hvor utslipp, transport og avsetning av svovel fra smelteverkene i N-V Russland gir forhøyede verdier, eksempelvis stasjonen i Karpbukt med avsetning lik 200-300 mg S/(m^2 år) (Berglen et al., 2016).

[8] pH er et mål på konsentrasjonen av H^+-ioner i vannet. Jo mer $[H^+]$, jo surere vann.



Figur 10: Total avsetning av nitrogen (oksidert + redusert) (mg N/m^2 år som årsmiddel for perioden 2007 - 2011. Kilde Aas et al., 2012.

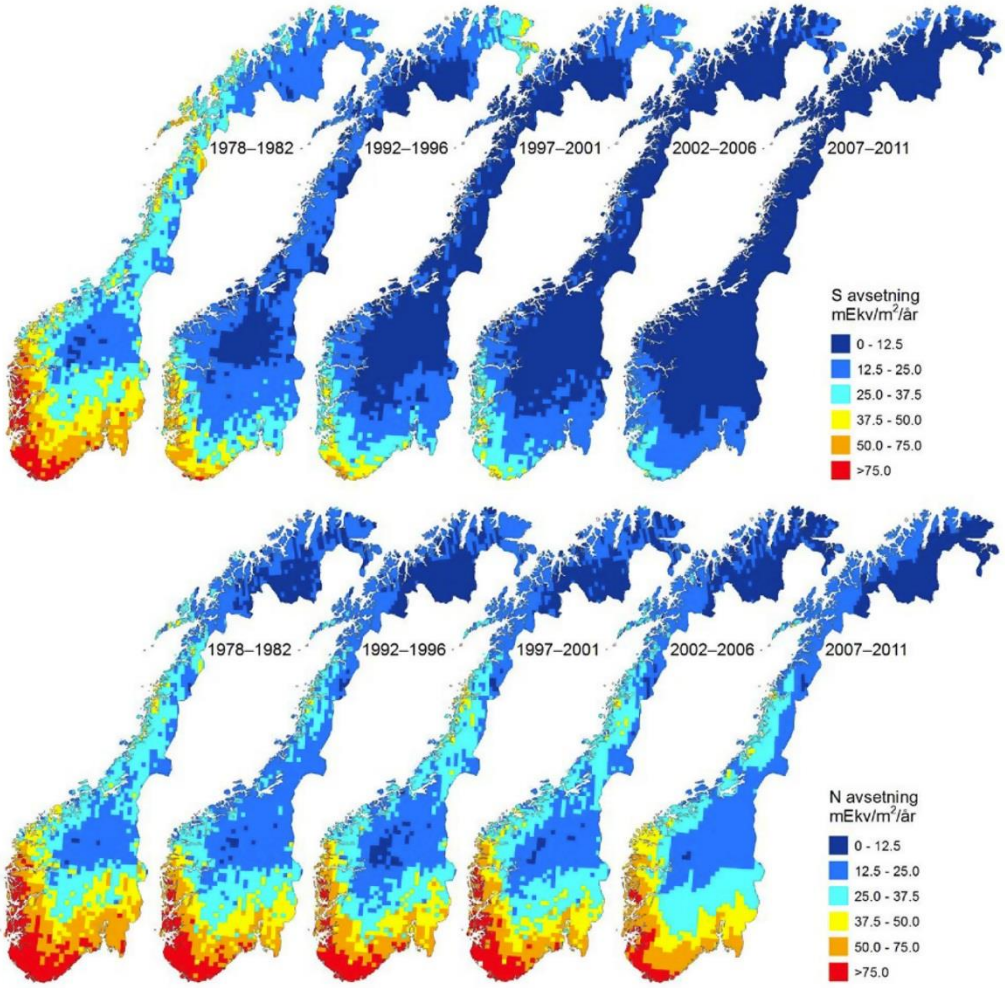


Figur 11: Total avsetning av svovel korrigert for sjøsalt (nss) som årsmiddel for perioden 2007 – 2011. Kilde Aas et al., 2012.

Naturens tålegrense er her definert som «et kvantitativt mål for tilførsel av forurensninger som, ut fra dagens viten, ikke fører til skadelige effekter på følsomme komponenter i økosystemet, slik som reduserte fiskebestander/fiskedød, skogskader/skogsdød og endringer i artssammensetning og mengde av arter» Nilsson og Grennfelt (1988). Tålegrensebegrepet kommer til anvendelse både når det gjelder forsuring og eutrofiering.

NIVA har på oppdrag fra norske myndigheter gjort flere studier tidligere for å bestemme overskridelser av tålegrenser for forsuring og nitrogen for Norge. Siste studie er oppdatert med tall for årene 2007-2011 (Lund et al., 2012). Total avsetning av svovel og nitrogen fra 1978 – 2011 er gitt i Figur 12. Merk at denne figuren bygger på de samme underlagsmaterialet som i Figur 10 og Figur 11, men er her omregnet til mEkv / (m^2 år). Utslipp av ulike forsurende stoffer kan sammenveies til syre-ekvivalenter ved hjelp av stoffenes forsurende effekt.

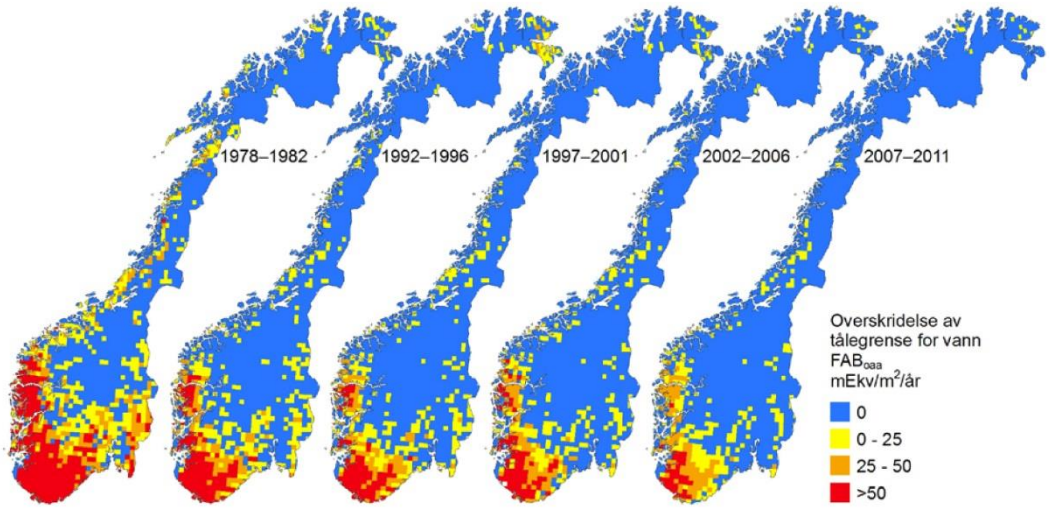
Se ellers studiene for Jan Mayen (Solberg et al., 2011a) og Barentshavet Sør (Solberg et al., 2011b) for utfyllende og mer detaljert informasjon.



Figur 12: Avsetning av svovel (over) og nitrogen (under) i fem perioder fra 1978 til 2011. Enhet : mEkv / (m2 år). Kilde: Lund et al., (2012).

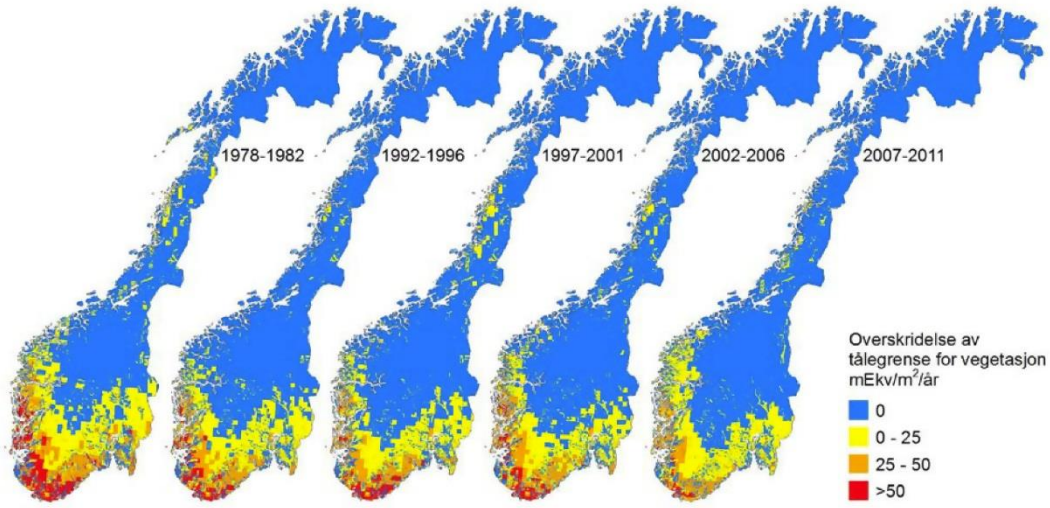
Et viktig poeng ved Figur 12 er tidstrenden fra 1978 – 2011. Utslippene av svovel har gått sterkt nedover i Europa de siste 30 år, mest av alt takket være internasjonale avtaler (CLRTAP/Langtransportkonvensjonen i 1979, Gøteborgprotokollen i 1999), men også pga økonomisk krise i det tidligere Sovjetunionen på 1990-tallet.

Figur 13 viser overskridelser av tålegrenser for forsuring av overflatevann med bruk av FAB_{oaa}-modellen (Lund et al., 2012). Igjen er det Sør-Vestlandet som er mest rammet med overskridelser. Nord-Norge er markert i blått (ikke overskridelser).



Figur 13: Beregnet overskridelse av tålegrenser for forsuring av overflatevann med bruk av FAB$_{oaa}$-modellen. Enhet: mEkv / (m2 år). Kilde: Lund et al., (2012).

Også når det gjelder overskridelse av tålegrenser for overgjødslingseffekter (Figur 14) er Sør-Vestlandet mest rammet og Nord-Norge har ikke overskridelser (markert i blått).



Figur 14: Beregnet overskridelse av tålegrenser for overgjødslingseffekter av vegetasjon (empiriske tålegrenser). Enhet: mEkv / (m2 år). Kilde: Lund et al., (2012).

I fastsettelsen av tålegrenser og beregning av overskridelser er det gjort visse antagelser og forenklinger. Landet er delt inn i ruter, for vann og jord er størrelsen på hver rute ¼ lengdegrad og1/8 breddegrad. Dette tilsvarer 9,5 × 13,9 km^2 ved 70°N. Hele Norge dekkes da av 2303 ruter. Verdier tilegnes hver rute. Men det kan finnes enkeltlokaliteter innen hver rute med annen berggrunn, annen vegetasjon, annen naturtype etc. som gir større følsomhet overfor avsetning av nitrogen og svovel.

3 Vurdering av de ulike komponentene i utslipp fra Johan Castberg

3.1 Vurdering av klimagassene CO_2, CH_4 og NMVOC

Av disse tre komponentene er det CO_2 som har det det klart største utslippet og som er viktigst når det gjelder økning i strålingspådriv/global oppvarming.

Selv om metan er 23 ganger kraftigere klimagass enn CO_2 i 100 års tidshorisont er utslippene av CH_4 fra Johan Castberg såpass lave sammenlignet med CO_2 at effekten av CO_2 er klart viktigst (eksempelvis 363 813 tonn CO_2 i 2023 mot 194 tonn CH_4 i 2027, se Tabell 5).

NMVOC som slippes ut vil oksideres til CO_2, men igjen er utslippene av hydrokarboner fra Johan Castberg såpass lave (353 tonn NMVOC i 2023) at CO_2 er klart viktigst.

CO_2 og CH_4 har lang levetid og det spiller derfor liten rolle hvor de slippes ut. Atmosfærisk transport fører til at disse gassene er godt blandet, dog med høyere nivåer i kildeområder og sesongvariasjon pga variasjoner i kilder og sluk.

For å sammenligne de ulike utslippene av klimagasser regnes ofte utslippene om slik at alle utslippene blir tilsvarende CO_2, vektet etter klimaeffekt. Her vil samlede omregnede utslipp av klimagasser være i underkant av 370 000 tonn omregnet til CO_2; 363 813 tonn CO_2 (2023) + 23 × 194 tonn CH_4 (år 2027 gitt at CH_4 er 23 ganger sterkere klimagass enn CO_2 i 100-års perspektiv) + 353 tonn NMVOC (år 2023, gitt at alle hydrokarboner oksideres til CO_2). Selvfølgelig er dette forenklet, men gir et anslag over samlede årlige maksimale klimagassutslipp fra Johan Castberg. Det gjennomsnittlige årlige bidraget i perioden 2019-2052 vil bli lavere.

Sammenlignet med utslipp fra enkeltkilder fra petroleumsvirksomhet til havs og fra landbasert industri (Tabell 1 og Tabell 2) vil et maksimalt utslipp tilsvarende i underkant av 370 000 tonn CO_2 plassere Johan Castberg på 11. plass over petroleumsvirksomhet til havs i Norge i 2015. Med tanke på CO_2- og klimagassutslipp fra petroleumsvirksomhet vil Johan Castberg være et middels stort felt.

Elektrifisering, dvs. kraftforsyning via strømledning fra land for å erstatte gassturbinene og derved redusere CO_2-utslippene har vært vurdert. Konklusjonen er at dette ikke er hensiktsmessig (se forslag til program for konsekvensutredning, Statoil 2016, tilgjengelig fra www.statoil.com/johancastberg [URL 08-05-2017]).

3.2 Vurdering av NO_x

Årlig utslipp av NO_x fra Johan Castberg-feltet er beregnet å bli maksimalt 1 571 tonn (år 2023), se Tabell 5.

Når det gjelder spørsmålet om eutrofiering og forsuring er det avsetning av nitrogen som er bestemmende. I tidligere studier av petroleumsvirksomhet i nord er det beregnet utslipp, spredning og avsetning av nitrogen med hhv. INPUFF-modellen (Berglen et al., 2008 for Goliat) og WRF-EMEP (Solberg et al., 2012a for Jan Mayen og 2012b for Barentshavet Sør).

I studien for Barentshavet Sør (Solberg et al., 2012b) er det gjort beregninger med WRF-EMEP-modellen med et fremtidsscenario der CO_2, NO_x, SO_2, partikler (også kalt Particulate Matter, PM hvor eks. PM_{10} betegner partikler med dynamisk diameter mindre enn 10 µm), CH_4, NMVOC, BC (Black Carbon) og OC (Organic Carbon) slippes ut. De totale utslippene av NO_x inkluderer både offshore punktkilder og skipstrafikk ved Jan Mayen (til sammen 2 523 tonn pr år), offshore punktkilder og skipstrafikk i Barentshavet (til sammen 2 783 tonn pr år), samt utslipp fra landanlegg i Finnmark (420 tonn pr år), se Solberg et al. (2012b) tabell 4.6 s. 29.

Beregningene for Barentshavet sør er sammenlignbare med denne studien, både for total mengde, 2 783 tonn pr år fra offshore kilder + skipstrafikk i Barentshavet, samt 420 tonn pr år fra landanlegg i Finnmark for Barentshavet-studien og 1 571 tonn her (år 2023). Likeledes er de sammenlignbare når det gjelder geografisk utslippsfordeling med utslipp både offshore, fra landanlegg, samt skipstrafikk. Resultatene fra studien for Barentshavet er derfor overførbare til denne studien.

Studien for Barentshavet Sør viste en beregnet økning i avsetning av nitrogen på 1 mg N/(m^2 år). Samme maksimumsverdi kan forventes for Johan Castberg i oppstartsfasen (år 2023). Gitt at nåværende avsetning er rundt 200 mg N/(m^2 år) er forventet maksimumsbidrag fra Johan Castberg ubetydelig (under 5 ‰ av eksisterende avsetning i Nord-Norge). Maksimalt bidrag fra Johan Castberg vil også være mindre enn variasjonen fra år til år (som styres av langtransportert NO_x og nedbørsmønster). I selve driftsfasen vil utslipp av NO_x være rundt 500 tonn pr år, dvs. 1/3 av utslippene i oppstartsfasen og forventet maksimumsavsetning vil da være tilsvarende mindre.

Bidraget fra Johan Castberg til eutrofiering og forsuring forventes derfor å være lite.

3.3 Vurdering av ozon (O_3)

Tredje miljøeffekt av NO_X-utslipp er dannelse av ozon. Lokalt vil utslipp av NO_x gi nedgang i ozon pga. reaksjon med NO, såkalt titrering ($NO + O_3 \rightarrow NO_2 + O_2$). Men nedstrøms av utslippet vil NO_X, hydrokarboner og sollys gi økt dannelse av O_3 (se Vedlegg A for detaljer). Beregninger for Barentshavet Sør (Solberg et al, 2012b) ga økning i 3 mnd. AOT40-verdi[9] (relevant for planter) på 6-10 ppb-timer mens eksisterende nivå er 2000-3500. 6-mnd AOT40-verdi (relevant for skog) økte med maksimalt 10 ppb-timer mens eksisterende nivå er 2000-5300. Videre ble det beregnet N120, dvs. antall dager med 8-timers løpende middelverdi av O_3 over 120 µg/m^3. Dette er eneste parameter der beregningene gir en viss økning fra petroleumsaktiviteten, med 1 ekstra dag i forhold til en nå-situasjon med 10 dager pr år, men dette er en parameter som varierer fra år til år, og den beregnede økningen må sies å være innenfor usikkerheten av denne parameteren. Gitt at ozon dannes nedstrøms av utslippspunktet ved reaksjoner mellom hydrokarboner og NO_X med sollys tilstede vil økning i ozon forekomme på regional skala. Ved vind fra nord kan dette skje over land.

[9] AOT40 er akkumulert ozon over terskelverdien 40 ppb.

3.4 Vurdering av SO_x

Årlig utslipp av SO_x fra Johan Castberg-feltet er beregnet å bli maksimalt hhv 65 tonn (år 2023), se Tabell 5.

Beregningene for Barentshavet Sør (Solberg et al., 2011b) er sammenlignbare med denne studien, både for total mengde, i Barentshavet-studien 93 tonn pr år fra offshore kilder + skipstrafikk i Barentshavet Resultatene fra studien for Barentshavet Sør er derfor overførbare til denne studien.

Studien for Barentshavet Sør viste en beregnet økning i avsetning av svovel på 0,5 mg S/(m^2 år). Samme maksimumsverdi kan forventes for Johan Castberg i oppstartsfasen (igjen år 2023). Gitt at nåværende avsetning er rundt 200 mg S/(m^2 år) er forventet maksimumsbidrag fra Johan Castberg ubetydelig (~2‰ av eksisterende avsetning). Maksimalt bidrag fra Johan Castberg vil også være mindre enn variasjonen fra år til år (som styres av langtransportert svovel og nedbørsmønster). I selve driftsfasen vil utslipp av SO_x være rundt 13 tonn pr år, dvs. 12 % av utslippene i oppstartsfasen og forventet maksimumsavsetning vil da være tilsvarende mindre.

3.5 Samlet konklusjon for NO_x, ozon og SO_x

Vurderingene i denne studien bygger på tidligere studier for Jan Mayen og Barentshavet (Solberg et al, 2012a og 2012b). For utfyllende informasjon kan disse studiene konsulteres. Konklusjonene i denne studien er sammenfallende med tidligere konklusjoner.

Beregninger viser at effekten fra framtidig petroleumsaktivitet med maksimale utslipp fra Johan Castberg gir en økning som er mindre enn 0,5 % i forhold til dagens situasjon for alle parametere som er beregnet med unntak av N120. Beregning av N120 gir en ekstra dag med 8-timers middel av ozon over 120 µg/m^3 på årsbasis på Svalbard og i Finnmark, men denne forskjellen må sies å være innenfor usikkerheten av denne parameteren. Videre vil denne maksimalbelastningen opptre i oppstartsfasen (2019-2024) mens utslippene i driftsfasen vil være 1/3 (NO_x) og en 1/8 (SO_x) av utslippene i oppstartsfasen.

Basert på disse resultatene er konklusjonen at bidraget til eutrofiering, forsuring og bakkenært ozon i Nord-Norge fra Johan Castberg er ubetydelig, men generelt kan man si at for områder som i dag har overskridelser av tålegrensen for eutrofiering og forsuring, eller ligger på grensen til overskridelse, vil et hvert bidrag til økning av svovel- og nitrogenavsetningen potensielt endre dette bildet. Videre vil bidragene av NO_x, SO_2 og ozon, samt avsetninger av nitrogen og svovel fra Johan Castberg ikke føre til negative effekter på vegetasjon og fauna i de terrestriske influensområdene. Det er noe usikkert om ozon kan ha uheldige konsekvenser for fugl som oppholder seg i områder med høyest belastning og blir eksponert for inntak av ozon, da det her er mangelfull kunnskap om dose-respons forhold. Men gitt at det er valgt en løsning med produksjon til havs (FPSO) og Johan Castberg ligger 240 km nord for Finnmark og 200 km sør for Bjørnøya er det ikke sannsynlig at bidraget fra Johan Castberg vil gi sporbare effekter på land.

3.6 Vurdering av BC

Maksimale årlig utslipp av BC opptrer i innkjøringsfasen av anlegget og er beregnet å bli 10,2 tonn (år 2023), se Tabell 5. Figur 8 viser at utslippet etter de to første innkjøringsårene er antatt å stabilisere seg på under 2 tonn per år, for deretter å reduseres til omtrentlig 1 tonn per år etter som produksjonen går ned .

Beregningene for Barentshavet Sør (Solberg et al., 2011b) har brukt totalt 30 tonn utslipp som inngangsdata i modellberegningene. Disse utslippene var fordelt på flere kildetyper og flere geografiske områder enn i denne studien. For Barentshavet, offshore punktkilder er det eksempelvis estimert utslipp lik 17 tonn BC pr år. Resultatene for Barentshavet Sør er derfor overførbare til denne studien.

Studien for Barentshavet Sør konkluderer med at årlig middelverdi av BC på Svalbard vil øke mellom 0,04 og 0,1%, dvs. en beskjeden økning. Sett i lys av studien for Barentshavet Sør (Solberg et al., 2011b), men også tidligere studier (Ødemark et al., 2012) er det nærliggende å konkludere med at klimaeffekten av installasjonene på Johan Castberg vil bli liten.

Et lite forbehold tas dog når det gjelder utslippsfaktorene. Utslippstallene oppgitt av Statoil bygger på utslipp lik 0,856 g PM_{10}/Sm^3 samt at BC utgjør 80% av PM_{10}. Disse faktorene er gyldige for fakling under kontrollerte forhold med gode tekniske løsninger. Fakling under ufordelaktige forhold hvor de tekniske løsningene ikke er optimale vil gi større utslipp, som eksempelvis på Melkøya 2006-2007 (se kap. 2.1.7 og 2.2 for ytterligere beskrivelser). Den ukontrollerte faklingen av brønnstrømmen på Melkøya i 2006-2007 kan ikke direkte sammenlignes med fakling av fraseparert gass på Castberg, men uansett er det viktig at det blir valgt teknologi som gir optimale forhold for å unngå fakling og minimere utslipp (jfr. diskusjon av utslippsfaktorer i kapittel 2.2).

Likeledes gir utslipp av BC i Arktis større effekt pr utslippsenhet enn utslipp lenger sør. BC gir bidrag til klimaendringer og Arktis er spesielt sårbart. Det bør derfor være et mål å redusere utslipp av BC ved fakling til et minimum i Johan Castberg-prosjektet.

4 Referanser

Aas, W., Hjellbrekke, A.-G., Hole, L.R., Tørseth, K. (2012) Deposition of major inorganic compounds in Norway 2007-2011. Kjeller, NILU (NILU OR 41/2012).

AMAP (2011) The impact of black carbon on arctic climate. By: Quinn, P.K., Stohl, A., Arneth, A., Berntsen, T., Burkhart, J.F.B. Christensen, J., Flanner, M., Kupiainen, K., Lihavainen, H., Shepherd, M., Shevchenko, V., Skov, H., Vestreng, V. Oslo, Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP Technical Report No. 4).

Barrie, L.A. (1986) Arctic air pollution – An overview of current knowledge. *Atmos. Environ*., *20*, 643-663.

Barrie, L.A., Platt, U. (1997) Arctic tropospheric chemistry: an overview. *Tellus B, 49,* 450-454.

Berg, T., Sekkesæter, Steinnes, E., Valdal, A.-K., Wibetoe, G. (2003) Springtime depletion of mercury in the European Arctic as observed at Svalbard. *Sci. Total Environ., 304*, 43-51.

Berglen, T.F., Berntsen, T.K., Isaksen, I.S.A., Sundet, J.K. (2004) A global model of the coupled sulfur/oxidant chemistry in the troposphere: The sulfur cycle. *J. Geophys. Res., 109*, D19310, doi:10.1029/2003JD003948.

Berglen, T.F., Høgåsen, T., Knudsen, S., Osmundsen, M., Sundfjord, A., Wathne, B.M., Aarrestad, P.A. (2008) Konsekvenser av utslipp til luft fra Goliat-feltet. Underlag for konsekvensutredning. Kjeller, NILU (NILU OR 58/2008).

Berglen, T.F., Tønnesen, D., og Solberg, S. (2014) Johan Castberg-feltet i Barentshavet. Vurdering av utslipp til luft. Kjeller, NILU (NILU OR 25/2014).

Berglen, T.F., Dauge, F., Andresen, E., Nilsson, L.O., Svendby, T.M., Tønnesen, D., Vadset, M., Våler, R.L. (2016) Grenseområdene Norge-Russland. Luft- og nedbørkvalitet, april 2015-mars 2016. Kjeller, NILU (NILU OR 16/2016).

Flanner, M. G. (2013), Arctic climate sensitivity to local black carbon, *J. Geophys. Res. Atmos.*, *118*, 1840–1851, doi:10.1002/jgrd.50176.

Flatlandsmo, T. (1997) Modellstudie av metankilder (CH_4) ved bruk av $\delta^{13}C$-forholdet. Hovedfagsoppgave i meteorologi. Oslo, Institutt for geofysikk, Universitetet i Oslo.

Hole, L.R., Christensen, J. H., Ruoho-Airola, T., Torseth, K., Ginzburg, V., Glowacki, P. (2009) Past and future trends in concentrations of sulphur and nitrogen compounds in the Arctic. *Atmos. Environ., 43*, 928-939.

IPCC (2013) Summary for policymakers. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Ed. by: Stocker, T.F., Qin, D., Plattner, G.-K., Tignor, M., Allen, S.K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V., Midgley, P.M. Cambridge, U.K. and New York, USA, Cambridge University Press. pp. 3-29.

Iversen, T., Joranger, E. (1985) Arctic air pollution and large scale atmospheric flows. *Atmos. Environ., 19,* 2099-2108.

Jacob, D.J. (1999) Introduction to atmospheric chemistry. Princeton, N.J., Princeton University Press.

Lund, E., Aas, W., Høgåsen, T. og Larssen, T. (2012) Overskridelser av tålegrenser for forsuring og nitrogen for Norge - oppdateringer med perioden 2007-2011. Oslo, NIVA (NIVA-rapport 6448-2012).

Nilsson, V.J., Grennfelt, P. (1988) Critical loads for sulphur and nitrogen. Report from a workshop held at Skokloster, Sweden 19-24 March, 1998. København, Nordisk Ministerråd (Miljørapport 1988:15) (NORD 1988:97).

Pederstad, A., Smith, J.D., Jackson, R., Saunier, S., Holm, T. (2013) Evaluering av faklingsstrategi, teknikker for reduksjon av fakling og faklingsutslipp, utslippsfaktorer og metoder for bestemmelse av utslipp til luft fra fakling. Trondheim, Miljødirektoratet (CL-2013-29, Rapport M-82/2013).

Rahn, K.A., Heidam, N.Z. (1981) Progress in Arctic air chemistry, 1977-1980 – A comparison of the 1st and 2nd symposia. *Atmos. Environ., 15,* 1345-1348.

Sand, M., Berntsen, T.K., Seland, Ø., Kristjánsson, J.E. (2013) Arctic surface temperature change to emissions of black carbon within Arctic or midlatitudes. *J. Geophys. Res. Atmos., 118,* 7788–7798, doi:10.1002/jgrd.50613.

Sand, M., Berntsen, T.K., von Salzen, K., Flanner, M.G., Langner, J., and Victor, D.G. (2016) Response of Arctic temperature to changes in emissions of short-lived climate forcers. *Nature Climate Change, 6, 286*–290, doi:10.1038/nclimate.2880.

Seinfeld, J.H., Pandis, S.N. (1998) Atmospheric chemistry and physics: from air pollution to climate change. New York, John Wiley & Sons, Inc.

Simoes, J.C., Zagorodnov, V.S. (2001) The record of anthropogenic pollution in snow and ice in Svalbard, Norway. *Atmos. Environ., 35,* 403-413

Skeie, R.B., Berntsen, T., Myhre, G., Pedersen, C.A., Ström, J., Gerland, S., Ogren, J.A (2011) Black carbon in the atmosphere and snow, from pre-industrial times until present. *Atmos. Chem. Phys., 11*, 6809-6836.

Solberg, S., Schmidbauer, N., Semb, A., Stordal, F., Hov, Ø. (1996) Boundary-layer ozone depletion as seen in the Norwegian Arctic in Spring. *J. Atmos. Chem., 23,* 301-332.

Solberg, S., Svendby, T., Gjerstad, K.I., Liu, L., Wathne, B.M., Skjelkvåle, B.L., Høgåsen, T., Aarrestad, P.A., Gjershaug, J.O. (2012a) Åpning av havområdene ved Jan Mayen for petroleumsvirksomhet. Konsekvenser av regulære utslipp til luft. Kjeller, NILU (NILU OR 32/2012).

Solberg, S., Svendby, T., Gjerstad, K.I., Liu, L., Wathne, B.M., Skjelkvåle, B.L., Høgåsen, T., Aarrestad, P.A., Gjershaug, J.O. (2012b) Åpning av havområdene vest for delelinjen i

Barentshavet Sør for petroleumsvirksomhet. Konsekvenser av regulære utslipp til luft. Kjeller, NILU (NILU OR 33/2012).

Statoil (2016) Forslag til program for konsekvensutredning. www.statoil.com/johancastberg [URL 08-05-2017]

Stohl, A. (2006) Characteristics of atmospheric transport into the Arctic troposphere. *J. Geophys. Res., 111*, D11306, doi:10.1029/2005JD006888.

Stohl, A., Berg, T., Burkhart, J.F., Fjæraa, A.M., Forster, C., Herber, A., Hov, Ø., Lunder, C., McMillan, W.W., Oltmans, S., Shiobara, M., Simpson, D., Solberg, S., Stebel, K., Strøm, J., Tørseth, K., Treffeisen, R., Virkkunen, K., Yttri, K.E. (2007) Arctic smoke – record high air pollution levels in the European Arctic due to agricultural fires in Eastern Europe in spring 2006. *Atmos. Chem. Phys., 7,* 511-534.

Winiger, P., Andersson, A., Eckhardt, S., Stohl, A., Semiletov, I.P., Dudarev, O.V., Charkin, A., Shakhova, N., Klimont, Z., Heyes, C., and Gustafsson. Ö. Siberian Arctic black carbon sources constrained by model and observation**.** *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2017; 201613401 doi: 10.1073/pnas.1613401114.

Ødemark, K., Dalsøren, S.B., Samset, B.H., Berntsen, T.K., Fuglestvedt, J.S., Myhre, G. (2012) Short-lived climate forcers from current shipping and petroleum activities in the Arctic. *Atmos. Chem. Phys., 12,* 1979-1993.

Vedlegg A

Oksidasjon av CH_4 (metan) til CO_2, dannelse av OH og tap av NO_x i nattkjemi

Her gis det en mer detaljert oversikt over kjemiske sykler som er viktige for omdanning og tap av komponenter omtalt i denne studien.

Oksidasjon av CH_4 (metan) med NO tilstede.

I troposfæren gir oksidasjonskjeden av CH_4 til CO til CO_2 dannelse av O_3 hvis NO-nivået er høyere enn 5-10 ppt (parts per trillion, 10^{-12}, i blandingsforhold). Nivået av NO avgjør «skjebnen» til peroksy-radikalet (RO_2), her representert ved CH_3O_2. Andre tyngre hydrokarboner følger samme mønster, her er CH_4 brukt som eksempel. CH_2O (formaldehyd) kan enten reagere med OH eller fotolyseres. Forskjellige nedbrytningsveier av CH_2O gir ulik dannelse av O_3. Dette eksempelet viser at oksidasjon av 1 CH_4–molekyl gir dannelse av 4 O_3–molekyler. Kilde: Jacob (1999)

$CH_4 + OH$	→ (O_2)	$CH_3O_2 + H_2O$
$CH_3O_2 + NO$	→	$CH_3O + NO_2$
$CH_3O + O_2$	→	$CH_2O + HO_2$
$CH_2O + OH$	→	$CHO + H_2O$
$CHO + O_2$	→	$CO + HO_2$
$2 \times (HO_2 + NO$	→	$OH + NO_2)$
$3 \times (NO_2 + h\nu$	→ (O_2)	$NO + O_3)$
Mellomsum:		
$CH_4 + 6O_2 + h\nu$	→	$CO + 3O_3 + 2H_2O$
Deretter:		
$CO + OH$	→ (O_2)	$CO_2 + HO_2$
$HO_2 + NO$	→	$OH + NO_2$
$NO_2 + h\nu$	→ (O_2)	$NO + O_3$
Totalt:		
$CH_4 + 8O_2 + h\nu$	→	$CO_2 + 4O_3 + 2H_2O$

Dannelse av OH

OH er den viktigste oksidanten i dagkjemien i troposfæren. OH forutsetter sollys (UV) for å bli dannet). I nattkjemien (fravær av lys) er NO_3 den viktigste oksidanten.

$O_3 + h\nu$	→	$O_2 + O(^1D)$ ($h\nu \leq 320$ nm)
$O(^1D) + H_2O$	→	2OH

$O(^1D)$ er en eksitert form av O (mye energi, reagerer raskt med andre molekyler)

Tap av NOx i nattkjemi

I nattkjemi er det fravær av OH. NO_2 tapes derfor ikke ved NO_2 + OH som er viktig tapsvei i dagkjemien.

$NO_2 + O_3$	→	$NO_3 + O_2$
$NO_3 + NO_2$	→	$N_2O_5 + M$
$N_2O_5 + H_2O$	→ (på partikler)	$2HNO_3$

M er molekyl som tar av overskytende energi (N_2 eller O_2).

NO3 er ustabil i dagslys, men viktigste oksidant i nattkjemi og viktig i polarnatten.

NILU – Norsk institutt for luftforskning

NILU – Norsk institutt for luftforskning er en uavhengig stiftelse etablert i 1969. NILUs forskning har som formål å øke forståelsen for prosesser og effekter knyttet til klimaendringer, atmosfærens sammensetning, luftkvalitet og miljøgifter. På bakgrunn av forskningen leverer NILU integrerte tjenester og produkter innenfor analyse, overvåkning og rådgivning. NILU er opptatt av å opplyse og gi råd til samfunnet om klimaendringer og forurensning og konsekvensene av dette.

NILUs verdier: *Integritet – Kompetanse – Samfunnsnytte*
NILUs visjon: *Forskning for en ren atmosfære*

NILU – Norsk institutt for luftforskning
Postboks 100, 2027 KJELLER

E-post: nilu@nilu.no
http://www.nilu.no

ISBN: 978-82-425-2881-0
ISSN: 2464-3327

NILU Norsk institutt for luftforskning
Norwegian Institute for Air Research