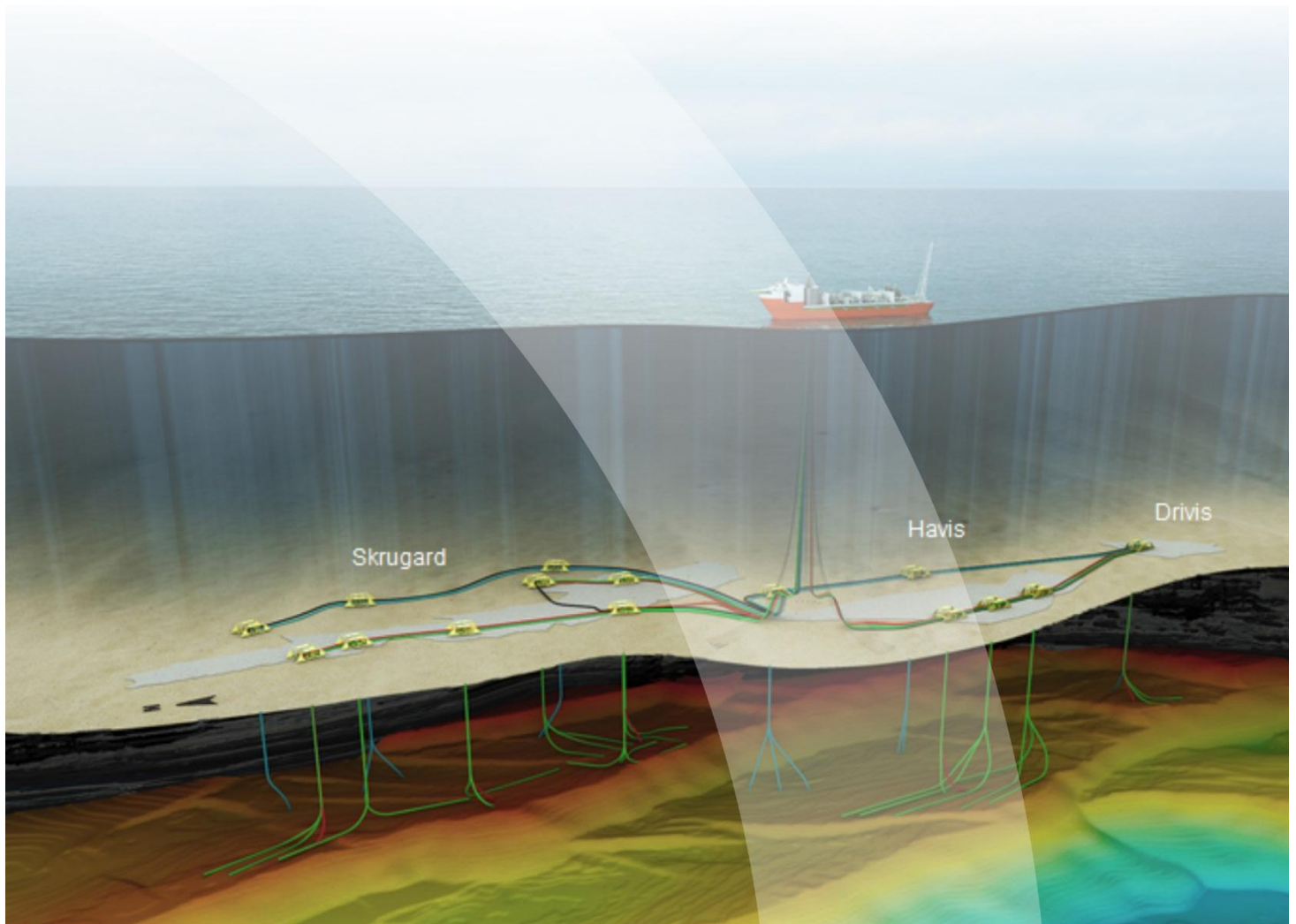


# Johan Castberg-feltet i Barentshavet

Vurdering av utslipp til luft

Tore Flatlandsmo Berglen, Dag Tønnesen og Sverre Solberg



**Oppdragsrapport**







## Forord

NILU – Norsk institutt for luftforskning har på oppdrag for Statoil vurdert miljøkonsekvenser av utslipp til luft fra fremtidig aktivitet på Johan Castberg-feltet i Barentshavet. Akvaplan-NIVA v/ Ida Hansen-Dahl koordinerer de samordnede miljøprosjektene. Denne rapporten inngår i underlagsmaterialet som skal danne grunnlag for beslutning om mulig utbygging av Johan Castberg-feltet i Barentshavet og omhandler to utbyggingsalternativer.

Rapporten er skrevet av Tore Flatlandsmo Berglen. Medforfatter Dag Tønnesen har bidratt med god hjelp, faglige innspill og diskusjoner, samt kvalitetssikring. Underlagsmateriale og tidligere kunnskap fra Sverre Solberg og Tove Marie Svendby har vært verdifulle og nyttige. Sverre Solberg begynte som kvalitetssikrer og endte opp som medforfatter pga hans mange gode innspill og kommentarer. Diskusjoner med Terje Koren Berntsen, Institutt for geofag, Universitetet i Oslo og innspill fra kollega ved NILU Andreas Stohl har også vært meget nyttige. NILUs forskningsdirektør i nord Eldbjørg Heimstad har bistått med praktisk tilrettelegging. Forskningsdirektør ved avdeling for By- og industri (INBY) er Leonor Tarrasón.



# Innhold

	Side
<b>Forord</b> .....	<b>1</b>
<b>Sammendrag</b> .....	<b>5</b>
<b>1 Innledning</b> .....	<b>7</b>
<b>2 Bakgrunnskonsentrasjoner, utslipp og tålegrenser</b> .....	<b>10</b>
2.1 Generelt om komponentene som vurderes i denne studien.....	10
2.2 Maksimale utslipp for Johan Castberg brukt i denne studien .....	16
2.3 På hvilken måte representerer gassene som slippes ut et miljøproblem? .....	19
2.4 Forsuring og eutrofiering, eksisterende nivåer og tålegrenser .....	24
<b>3 Vurdering av de ulike komponentene i utslipp fra Johan Castberg</b> .....	<b>29</b>
3.1 Vurdering av klimagassene CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> og NMVOC .....	29
3.2 Vurdering av NO <sub>x</sub> .....	30
3.3 Vurdering av ozon O <sub>3</sub> .....	31
3.4 Vurdering av SO <sub>x</sub> .....	31
3.5 Samlet konklusjon for NO <sub>x</sub> , ozon og SO <sub>x</sub> .....	31
3.6 Vurdering av BC .....	32
<b>4 Forslag til videre oppfølging</b> .....	<b>33</b>
<b>5 Referanser</b> .....	<b>33</b>
<b>Vedlegg A Oksidasjon av CH<sub>4</sub> (metan) til CO<sub>2</sub>, dannelse av OH og tap av NO<sub>x</sub> i nattkjemi</b> .....	<b>37</b>





## 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<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, NMVOC, samt sot/BC (Black Carbon) er vurdert, i tillegg til ozondannelse grunnet økte NO<sub>x</sub>-utslipp.*

Vurderingene er gjennomført for to utbyggingsalternativer som har samme boreplan og tilnærmet lik havbunnsutbygging, men ulike produksjonsinnretninger. Alternativ 1 består av en halvt nedsenkbar plattform/SEMI med eksport av olje i en 280 km rørledning til Veidnes i Nordkapp kommune hvor det er planlagt en oljeterminal for lagring av oljen før utskipning til markedet. Alternativ 2 vil produsere og lagre oljen i et produksjonsskip, en FPSO (Floating Production Storage and Off-loading). Oljen vil deretter lastes om på feltet og skipes til markedet. Utslippstall for de to ulike utbyggingsalternativene er oppgitt av Statoil. 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 utslipp, 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 i disse tallene. 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 innretningen.

CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> og NMVOC er vurdert utfra deres bidrag til økt drivhuseffekt (klimagasser). Utslipp av CH<sub>4</sub> (23 ganger sterkere klimagass enn CO<sub>2</sub> i 100 års perspektiv) og NMVOC (oksideres til CO<sub>2</sub> i atmosfæren) er omregnet tilsvarende utslipp av CO<sub>2</sub>. Omregnet til CO<sub>2</sub> ekvivalenter tilsvarer maksimale utslipp fra Johan Castberg omlag 450000 tonn CO<sub>2</sub> pr år. Det gjør Johan Castberg til et middels stort felt i norsk petroleumsvirksomhet og ville plassert feltet på 9. plass over utslipp fra norsk petroleumsvirksomhet til havs i 2012 og 7. plass over landbasert industri.

Utslipp av NO<sub>x</sub> vil gi bidrag til eutrofiering og forsurening pga. økt avsetning. Maksimal beregnet, forventet økning i avsetning av nitrogen er 1 mg N/(m<sup>2</sup> år) (scenario SEMI 2019, dvs. oppstartsfasen). Gitt at nåværende avsetning er rundt 200 mg N/(m<sup>2</sup> år), er forventet maksimumsbidrag som opptrer i oppstartsfasen fra Johan Castberg ubetydelig (under 5 ‰ av eksisterende avsetning). I driftsfasen vil bidraget være 1/5 av dette. Maksimalt bidrag fra Johan Castberg vil også være mindre enn variasjonen fra år til år. Økning i ozon pga. NO<sub>x</sub>-utslipp er vurdert. N120, dvs. antall dager med 8-timers løpende middelvei av O<sub>3</sub> over 120 µg/m<sup>3</sup>, er eneste parameter der beregningene gir en viss økning fra petroleumsvirksomhet, opp med 1 tilfelle fra dagens 10 tilfeller pr år.

For svovel er maksimal avsetning beregnet. Det er forventet en økning i avsetning av svovel på 0,5 mg S/(m<sup>2</sup> år) mot nåværende avsetning rundt 200 mg S/(m<sup>2</sup> år),

dvs. ~2‰ av eksisterende avsetning. Bidraget fra Johan Castberg er derved ubetydelig. I driftsfasen vil bidraget være 1/10 av dette.

Basert på disse resultatene, er konklusjonen at bidraget til eutrofiering og forsuring i Nord-Norge fra Johan Castbergfeltet 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.

Utslipp av BC («Black Carbon», dvs. sot) er også vurdert. Det vurderes 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

## Vurdering av utslipp til luft

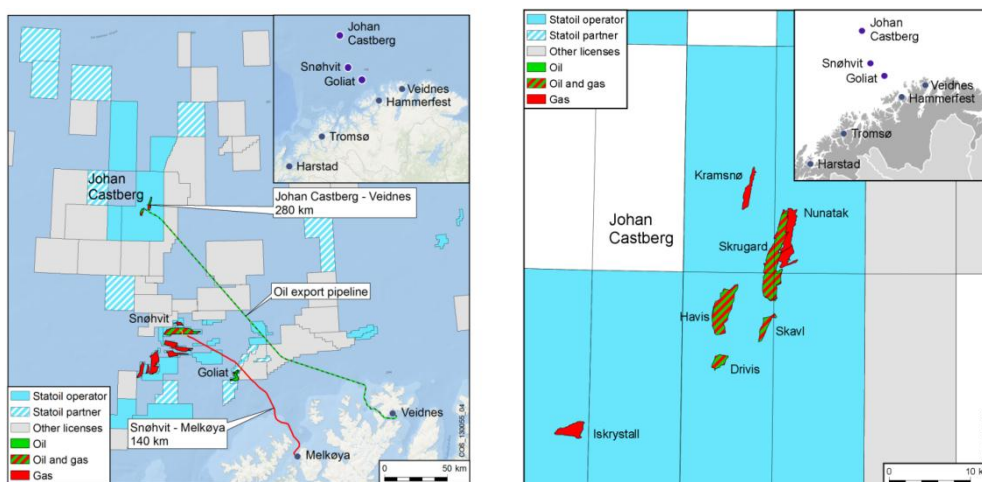
### 1 Innledning

Johan Castberg-lisensen (tidligere Skrugard) PL532 ligger i norsk sektor i Barentshavet, lokalisert omlag 240 km nord for Hammerfest og 200 km sør for Bjørnøya. Johan Castberg-utbyggingen består av feltene Skrugard, Havis og Drivis. Utbyggingen av funnene vil bli gjennomført gjennom et felles utbyggingsprosjekt; Johan Castberg-prosjektet. Statoil er operatør på feltet, mens Statoil, Eni og Petoro er rettighetshavere.

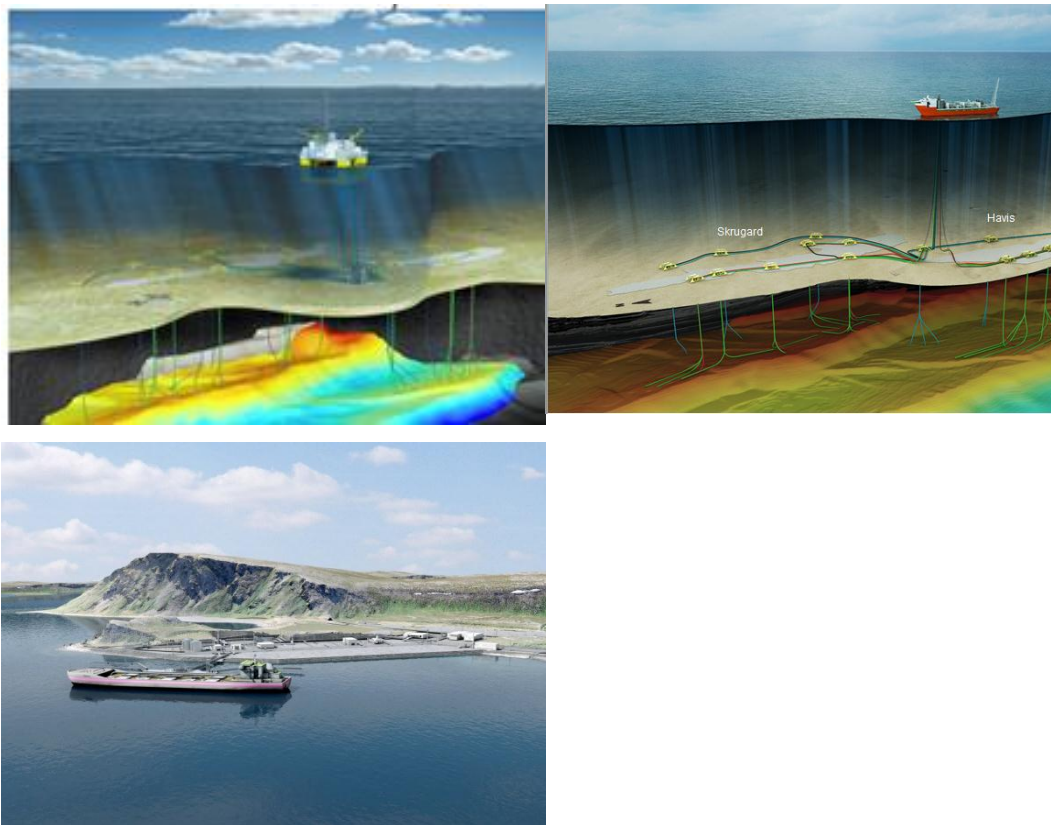
Prosjektet er i utredningsfasen og det er ikke avgjort hvilket utbyggingsalternativ som skal velges. Valget står mellom

- Alternativ 1; en halvt nedsenkbar plattform/SEMI med eksport av olje i en 280 km rørledning til Veidnes i Nordkapp kommune hvor det er planlagt en oljeterminal for lagring av oljen før utskipning til markedet.
- Alternativ 2; hvor oljen vil produseres og lagres i et produksjonsskip, en FPSO (Floating Production Storage and Off-loading). Oljen vil deretter lastes om på feltet og skipes til markedet.

Begge alternativene inkluderer en omfattende havbunnsutbygging og boreprogram.



Figur 1: Geografisk plassering av Johan Castberg (Venstre figur), samt de ulike feltene som utgjør Johan Castberg (høyre figur) i Barentshavet.



*Figur 2: De to utbyggingsalternativene, Alternativ 1 Plattform og ilandføring (venstre kolonne) og Alternativ 2 Produksjonsskip og utskiping fra feltet (høyre).*

Herværende rapport tar utgangspunkt i tilsendt underlagsmateriale utarbeidet for Statoil (Environmental Budget for Johan Castberg Extended Concept Phase – FPSO og Environmental Budget for Johan Castberg Extended Concept Phase SEMI and onshore oil terminal)<sup>1</sup>.

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

- 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

<sup>1</sup> Østebrøt, A., Yetkinoglu, Ø., Dagstad, T., AddEnergy, Environmental Budget for Johan Castberg Extended Concept Phase – SEMI and onshore terminal, 25.06.2014

Østebrøt, A., Yetkinoglu, Ø., Dagstad, T., AddEnergy, Environmental Budget for Johan Castberg Extended Concept Phase – FPSO, 25.06.2014

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 fire omhandler prosjekter i nordområdene og Barentshavet og kunnskap fra disse er derfor nyttige for denne studien. Spesielt 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 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. Slik sett er det faglig sett forsvarlig å bygge på tidligere resultater (gjelder  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_x$  og ozon). Resultater fra WRF-EMEP-beregningene for Barentshavet Sør er derfor vurdert og analysert for å kvantifisere miljøeffekten av en utbygging på Johan Castbergfeltet.

Vurdering av miljøkonsekvenser er gjort for utslipp av karbondioksid ( $\text{CO}_2$ ), metan ( $\text{CH}_4$ ), nitrogenoksider ( $\text{NO}_x$ ), svoveloksider ( $\text{SO}_x$ ), hydrokarboner unntatt metan (NMVOC) og BC («Black Carbon», dvs. sot). Først gis bakgrunnsinformasjon om komponentene som vurderes (kilder/sluk, utslippsmengder, egenskaper). Dermed diskuteres utslippstallene som er brukt i denne studien. Så beskrives hvilke miljøeffekter som er relevant for de forskjellige komponentene; klimagassene  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  samt herunder også NMVOC, og videre miljøpåvirkningen av  $\text{NO}_x$  og  $\text{SO}_x$ , inkludert bidraget til eutrofiering og forsuring og muligheten for dannelse av ozon ( $\text{O}_3$ ). Betydningen av sot og partikler i Arktis blir grundig diskutert. Begrepene forsuring, eutrofiering, eksisterende bakgrunnsnivå og tålegrenser vil bli forklart.

## 2 Bakgrunnskonsentrasjoner, utslipp og tålegrenser

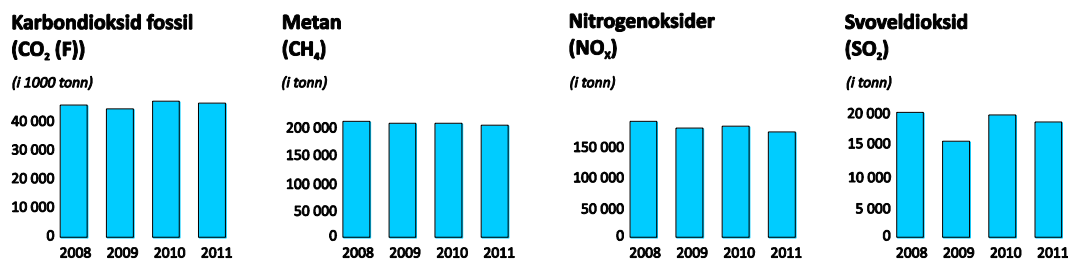
### 2.1 Generelt om komponentene som vurderes i denne studien

#### Karbondioksid CO<sub>2</sub>

CO<sub>2</sub> dannes ved forbrenning og nedbrytning av biologisk materiale, respirasjon (pusting) og ved oksidasjon av CH<sub>4</sub> og høyerestående hydrokarboner (se Vedlegg A for utfyllende informasjon). CO<sub>2</sub> tapes ved fotosyntese i planter og opptak i havet, det er intet kjemisk tap av CO<sub>2</sub> i atmosfæren. Blandingsforholdet av CO<sub>2</sub> i atmosfæren er nå i underkant av 400 ppm<sup>2</sup> med en sesongvariasjon rundt 2-3 ppm med minimum på sommerhalvkulen (grunnet økt tap ved fotosyntese) og maksimum på vinterhalvkulen (grunnet økte kilder ved forbrenning og mindre fotosyntese). Nivået av CO<sub>2</sub> er stigende grunnet menneskeskapt utslipp (eks IPCC, 2013).

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

Globale menneskeskapt utslipp av CO<sub>2</sub> er rundt 37 gigatonn CO<sub>2</sub> pr år, dvs. 37 milliarder tonn, eller  $3,7 \times 10^{16}$  g (IPCC, 2013). De menneskeskapt utslippene utgjør om lag 5 prosent av det naturlige karbonkretsløpet, men menneskeskapt utslipp fører til at likevekten/balansen i atmosfæren forrykkes. Samlede norske utslipp av fossilt CO<sub>2</sub> er 40 mill. tonn CO<sub>2</sub>(F) (Figur 3), dvs.  $4 \times 10^{13}$  g, omlag 1% av samlede menneskeskapt utslipp.



Figur 3: Totale utslipp av CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, NO<sub>x</sub> og SO<sub>2</sub> i Norge 2008 – 2011. Kilde: Norske utslipp, se [www.norskeutslipp.no](http://www.norskeutslipp.no) [URL 05-05-2014].

Utslipp av CO<sub>2</sub> 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 innretningen.

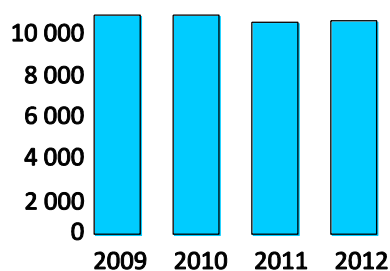
Av Norges utslipp står petroleumsvirksomhet til havs for omlag 10 mill. tonn CO<sub>2</sub>(F) (Figur 4), dvs. 25% av samlede norske utslipp. De 10 største enkeltkildene

<sup>2</sup> ppm: parts per million, dvs. milliond'tede, 1 / 1 000 000.

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 1,05 millioner tonn CO<sub>2</sub>, Tabell 1) og på land Mongstad (årlige utslipp 2,3 millioner tonn, Tabell 2).

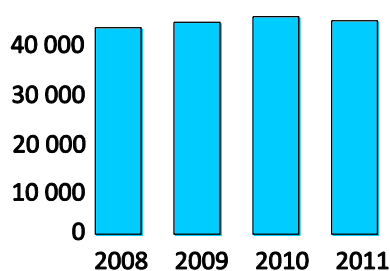
### Karbondioksid (CO<sub>2</sub>)

(i 1000 tonn)



### Nitrogenoksider (NO<sub>x</sub>)

(i tonn)



Figur 4: Totale utslipp av CO<sub>2</sub> og NO<sub>x</sub> fra petroleumsvirksomhet til havs i Norge 2009 – 2012. Kilde: Norske utslipp, se [www.norskeutslipp.no](http://www.norskeutslipp.no) [URL 08-05-2014]

Tabell 1: De 10 største utslippskildene av CO<sub>2</sub> fra petroleumsvirksomhet til havs i Norge i 2012 (målt 1000 tonn). Kilde: Norske utslipp, se [www.norskeutslipp.no](http://www.norskeutslipp.no)<sup>3</sup> [URL 09-05-2014]

Virksomhet	Utslipp til luft
Åsgard (Statoil petroleum AS)	1 054,33
Oseberg (Statoil petroleum AS)	880,08
Gullfaks (Statoil petroleum AS)	816,88
Statfjord (Statoil petroleum AS)	725,75
Troll (Statoil asa)	685,46
Ekofisk (Conocophillips Skandinavia AS)	679,93
Snorre (Statoil petroleum AS)	470,97
Sleipner øst (Statoil petroleum AS)	465,80
Heidrun (Statoil petroleum AS)	364,61
Sleipner vest (Statoil petroleum AS)	296,67

<sup>3</sup> Full nettsadresse: <http://www.norskeutslipp.no/no/Komponenter/Utslipp/Offshore-overstyring/Karbondioksid/?ComponentType=utslipp&ComponentPageID=1162&SectorID=700> [URL 09-05-2014].

Tabell 2: De ti største utslippskildene av CO<sub>2</sub> fra landbasert industri i Norge i 2012 (målt i 1000 tonn). Kilde: Norske utslipp, se [www.norskeutslipp.no](http://www.norskeutslipp.no)<sup>4</sup> [URL 09-05-2014].

Virksomhet	Utslipp til luft
Mongstad raffineri	2 300,69
Gassco AS, Kårstø	1 080,50
Hammerfest LNG	1 030,45
Norcem Brevik	762,30
Yara Norge AS, Yara Porsgrunn	701,77
Hydro Aluminium AS Sunndal	504,01
Noretyl AS	430,80
Alcoa Mosjøen	401,00
Statoil AS Tjeldbergodden Metanolfabrikk	335,90
Norcem Kjøpsvik	329,41

For CO<sub>2</sub> 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<sub>2</sub> er anslagsvis 100 år, mens oppholdstid for et CO<sub>2</sub>-molekyl atmosfæren er rundt 7-9 år (Jacob, 1999). For å forklare nærmere; som et tenkt eksperiment slipper man plutselig ut 1 million tonn CO<sub>2</sub> som man hadde på lager. Dette ekstra utslippet av CO<sub>2</sub> kommer i tillegg til eksisterende utslipp og blander seg med CO<sub>2</sub> som allerede er i atmosfæren. Så; etter 7-9 år vil de fleste av molekylene man slapp ut være tapt ved opptak i planter (fotosyntese). Det er ingen (få) av de opprinnelige molekylene igjen. Men økningen i atmosfærens CO<sub>2</sub>-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.

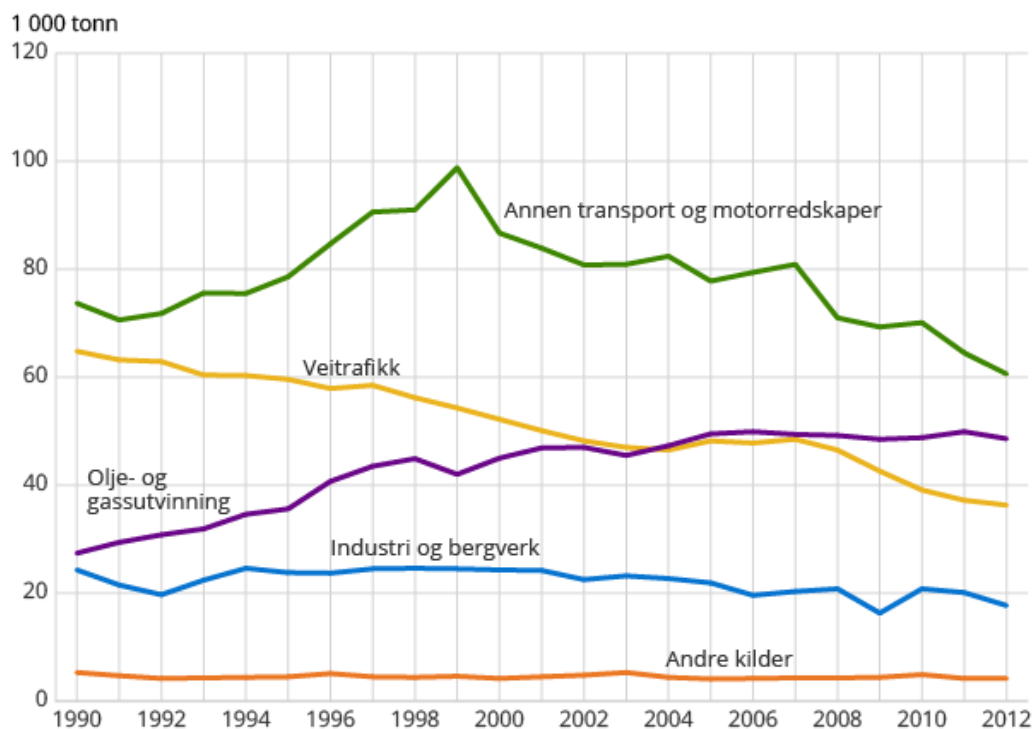
### Nitrogenoksider

NO<sub>x</sub> (NO + NO<sub>2</sub>) dannes ved forbrenning ved høy temperatur. Luft består av 78% molekylært nitrogen, N<sub>2</sub>, der bindingen mellom nitrogenatomene N-N er meget sterk. Høy temperatur/mye energi kan bryte opp denne bindingen og NO<sub>x</sub> dannes. Mesteparten av NO<sub>x</sub> slippes ut i form av NO (~90-95% avhengig av kildetype), mens det resterende slippes ut som NO<sub>2</sub>. Samlede utslipp av NO<sub>x</sub> i Norge i 2012 var 166 000 tonn (Tabell 3, se også Figur 4 for trender). Figur 5 viser kildefordeling av NO<sub>x</sub> fra 1990-2012 i Norge. Utslippene fra kategorien annen transport og motorredskaper er klart 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<sub>x</sub> teknologi). Utslippene både fra annen transport og motorredskaper og veitrafikk (tredje største kilde) er redusert de senere årene, hovedsakelig pga. teknologiforbedringer som

<sup>4</sup> Full nettsadresse: <http://www.norskeutslipp.no/no/Komponenter/Utslipp/Karbondioksid-fossilt/?ComponentType=utslipp&ComponentPageID=180&SectorID=600> [URL 21-05-2014].



følge av skjerpede utslippskrav. Gitt nedgangen i andre kilder medfører dette at den relative andelen  $\text{NO}_x$  fra olje- og gassutvinning har økt de senere årene. De viktigste naturlige kildene til  $\text{NO}_x$  er lyn og utslipp fra jord.  $\text{NO}_2$  er en giftig gass og det er derfor etablert strenge luftkvalitetskrav og grenseverdier.



Kilde: Statistisk sentralbyrå.

Figur 5: Utslipp av  $\text{NO}_x$  etter kilde i perioden 1990 – 2012. (Kilde: Statistisk sentralbyrå, se <http://www.ssb.no/agassn> [URL 05-05-2014]).

Mesteparten av  $\text{NO}_x$  tapes fra atmosfæren ved at det går over til  $\text{HNO}_3/\text{NO}_3^-$ , men noe avsettes også direkte på bakken i form av  $\text{NO}_2$  og utgjør en del av den samlede N-avsetningen.  $\text{HNO}_3$  er svært vannløselig og tapes ved våtavsetning i nedbør. Løst i vann bidrar  $\text{HNO}_3$  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.  $\text{NO}_x$  er også viktig med tanke på ozon ( $\text{O}_3$ ). Reaksjoner mellom  $\text{NO}_x$  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  $\text{NO}_x$  i atmosfæren er typisk en dag. I polarnatten er levetiden lenger (fravær av sollys og OH). Da er en viktig tapsvei reaksjon med  $\text{O}_3$  og dannelse av  $\text{HNO}_3$  på partikler (se Vedlegg A for detaljer). Levetiden for  $\text{HNO}_3$  avhenger av nedbøren, men er i størrelsesorden noen dager.

### Svoveloksider

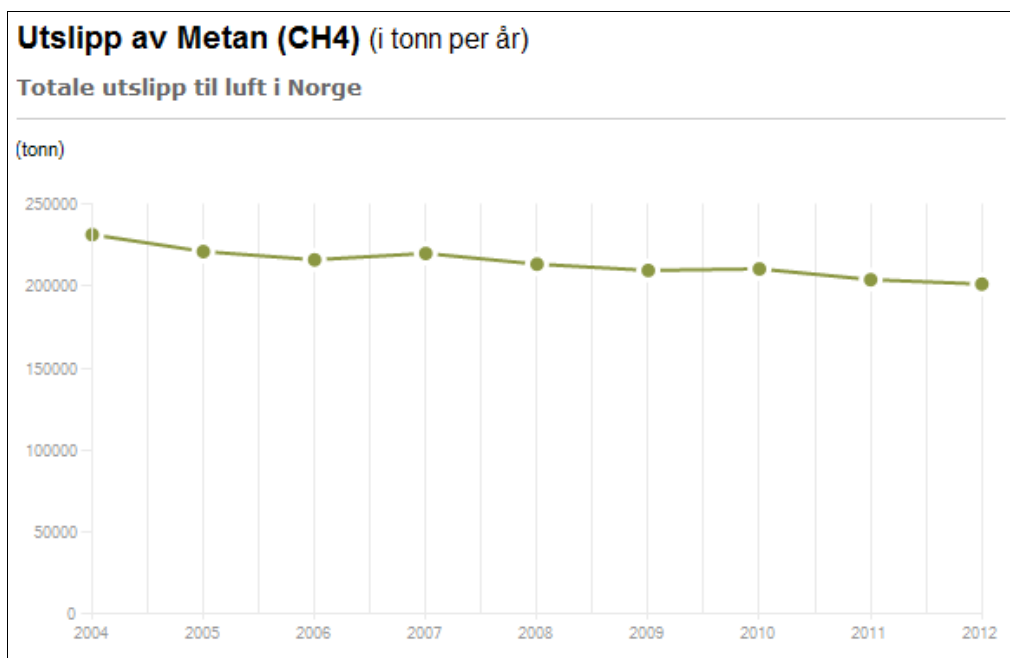
Med  $\text{SO}_x$  menes her mesteparten  $\text{SO}_2$  pluss noe sulfat [ $\text{SO}_4^{2-}$ ]. Industri (bl.a. smelteverk) har vært blant de største antropogene (menneskeskapte) kildene av  $\text{SO}_2$ , skipsfart er en annen stor kilde. De antropogene utslippene av svovel er sterkt redusert i Europa de senere år pga. rensetiltak. Angående naturlige utslipp er vulkaner en viktig svovelkilde, samt DMS (dimetylsulfid,  $\text{CH}_3\text{SCH}_3$ ) fra alger i hav. 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  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) som bidrar til forsuring av jord og vann. Sur nedbør er mindre kritisk i Norge i dag enn det var for få år tilbake.

Levetiden for  $\text{SO}_2$  i atmosfæren er typisk en dag, noe lenger i polarnatten. Levetiden for  $\text{H}_2\text{SO}_4$  avhenger av nedbørmengde, men er i størrelsesorden noen dager.

### Metan $\text{CH}_4$

Metan dannes hovedsakelig ved nedbrytning av organisk materiale uten oksygen tilstede (anaerob nedbrytning). Med oksygen tilstede blir sluttproduktet  $\text{CO}_2$ . 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 spektret rundt  $3,8 \mu\text{m}$  og  $7,6 \mu\text{m}$ . Som klimagass er metan 23 ganger sterkere enn  $\text{CO}_2$  i et 100 års perspektiv (GWP 23). Metan tapes ved reaksjon med OH (som kun dannes med sollys tilstede).

Estimert levetid for  $\text{CH}_4$  i atmosfæren er 8-10 år. Totale norske utslipp er omlag 250 000 tonn pr år (Figur 6).



Figur 6: Totale utslipp av metan i Norge. Kilde: Norske utslipp<sup>5</sup>

<sup>5</sup>

<http://www.norskeutslipp.no/no/Komponenter/Utslipp/Metan/?ComponentType=utslipp&ComponentPageID=55&SectorID=90> [URL 18-08-2014]

**NMVOC (non-methane volatile organic compounds)**

Dette er en stor gruppe gasser som også blir kalt 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<sub>4</sub>, 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<sub>2</sub>. I denne oksidasjonen kan det dannes ozon hvis det er tilstrekkelig NO<sub>x</sub> 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.

**Ozon, O<sub>3</sub>**

Bakkenært ozon stammer fra fotokjemiske reaksjoner mellom flyktige organiske forbindelser («VOC'er») og nitrogenoksider (NO<sub>x</sub>) 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 µg/m<sup>3</sup> 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.

Tabell 3: Totale utslipp av forsurende gasser og ozonforløpere, år 2012. Kilde: Statistisk sentralbyrå, se <http://www.ssb.no/agassn> [URL 05-05-2014].

Utslipp av NOX, SO2, NH3, NMVOC og CO. 1 000 tonn <sup>1</sup>			
	2012	Endring i prosent	
		Siden 1990	2011 - 2012
Nitrogenoksid (NOX)	166	-13,3	-4,6
Svoveldioksid (SO2)	17	-68,1	-9,5
Ammoniakk (NH3)	27	10,7	1,1
Flyktige organiske forbindelser (NMVOC)	137	-53,2	1,0
Karbonmonoksid (CO)	301	-59,8	-2,8

<sup>1</sup> Omfatter ikke utenriks sjø- og luftfart.

## Sot

Sotpartikler, også benevnt «Black Carbon» (BC) dannes ved ufullstendig forbrenning. Utslipp av sot 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 benyttes også for å bli kvitt gass i perioder 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. Sot fra fakling oppstår fordi forbrenningen i flammen er ufullstendig. Ved god forbrenning med nok oksygen tilstede dannes hovedsakelig CO<sub>2</sub> og vann (H<sub>2</sub>O). Ved ufullstendig forbrenning dannes karbonpartikler, dvs. sot. 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<sub>2</sub> og ufullstendig forbrenning oppstår.

De totale årlige utslippene av sot i Norge er omlag 5000 tonn hvorav vedfyring er største kilde<sup>6</sup>. Olje og gassutvinning stod for 12,3 % av totalutslippene i 2011 (se fotnote for nettsadressen til Miljøstatus i Norge).

## 2.2 Maksimale utslipp for Johan Castberg brukt i denne studien

Som tidligere nevnt gjøres det vurderinger og utredninger for to ulike utbyggingsalternativer, halvt nedsenkbar plattform (SEMI) som innebærer ilandføring og FPSO med all aktivitet på feltet. I underlagsmaterialet er det oppgitt utslippstall for årene 2016 – 2049 der det er sortert på installasjonsfase (2016 - 2019 for SEMI, 2018 - 2019 for FPSO), operasjonsfase (2019 – 2049 for begge konsepter) og boring (2018 – 2023 for begge konsepter).

<sup>6</sup> <http://www.miljostatus.no/Tema/Klima/Klimanorge/Utslipp-av-sot-i-Norge/> [URL 18-08-2014]

De ulike komponentene har litt ulik tidsprofil. For CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> 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<sub>x</sub> og SO<sub>x</sub> er det størst utslipp i konstruksjons- og oppstartsfasen når det ligger borerigg på feltet (2018-2022), men så 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 senere ved stabil produksjon.

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 4.

Ang utslipp av BC er det antatt utslippsfaktorer på 0,856 g PM<sub>10</sub>/Sm<sup>3</sup>. Tidligere har NILU gjort vurderinger av faklingsepisoder ved Melkøya (Dag Tønnesen, upublisert arbeide) og Kollsnes (Berglen og Tønnesen, 2009). I sistnevnte studie om hendelse 19. mai 2009 ble det brukt utslippsfaktorer fra Melkøya som viste at sotmengden varierte mellom 4,4 g sot/Sm<sup>3</sup> og 18,8 g sot/Sm<sup>3</sup> (beregninger kommunisert av Asgeir Løvås, StatoilHydro). I snitt ble det produsert 7,2 g sot/Sm<sup>3</sup> fakkellgass. 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 gass og kondensat fra havbunnsbrønnene (tyngre forbindelser), mens kontrollert fakling av gass separert fra oljen på Johan Castberg vil gi mindre utslippsmengde pr mengde fakkellgass som blir brent.

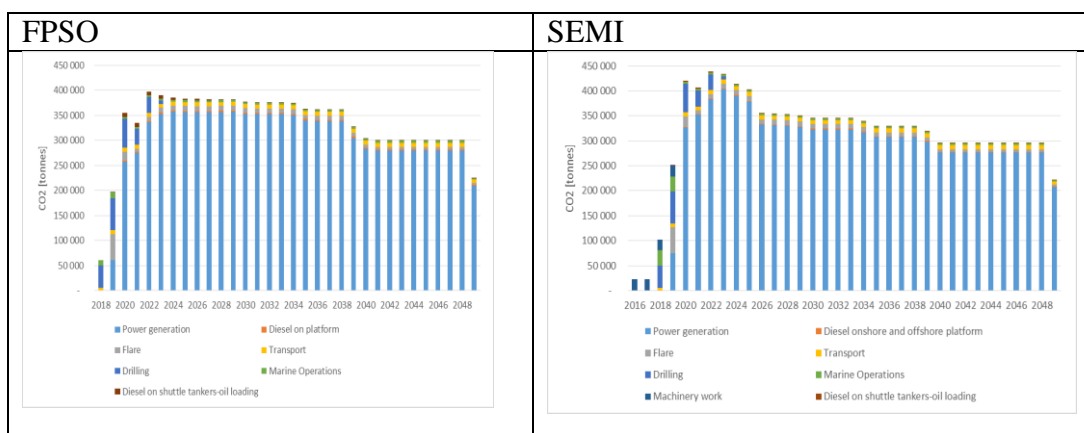
Tabell 4: Maksimale utslipp til luft av komponentene som er vurdert i denne studien.

Utbyggingsalternativ	Komponent	Utslipp (tonn) <sup>1</sup>	År
FPSO	CO <sub>2</sub>	397 603	2022
	CH <sub>4</sub>	1 196	2022
	NO <sub>x</sub>	1 789	2020
	SO <sub>x</sub>	76	2019
	NMVOG	993	2020
	PM <sub>10</sub> <sup>2</sup>	11,8	2019
	BC <sup>2</sup>	9,4	2019
SEMI (Maks utslipp ved Veidnes gitt i parantes)	CO <sub>2</sub>	438 848 (22 282)	2022
	CH <sub>4</sub>	537 (273)	2022
	NO <sub>x</sub>	2 579 (442)	2019
	SO <sub>x</sub>	105 (14)	2019
	NMVOG	487 (299)	2020
	PM <sub>10</sub> <sup>footnote 2</sup>	11,8	2019
	BC <sup>footnote 2</sup>	9,4	2019

1) Alle tall hentet fra underlagsmaterialet; Appendix B: Emissions to air, 1) Only Skrugard and Havis Table B1 Total emissions to air including installation, operation, drilling (onshore and offshore for SEMI) (tonnes).

2) Utslipp av PM<sub>10</sub> og BC er basert på totalt faklet volum 13,8 mill Sm<sup>3</sup>/år, utslippsfaktor 0,856 g PM<sub>10</sub>/Sm<sup>3</sup> og antagelsen om at BC utgjør 80% av PM<sub>10</sub>.

Figur 7 viser utvikling av CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CH<sub>4</sub>, NMVOG og SO<sub>x</sub> over feltets levetid for de to utbyggingsalternativene. Fordelingen viser hvordan de ulike komponentene har ulik tidsprofil, enkelte har størst utslipp i konstruksjons- og oppstartsfasen (eks NO<sub>x</sub>), mens andre har størst utslipp i driftsfasen (CO<sub>2</sub>).



Figur 7: Utslipp av CO<sub>2</sub> (øverst), NO<sub>x</sub> (2. linje etc.), CH<sub>4</sub>, NMVOG og SO<sub>x</sub> over feltets levetid, fordelt på ulike utslippskilder.



Figur 7: forts.

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

I denne studien er utslipp av CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, NMVOC og BC vurdert. I tillegg diskuteres ozon siden utslipp av NO<sub>x</sub> pluss hydrokarboner og sollys gir dannelse av ozon nedstrøms av utslippet (se kap. 2.1 og Vedlegg A).

### **Klimagassene CO<sub>2</sub> og CH<sub>4</sub>, samt NMVOC**

CO<sub>2</sub> og CH<sub>4</sub> 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<sub>2</sub>. NMVOC kategoriseres derfor inn under klimagasser og utslippene vurderes i henhold til klimaeffekten av dets endeprodukt CO<sub>2</sub>. Diffuse utslipp og lekkasjer av CH<sub>4</sub> 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 eller heller ikke omtalt her. Her vurderes kun miljøeffekten av utslippene.

CO<sub>2</sub> er ikke giftig, men kan være farlig ved store konsentrasjoner. Det har vært rapportert tilfeller der CO<sub>2</sub> 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<sub>x</sub>**

For NO<sub>x</sub> er det tre relevante problemstillinger ang. miljø: eutrofiering, forsuring og dannelse av ozon. Eutrofiering er overgjødning og tilførsel av ekstra nitrogen. Hovedtapsvei for NO<sub>x</sub> er overgang til HNO<sub>3</sub> som er meget vannløselig. Løst i vann vil HNO<sub>3</sub> dissosiere fullstendig ( $H^+ + NO_3^-$ ) og bidra til forsuring av vann og vassdrag. Siste effekt er dannelse av ozon ved fotokjemiske reaksjoner der NO<sub>x</sub>, hydrokarboner og sollys inngår. NO<sub>x</sub>-utslippene fra Johan Castberg vurderes opp mot alle disse tre problemstillingene.

### **Svovel SO<sub>x</sub>**

Angående utslipp av svovel er forsuringseffekten den mest relevante for denne studien. SO<sub>2</sub> oksideres til sulfat H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 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<sub>2</sub> 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<sub>x</sub> er derfor ikke vurdert i denne studien.

### **Sot**

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



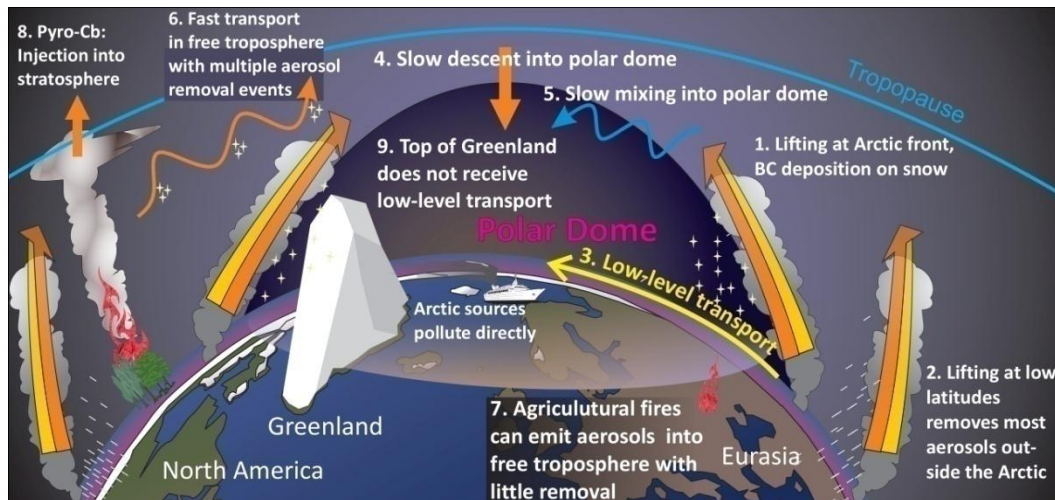
På 1950-tallet ble det rapportert om høye nivåer av partikler i atmosfæren i Arktis basert på observasjoner fra fly, og begrepet "Arctic haze" ble lansert. Dataene og problemstillingene ble imidlertid liggende i rundt tjue år helt til observasjoner på 1970-tallet viste høye konsentrasjoner av sulfat, 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 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, sot, 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 (isentrop flater)<sup>7</sup>. 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 8 viser en skjematisk framstilling av transporten av forurensninger (sotpartikler) inn i Arktis.

---

<sup>7</sup> Isentrope flater betegner flater med konstant potensiell temperatur  $\theta$ . 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 8: 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 denne delen av Arktis. 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  $\text{SO}_2$  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 "ørkentalstander". Utvasking av forurensninger i nedbør og skyer, som ellers er en av de viktigste tapsprosessene, blir dermed lite effektiv (Barrie og Platt, 1997). Halveringstiden 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  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_2$  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. 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. Den vertikale stabiliteten er også mindre, 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<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> og NMVOC øker.

På 1970- og 1980-tallet var det SO<sub>2</sub>/sulfat og NO<sub>2</sub>/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 sotpartikler (Stohl et al., 2007) blitt viktig. Klimaeffekten av BC ("black carbon" = sot) og andre partikler i Arktis har vært et sentralt forskningstema (Skeie et al., 2011) de siste årene.

Arktis har en nøkkelrolle i spørsmålet om menneskeskapte klimaendringer. Det er her temperaturendringene er antatt å kunne bli størst, og det er her vi finner viktige tilbakekoblingsmekanismer som kan forsterke klimaendringene. Konsekvensen av økt absorpsjon av solstråling gjennom redusert havisutbredelse er ett eksempel på en slik mekanisme som kan akselerere temperaturøkningen. Frigivelse av drivhusgassen metan fra smeltende permafrost er et annet eksempel. Middelttemperaturen 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 sot (også omtalt som 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.

Vedr. pkt. 1) viser studier at effekten av sot er større jo lavere i atmosfæren partiklene befinner seg (Flanner, 2013). Likeledes er effekten av sot 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 sotpartikler 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).

Klimaeffekten av BC og andre partikler i Arktis kan være vanskelig å tallfeste. Dagens "state-of-the-art"-modeller som brukes til slike beregninger, har problemer

med å gi riktige konsentrasjonsnivåer av BC i Arktis (AMAP, 2011), og netto strålingseffekt, dvs. summen av de positive og negative direkte og indirekte effektene, blir dermed 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  $W m^{-2} / Tg \text{ år}^{-1}$ ), dvs. hvor stort strålingspådriv vil et visst utslipp gi avhengig av hvor det slippes ut. Utslipp i Arktis vil gi et normalisert strålingspådriv nord for  $60^\circ N$  lik  $0,38 W m^{-2} / Tg \text{ år}^{-1}$ , men et tilsvarende utslipp på midlere bredder vil gi et normalisert strålingspådriv lik  $0,17 W m^{-2} / Tg \text{ år}^{-1}$  (Sand et al., 2013). Og den tilhørende temperaturresponsen (enhet K) grunnet økte utslipp i Arktis er også større for områdene i nord (nord for  $60^\circ N$ ) enn for områder lengre sør. Følsomheten (enhet  $K / Tg \text{ år}^{-1}$ ) er beregnet til å være  $0,24 K / Tg \text{ år}^{-1}$  for Arktiske utslipp og  $0,05 K / Tg \text{ år}^{-1}$  for utslipp lenger sør (Sand et al., 2013). Regnet globalt er følsomheten hhv  $0,03 K / Tg \text{ år}^{-1}$  og  $0,01 K / Tg \text{ år}^{-1}$ . Med andre ord, en gitt temperaturøkning grunnet en bestemt mengde utslipp er 3-5 ganger større om utslippene skjer i Arktis enn om de skjer lenger sør.

Utslipp av BC i selve Arktis vil derfor gi større effekt og ha større konsekvenser enn et tilsvarende utslipp lenger sør. En åpning av nordområdene for storstilt skipstrafikk og petroleumsaktivitet kan dermed føre til utslipp som potensielt sett har større effekt på klimaet enn tilsvarende aktivitet lenger sør.

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 og/eller Veidnes 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.

## 2.4 Forsuring og eutrofiering, eksisterende nivåer og tålegrenser

Forsuring er senkning av pH i vassdrag og innsjøer grunnet økning i sur nedbør<sup>8</sup>. 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 jordsmunn.

Eutrofiering (overgjødsling) innebærer økt planteproduksjon forårsaket av økt tilførsel av næringssalter. Eutrofiering kan være et problem både for vegetasjon, ferskvannøkosystemer 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.

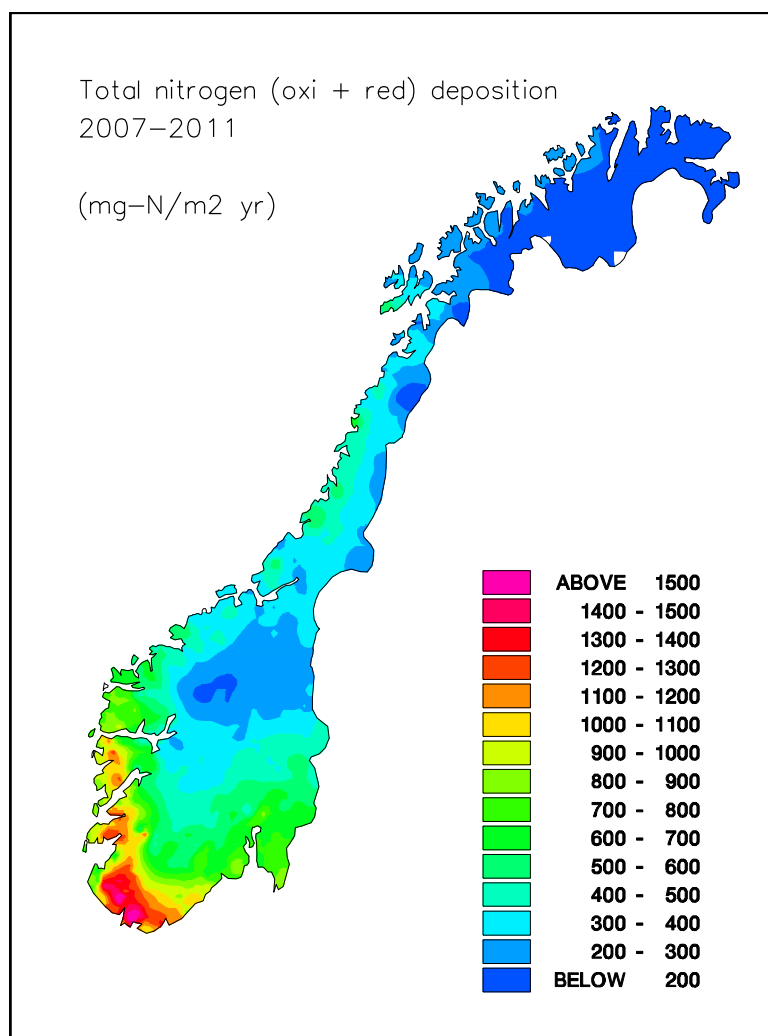
For å vurdere økt avsetning fra petroleumsvirksomhet og dets mulige effekt på miljøet er det viktig å etablere to viktige begreper; eksisterende avsetning og

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

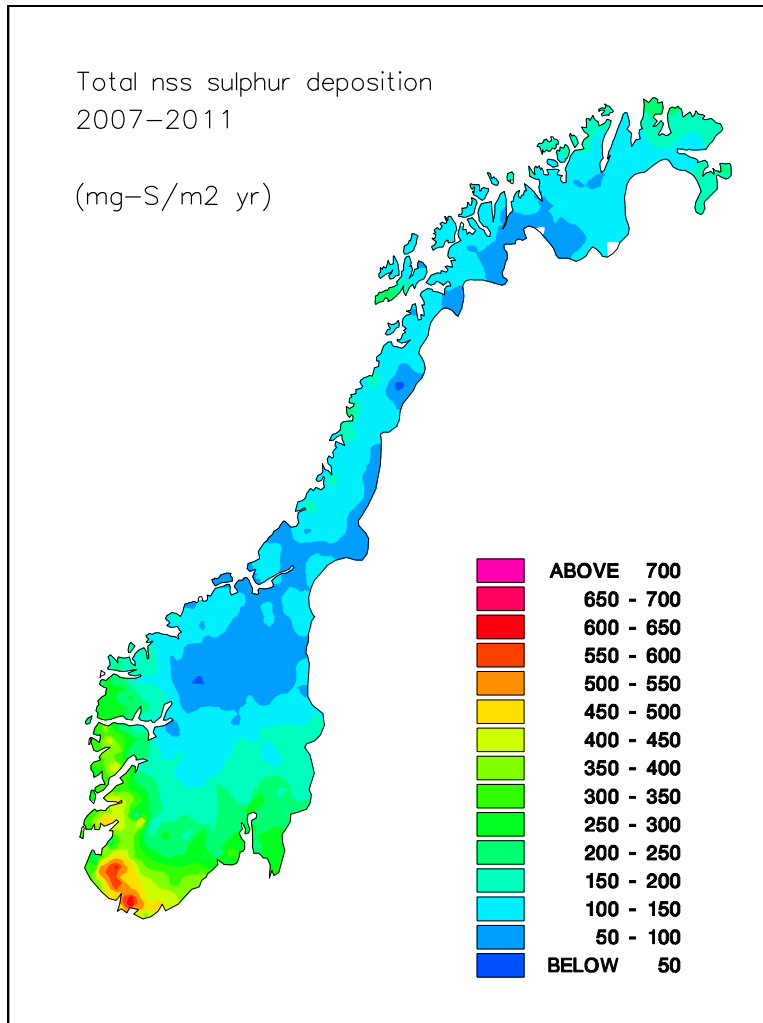
naturens tålegrense. Med andre ord er det tre begreper som må sammenstilles, eksisterende avsetning, øket avsetning fra petroleumsvirksomhet og naturens evne til å tåle denne (økte) avsetningen.

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 9. De største verdiene sees på Sør-Vestlandet grunnet langtransportert forurensning fra Europa (opp mot 1500 mg N/(m<sup>2</sup> år)). Laveste verdier sees i Nord-Norge og spesielt Finnmark (avsetning under 200 mg N/(m<sup>2</sup> år)).

Oppdatert avsetning av svovel er vist i Figur 10. Igjen er det Sør-Vestlandet som har de høyeste verdiene (opp mot 700 mg S/m<sup>2</sup> år) grunnet langtransportert forurensning. 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<sup>2</sup> år) (Berglen et al., 2013).



Figur 9: Total avsetning av nitrogen (oksidert + redusert) (mg N/m<sup>2</sup> år som årsmiddel for perioden 2007 - 2011. Kilde Aas et al., 2012.

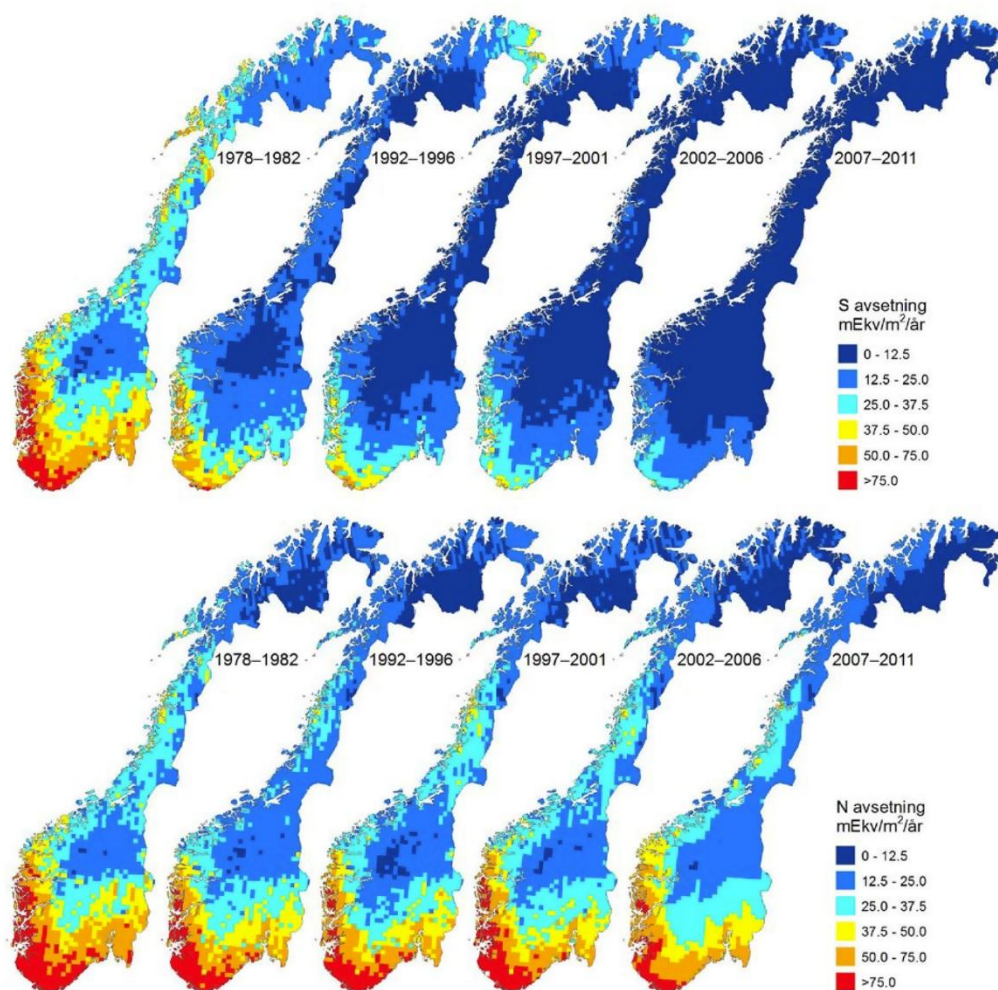


Figur 10: Total avsetning av svovel korrigert for sjøsalt (nss) som årsmiddel for perioden 2007 – 2011. Kilde Aas et al., 2012.

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 (Larssen et al., 2012). Total avsetning av svovel og nitrogen fra 1978 – 2011 er gitt i Figur 11. Merk at denne figuren bygger på de samme underlagsmaterialet som i Figur 9 og Figur 10, men er her omregnet til mEkv / (m<sup>2</sup> år). Utslipp av ulike forsurende stoffer kan sammenveies til syre-ekvivalenter ved hjelp av stoffenes forsurende effekt.

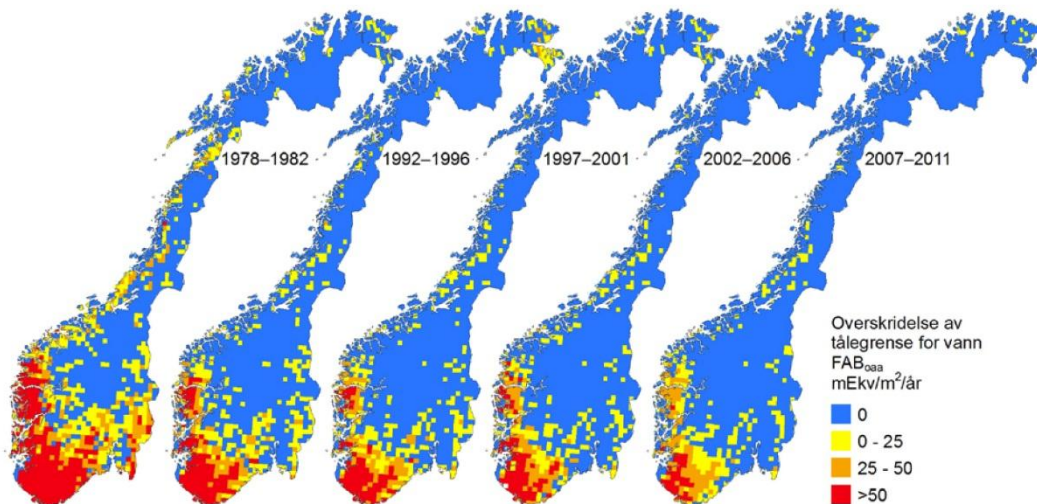
Se ellers studiene for Jan Mayen (Solberg et al., 2011a) og Barentshavet Sør (Solberg et al., 2011b) for utfyllende og mer detaljert informasjon.



Figur 11: Avsetning av svovel (over) og nitrogen (under) i fem perioder fra 1978 til 2011. Enhet: mEkv / (m<sup>2</sup> år). Kilde: Larssen et al., (2012).

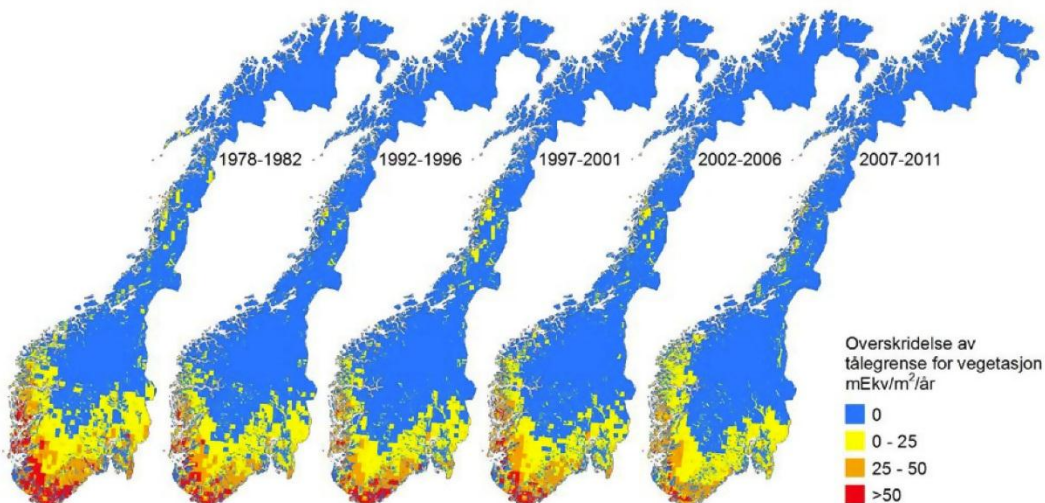
Et viktig poeng ved Figur 11 er tidstrenden fra 1978 – 2011. Utslippene av svovel har gått sterkt nedover i Europa de siste 30 år, mest av alt takket være internasjonale avtaler (CLRTAP/Langtransportkonvensjonen i 1979, Gøteborgprotokollen i 1999), men også pga økonomisk krise i det tidligere Sovjetunionen på 1990-tallet.

Figur 12 viser overskridelser av tålegrenser for forsurening av overflatevann med bruk av FAB<sub>0aa</sub>-modellen (Larssen et al., 2012). Igjen er det Sør-Vestlandet som er mest rammet med overskridelser. Nord-Norge er markert i blått (ikke overskridelser).



Figur 12: Beregnet overskridelse av tålegrenser for forsurening av overflatevann med bruk av  $FAB_{0aa}$ -modellen. Enhet:  $mEkv / (m^2 \text{ år})$ . Kilde: Larssen et al., (2012).

Også når det gjelder overskridelse av tålegrenser for overgjødslingseffekter (Figur 13) er Sør-Vestlandet mest rammet og Nord-Norge har ikke overskridelser (markert i blått).



Figur 13: Beregnet overskridelse av tålegrenser for overgjødslingseffekter av vegetasjon (empiriske tålegrenser). Enhet:  $mEkv / (m^2 \text{ år})$ . Kilde: Larssen et al., (2012).

Merk at 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  $\frac{1}{4}$  lengdegrad og  $\frac{1}{8}$  breddegrad. For å illustrere tilsvarende



dette  $9,5 \times 13,9 \text{ km}^2$  ved  $70^\circ\text{N}$ . 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. Det bør derfor vurderes å foreta en mer grundig studie av påvirkningen av  $\text{NO}_x$  og  $\text{SO}_x$  hvis følsomme lokaliteter forefinnes i de nye industrianleggenes nærhet, spesielt hvis løsningen med ilandføring velges (SEMI) med dertil utslipp fra Veidnes og tilhørende skipstrafikk.

### 3 Vurdering av de ulike komponentene i utslipp fra Johan Castberg

#### 3.1 Vurdering av klimagassene $\text{CO}_2$ , $\text{CH}_4$ og NMVOC

Av disse tre komponentene er det klart  $\text{CO}_2$  som har det største utslippet og som er viktigst når det gjelder økning i strålingspådriv/global oppvarming.

Selv om metan er 23 ganger kraftigere klimagass enn  $\text{CO}_2$  i 100 års tidshorisont er utslippene av  $\text{CH}_4$  såpass lave sammenlignet med  $\text{CO}_2$  slik at effekten av  $\text{CO}_2$  er klart viktigst (eksempelvis 1196 tonn  $\text{CH}_4$  i 2022 for FPSO vs 397 603 tonn  $\text{CO}_2$ , se Tabell 4).

NMVOC som slippes ut vil oksideres til  $\text{CO}_2$ , men igjen er utslippene av hydrokarboner såpass lave (993 tonn NMVOC i 2020 for FPSO) slik at  $\text{CO}_2$  er klart viktigst.

$\text{CO}_2$  og  $\text{CH}_4$  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  $\text{CO}_2$ , vektet etter klimaeffekt. Her vil samlede omregnede utslipp av klimagasser være i underkant av 450 000 tonn omregnet til  $\text{CO}_2$ ; 439 000 tonn  $\text{CO}_2$  (SEMI for 2022) +  $23 \times 537$  tonn  $\text{CH}_4$  (SEMI for 2022 gitt at  $\text{CH}_4$  er 23 ganger sterkere klimagass enn  $\text{CO}_2$  i 100-års perspektiv) + 487 tonn NMVOC (SEMI 2020, gitt at alle hydrokarboner oksideres til  $\text{CO}_2$ ). Selvfølgelig er dette forenklet, men gir et anslag over samlede årlige maksimale klimagassutslipp fra Johan Castberg.

Sammenlignet med utslipp fra enkeltkilder fra petroleumsvirksomhet til havs og fra landbasert industri (Tabell 1 og Tabell 2) vil utslipp tilsvarende i underkant av 450 000 tonn  $\text{CO}_2$  plassere Johan Castberg på 9. plass over petroleumsvirksomhet til havs i Norge i 2012 og 7. plass over landbasert industri. Utbyggingsalternativet med ilandføring på Veidnes (SEMI) vil gi aktivitet både til havs og i land, derfor er begge kategorier nevnt. Med tanke på  $\text{CO}_2$ - og klimagassutslipp fra petroleumsvirksomhet vil Johan Castberg være et middels stort felt. På den annen side vil det også være slik at  $\text{CO}_2$ -utslippene forårsaket av oljen og gassen som utvinnes vil være flere størrelsesordener større enn  $\text{CO}_2$ -utslippene fra selve produksjonen.

Elektrifisering, dvs. kraftforsyning via strømledning fra land for å erstatte gassturbinene og derved redusere CO<sub>2</sub>-utslippene har vært vurdert. Konklusjonen er at dette vil være en teknisk krevende og dyr løsning. Høy tiltakskostnad og manglende teknologi for overføring av kraft fra land til flyter har derfor gjort at Johan Castberg feltutviklingsprosjekt har gått bort fra en slik (Statoil, RE-PM050-00004-Electrification Report).

### 3.2 Vurdering av NO<sub>x</sub>

Årlig utslipp av NO<sub>x</sub> er beregnet å bli maksimalt hhv 1 789 tonn (FPSO år 2020) eller 2 578 tonn (SEMI år 2019), se Tabell 4. Utslippene fra SEMI inkluderer både utslipp på land (bl.a. Veidnes) og på felt. Dog vil en mindre del av utslippene vil komme fra terminalen på Veidnes ved valg av utbyggingsalternativ SEMI (Tabell 4).

Ang. eutrofiering og forsuring er det avsetning av nitrogen som er bestemmende. I tidligere studier ang. 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<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, partikler (også kalt Particulate Matter, PM hvor eks. PM<sub>10</sub> betegner partikler med dynamisk diameter mindre enn 10 µm), CH<sub>4</sub>, NMVOC, BC (Black Carbon) og OC (Organic Carbon) slippes ut. De totale utslippene av NO<sub>x</sub> 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 2 578 tonn (SEMI-konseptet år 2019). 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<sup>2</sup> år). Samme maksimumsverdi kan forventes for Johan Castberg i oppstartsfasen (scenario SEMI 2019). Gitt at nåværende avsetning er rundt 200 mg N/(m<sup>2</sup> år) er forventet maksimumsbidrag fra Johan Castberg ubetydelig (under 5 % av eksisterende avsetning). Maksimalt bidrag fra Johan Castberg vil også være mindre enn variasjonen fra år til år (som styres av langtransportert NO<sub>x</sub> og nedbørsmønster). I selve driftsfasen vil utslipp av NO<sub>x</sub> være rundt 500 tonn pr år, dvs. 1/5 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<sub>3</sub>

Tredje miljøeffekt av NO<sub>x</sub>-utslipp er dannelse av ozon. Lokalt vil utslipp av NO<sub>x</sub> gi nedgang i ozon pga. reaksjon med NO, såkalt titrering ( $\text{NO} + \text{O}_3 \rightarrow \text{NO}_2 + \text{O}_2$ ). Men nedstrøms av utslippet vil NO<sub>x</sub>, hydrokarboner og sollyst gi økt dannelse av O<sub>3</sub> (se Vedlegg A for detaljer). Beregninger for Barentshavet Sør (Solberg et al, 2012b) ga økning i 3 mnd. AOT40-verdi<sup>9</sup> (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 middelværdi av O<sub>3</sub> over 120 µg/m<sup>3</sup>. Dette er eneste parameter der beregningene gir en viss økning fra petroleumsaktivitet, opp med 1 tilfelle fra dagens 10 tilfeller pr år. Gitt at ozon dannes nedstrøms av utslippspunktet ved reaksjoner mellom hydrokarboner og NO<sub>x</sub> med sollyst tilstede vil økning i ozon forekomme på regional skala. Ved vind fra nord kan dette skje over land.

### 3.4 Vurdering av SO<sub>x</sub>

Årlig utslipp av SO<sub>x</sub> er beregnet å bli maksimalt hhv 76 tonn (FPSO år 2019) eller 105 tonn (SEMI også år 2019), se Tabell 4.

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, samt 4 tonn pr år fra landanlegg i Finnmark og 105 tonn (SEMI-konseptet år 2019). Likeledes er de sammenlignbare når det gjelder geografisk utslippsfordeling med utslipp både offshore, fra landanlegg, samt skipstrafikk (jfr Tabell 4 er utslippene størst offshore). 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<sup>2</sup> år). Samme maksimumsverdi kan forventes for Johan Castberg i oppstartsfasen (scenario SEMI 2019). Gitt at nåværende avsetning er rundt 200 mg S/(m<sup>2</sup> 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<sub>x</sub> være rundt 13 tonn pr år, dvs. 8% av utslippene i oppstartsfasen og forventet maksimumsavsetning vil da være tilsvarende mindre.

### 3.5 Samlet konklusjon for NO<sub>x</sub>, ozon og SO<sub>x</sub>

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.

<sup>9</sup> AOT40 er akkumulert ozon over terskelverdien 40 ppb.

Beregning av N120 gir bare 1 ekstra dag med 8-timers middel over  $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$  både på Svalbard og i Finnmark. Videre vil denne maksimalbelastningen opptre i oppstartsfasen (2019-2020) mens utslippene i driftsfasen vil være 1/5 ( $\text{NO}_x$ ) og en 1/10 ( $\text{SO}_x$ ) av utslippene i oppstartsfasen.

Basert på disse resultatene er konklusjonen at bidraget til eutrofiering og forsurening 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 forsurening, eller ligger på grensen til overskridelse, vil et hvert bidrag til økning av svovel- og nitrogenavsetningen potensielt endre dette bildet. Videre vil bidragene av  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_2$  og ozon, samt avsetninger av nitrogen og svovel fra den planlagte petroleumsaktivitet høyst sannsynlig 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.

Når utbyggingsløsning (FPSO eller SEMI) er bestemt bør det derfor vurderes å foreta oppdaterte studier med detaljerte utslipp for å vurdere lokal påvirkning på flora og fauna og om det finnes sårbare naturtyper i området som krever spesiell oppmerksomhet. Dette gjelder spesielt hvis løsningen med ilandføring velges med tilhørende utslipp fra landbaserte anlegg nær lokalitetene som påvirkes (flora og fauna).

### 3.6 Vurdering av BC

Maksimalt årlig utslipp av BC er beregnet å bli 9,4 tonn (begge utbyggingsløsninger, år 2019), se Tabell 4.

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 middelværdi 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  $0,856 \text{ g PM}_{10}/\text{Sm}^3$  samt at BC utgjør 80% av  $\text{PM}_{10}$ . 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. 2.2 for ytterligere beskrivelse). Det er derfor viktig at det blir valgt teknologi som gir optimale forhold for å unngå fakling med dertil minimale utslipp.

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 Forslag til videre oppfølging

Finnmark har i dag ikke overskridelse av tålegrenser for eutrofiering og forsurening, men det kan lokalt finnes arter (flora og fauna) eller berggrunn som gjør at spesifikke områder kan være spesielt følsomme. Når utbyggingsløsning (FPSO eller SEMI) er bestemt bør det vurderes å foreta en mer grundig studie av påvirkningen av NO<sub>x</sub> og SO<sub>x</sub> hvis følsomme lokaliteter forefinnes i de nye industrianleggenes nærhet, spesielt hvis løsningen med ilandføring velges (SEMI) med dertil utslipp fra landbaserte anlegg (Veidnes) og tilhørende skipstrafikk nær lokalitetene som påvirkes (flora og fauna).

I tillegg, hvis utbyggingsalternativ SEMI velges bør det også foretas vurderinger av skipsutslipp ved Veidnes og røykfanens potensielle innvirkning på lokal luftkvalitet (dvs utslipp av NO<sub>x</sub>). Dette er ikke vurdert i denne rapporten siden det ikke foreligger spesifikk informasjon om utslipp fra de enkelte (eventuelle) skip.

#### 5 Referanser

- Aas, W., Hjellbrekke, A.-G., Hole, L.R., Tørseth, K. (2012) Deposition of major inorganic compounds in Norway 2002-2006. 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., Burkhardt, 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., Dauge, F., Andresen, E., Haugsbakk, I., Nilsson, L.O., Ofstad, T., Tønnesen, D., Vadset, M., Våler, R.L. (2013) Grenseområdene Norge-Russland. Luft- og nedbørkvalitet, april 2012-mars 2013. Kjeller, NILU (NILU OR 42/2013).

- 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).
- 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<sub>4</sub>) ved bruk av δ<sup>13</sup>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.
- 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 1<sup>st</sup> and 2<sup>nd</sup> 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.
- Seinfeld, J.H., Pandis, S.N. (1998) Atmospheric chemistry and physics: from air pollution to climate change. New York, John Wiley & Sons, Inc.
- Simoës, 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 (2013) Electrification report. Statoil (RE-PM050-00004-Electrification Report).
- Stohl, A. (2006) Characteristics of atmospheric transport into the Arctic troposphere. *J. Geophys. Res.*, *111*, D11306, doi:10.1029/2005JD006888.
- Stohl, A., Berg, T., Burkhardt, 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.
- Ødemark, K., Dalsøren, S.B., Samset, B.H., Berntsen, T.K., Fuglestad, 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<sub>4</sub> (metan) til CO<sub>2</sub>, dannelse av OH og tap av NO<sub>x</sub> i nattekjemi.**



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<sub>4</sub> (metan) med NO tilstede.

I troposfæren gir oksidasjonskjeden av CH<sub>4</sub> til CO til CO<sub>2</sub> dannelse av O<sub>3</sub> hvis NO-nivået er høyere enn 5-10 ppt (parts per trillion, 10<sup>-12</sup>, i blandingsforhold). Nivået av NO avgjør «skjebnen» til peroksy-radikalet (RO<sub>2</sub>), her representert ved CH<sub>3</sub>O<sub>2</sub>. Andre tyngre hydrokarboner følger samme mønster, her er CH<sub>4</sub> brukt som eksempel. CH<sub>2</sub>O (formaldehyd) kan enten reagere med OH eller fotolyseres. Forskjellige nedbrytningsveier av CH<sub>2</sub>O gir ulik dannelse av O<sub>3</sub>. Dette eksempelet viser at oksidasjon av 1 CH<sub>4</sub>-molekyl gir dannelse av 4 O<sub>3</sub>-molekyler. Kilde: Jacob (1999)

CH <sub>4</sub> + OH	→ (O <sub>2</sub> )	CH <sub>3</sub> O <sub>2</sub> + H <sub>2</sub> O
CH <sub>3</sub> O <sub>2</sub> + NO	→	CH <sub>3</sub> O + NO <sub>2</sub>
CH <sub>3</sub> O + O <sub>2</sub>	→	CH <sub>2</sub> O + HO <sub>2</sub>
CH <sub>2</sub> O + OH	→	CHO + H <sub>2</sub> O
CHO + O <sub>2</sub>	→	CO + HO <sub>2</sub>
2 × (HO <sub>2</sub> + NO	→	OH + NO <sub>2</sub> )
3 × (NO <sub>2</sub> + hv	→ (O <sub>2</sub> )	NO + O <sub>3</sub> )
<b>Mellomsum:</b>		
CH <sub>4</sub> + 6O <sub>2</sub> + hv	→	CO + 3O <sub>3</sub> + 2H <sub>2</sub> O
<b>Deretter:</b>		
CO + OH	→ (O <sub>2</sub> )	CO <sub>2</sub> + HO <sub>2</sub>
HO <sub>2</sub> + NO	→	OH + NO <sub>2</sub>
NO <sub>2</sub> + hv	→ (O <sub>2</sub> )	NO + O <sub>3</sub>
<b>Totalt:</b>		
CH <sub>4</sub> + 8O <sub>2</sub> + hv	→	CO <sub>2</sub> + 4O <sub>3</sub> + 2H <sub>2</sub> O

### 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<sub>3</sub> den viktigste oksidanten.

O <sub>3</sub> + hv	→	O <sub>2</sub> + O( <sup>1</sup> D) (hv ≤ 320 nm)
O( <sup>1</sup> D) + H <sub>2</sub> O	→	2OH

O(<sup>1</sup>D) er en eksitert form av O (mye energi, reagerer raskt med andre molekyler)

### Tap av NO<sub>x</sub> i nattkjemi

I nattkjemi er det fravær av OH. NO<sub>2</sub> tapes derfor ikke ved NO<sub>2</sub> + OH som er viktig tapsvei i dagkjemien.

NO <sub>2</sub> + O <sub>3</sub>	→	NO <sub>3</sub> + O <sub>2</sub>
NO <sub>3</sub> + NO <sub>2</sub>	→	N <sub>2</sub> O <sub>5</sub> + M
N <sub>2</sub> O <sub>5</sub> + H <sub>2</sub> O	→ (på partikler)	2HNO <sub>3</sub>

M er molekyl som tar av overskytende energi (N<sub>2</sub> eller O<sub>2</sub>).

NO<sub>3</sub> er ustabil i dagslys, men viktigste oksidant i nattkjemi og viktig i polarnatten.



RAPPORTTYPE OPPDRAKS RAPPORT	RAPPORT NR. OR 25/2014	ISBN: 978-82-425-2706-6 (trykt) 978-82-425-2707-3 (elektronisk) ISSN: 0807-7207	
DATO 2014-08-25	ANSV. SIGN. <i>Olav Anders Brathen</i>	ANT. SIDER 39	PRIS NOK 150,-
TITTEL Johan Castberg-feltet i Barentshavet Vurdering av utslipp til luft		PROSJEKTLEDER Tore Flatlandsmo Berglen	
		NILU PROSJEKT NR. O-113085	
FORFATTER(E) Tore Flatlandsmo Berglen, Dag Tønnesen og Sverre Solberg		TILGJENGELIGHET * A	
		OPPDRAKSGIVERS REF. Kjersti Dagestad	
KVALITETSSIKRER: Sverre Solberg			
OPPDRAKSGIVER Statoil Prosjektet ledes av Akvaplan-NIVA v/ Ida Dahl-Hansen			
STIKKORD Luftkvalitet	Industriforurensning	Polare områder	
REFERAT Miljøkonsekvensene av fremtidige utslipp til luft fra Johan Castberg-feltet i Barentshavet er vurdert. Tidligere beregninger med WRF-EMEP-modellen er benyttet. CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> og NMVOC er vurdert utfra deres bidrag til økt drivhuseffekt (klimagasser) der Johan Castberg er et middels stort felt i norsk sammenheng. Utslipp av NO <sub>x</sub> vil gi bidrag til eutrofiering og forsurening (ved avsetning), SO <sub>x</sub> gir bidrag til forsurening. Konklusjonen er at bidraget til eutrofiering og forsurening i Nord-Norge fra Johan Castbergfeltet ubetydelig. Økning i ozon, dvs N120, dvs. antall dager med 8-timers løpende middelvei av O <sub>3</sub> over 120 µg/m <sup>3</sup> er eneste parameter der beregningene gir en viss økning, opp med 1 tilfelle fra 10. Utslipp av Black Carbon, dvs. sot 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			
ABSTRACT The environmental impact of future emissions from activities at the Johan Castberg oil field has been investigated. Concerning emissions of CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> og NMVOC the total emissions rank Johan Castberg as a medium size field in Norway. For NO <sub>x</sub> and SO <sub>x</sub> , the environmental impact from deposition is considered to be small. Concerning formation of ozone from NO <sub>x</sub> emissions the model estimates give an increase of N120 (number of days with 8-hrs running mean value higher than 120 µg/m <sup>3</sup> ), up from 10 to 11. Emissions of Black Carbon is also estimated, and the climate impact is considered to be small.			

\* Kategorier

A	Åpen – kan bestilles fra NILU
B	Begrenset distribusjon
C	Kan ikke utleveres

REFERANSE: O-113085  
DATO: AUGUST 2014  
ISBN: 978-82-425-2706-6 (trykt)  
978-82-425-2707-3 (elektronisk)

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.