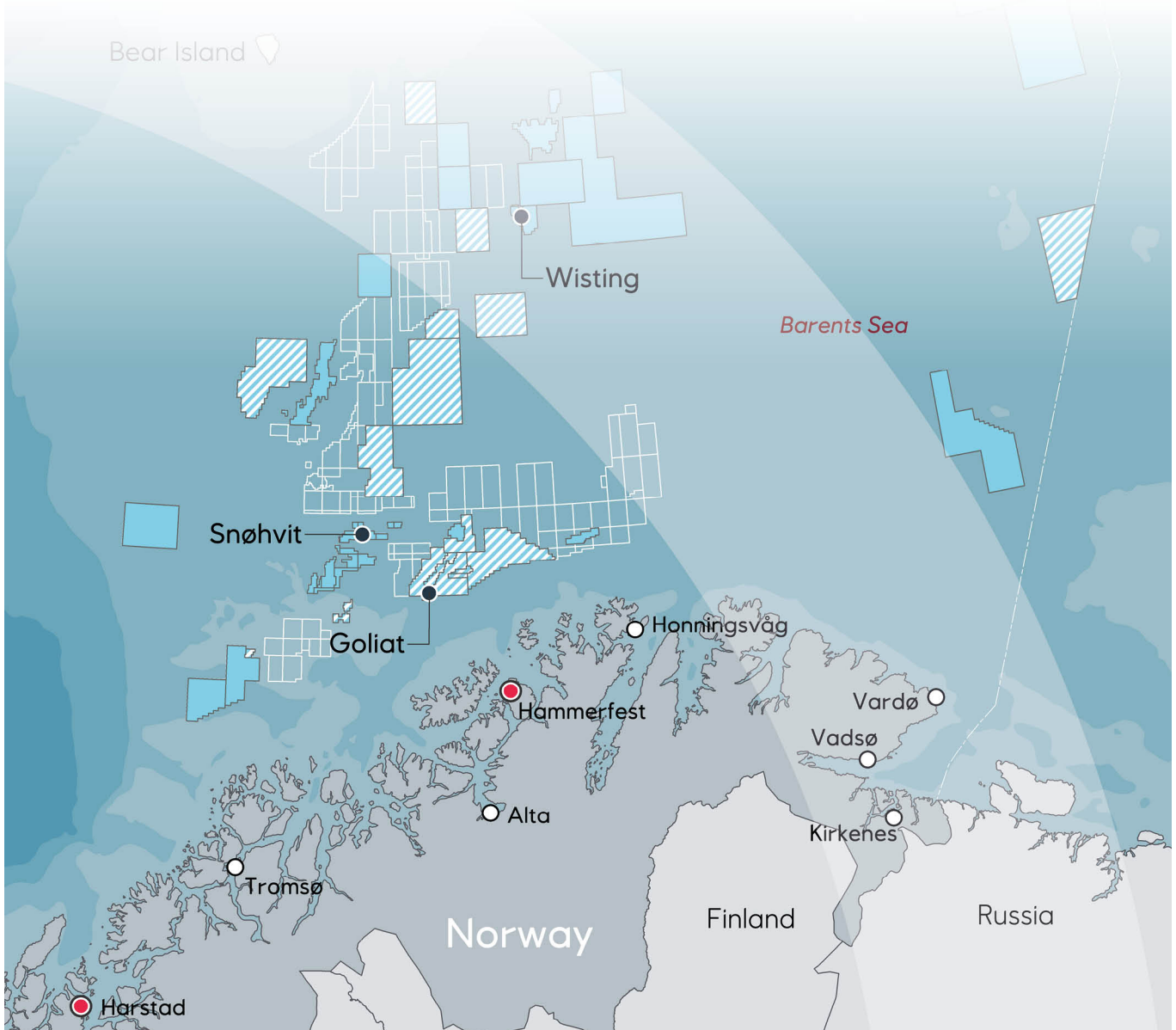


# Vurdering av utslipp til luft fra Wistingfeltet i Barentshavet

Underlag for konsekvensutredning

Tore Flatlandsmo Berglen og Dag Tønnesen





## Forord

NILU – Norsk institutt for luftforskning har på oppdrag for Akvaplan-niva AS og Equinor ASA vurdert miljøkonsekvenser av utslipp til luft fra fremtidig aktivitet på Wisting-feltet i Barentshavet. Akvaplan-niva AS koordinerer de samordnede miljøprosjektene. Denne rapporten inngår i underlagsmaterialet som skal danne grunnlag for beslutning om mulig utbygging av Wisting-feltet i Barentshavet. Rapporten bygger på en tilsvarende utredning av Johan Castberg- feltet i Barentshavet i 2014 og 2017.

Rapporten er skrevet av Tore Flatlandsmo Berglen og Dag Tønnesen. Underlagsmateriale og resultater fra Sverre Solberg og Tove Marit Svendby har vært verdifulle og nyttige.

Kontaktpersoner hos Akvaplan-niva AS, Lars-Henrik Larsen og Kjetil Sagerup, takkes for godt samarbeid. Likeledes takkes Equinors kontaktperson Kari Stokke for gode innspill og tilbakemeldinger.

# Innhold

<b>Forord</b> .....	<b>3</b>
<b>Sammendrag</b> .....	<b>5</b>
<b>1 Innledning</b> .....	<b>6</b>
<b>2 Bakgrunnskonsentrasjoner, utslipp og tålegrenser</b> .....	<b>6</b>
2.1 Generelt om komponentene som vurderes i denne studien .....	6
2.2 Maksimale utslipp for Wisting vurdert i denne studien .....	13
2.3 På hvilken måte representerer gassene som slippes ut et miljøproblem? .....	16
2.4 Forsuring og eutrofiering, eksisterende nivåer og tålegrenser .....	20
<b>3 Vurdering av de ulike komponentene i utslipp fra Wisting</b> .....	<b>23</b>
3.1 Vurdering av klimagassene CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O og NMVOC .....	23
3.2 Vurdering av NO <sub>x</sub> .....	24
3.3 Vurdering av ozon (O <sub>3</sub> ).....	24
3.4 Vurdering av SO <sub>x</sub> .....	25
3.5 Samlet konklusjon for NO <sub>x</sub> , ozon og SO <sub>x</sub> .....	25
3.6 Vurdering av BC.....	25
<b>4 Referanser</b> .....	<b>26</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>29</b>

## Sammendrag

***NILU – Norsk institutt for luftforskning har på oppdrag fra Akvaplan-niva AS og Equinor ASA vurdert miljøkonsekvensene av utslipp til luft fra fremtidig utbygging og drift av Wisting-feltet i Barentshavet. Akvaplan-niva koordinerer arbeidet og NILU er underleverandør. Utslipp av karbondioksid (CO<sub>2</sub>), metan (CH<sub>4</sub>), nitrogenoksider (NO<sub>x</sub>), lystgass (N<sub>2</sub>O), svoveloksid (SO<sub>x</sub>), flyktige organiske forbindelser unntatt metan (NMVOC), samt svevestøv (PM<sub>10</sub>) og sot/Black Carbon (BC) er vurdert, i tillegg til ozondannelse grunnet økte NO<sub>x</sub>-utslipp.***

Denne studien bygger på tidligere NILU-studier for Jan Mayen og Barentshavet Sør i 2012 og Johan Castberg i 2014 og 2017.

Utslipp av CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O og NMVOC er vurdert utfra bidrag til strålingspådriv/global oppvarming. Det planlegges kraftforsyning fra land med sjøkabel. Dette vil gi en sterk reduksjon i utslippene av CO<sub>2</sub> fra produksjonen og medføre at utslippene vil være en lave sammenlignet med tilsvarende utbygginger uten strømkabel. Utslippene av CO<sub>2</sub> vil være størst i oppstarts-/borefasen, men vil i driftsfasen være mindre enn 17 000 tonn pr. år. Når det gjelder CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O og NMVOC, er utslippene små og klimaeffekten vil være liten sett i forhold til utslippene av CO<sub>2</sub>.

Utslipp av NO<sub>x</sub> vil være lavt sammenlignet med tilsvarende utbygginger uten strømkabel. Bidraget fra Wisting til eutrofiering og forsuring gjennom avsetning av NO<sub>x</sub> forventes å være lite og knapt målbart. Bidraget fra Wisting til dannelse av bakkenært ozon vil være minimalt og knapt målbart. Likeledes vil årlig utslipp av SO<sub>x</sub> være lavt sammenlignet med tilsvarende utbygginger. Bidraget fra Wisting til forsuring gjennom avsetning av SO<sub>x</sub> forventes å være ubetydelig og ikke målbart. Maksimalt bidrag fra Wisting vil også være mindre enn den naturlige variasjonen fra år til år, som igjen styres av langtransportert forurensning og nedbørsmønster.

Konklusjonen er at bidraget til eutrofiering og forsuring i Nord-Norge fra Wisting 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 hvert bidrag til økning av svovel- og nitrogenavsetningen potensielt endre dette bildet. Videre vil bidragene av NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> og ozon, samt avsetninger av nitrogen og svovel fra den planlagte petroleumsaktiviteten, høyst sannsynlig ikke føre til negative effekter på vegetasjon og fauna i de terrestriske influensområdene.

Årlig utslipp av BC fra fakling er beregnet å bli lavere enn for tilsvarende utbygginger, jfr. Johan Castberg. Klimaeffekten av utslipp fra installasjonene på Wisting vil bli liten. Samtidig 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 optimalisere faklingen fra Wisting slik at utslipp av BC blir redusert til et absolutt minimum.

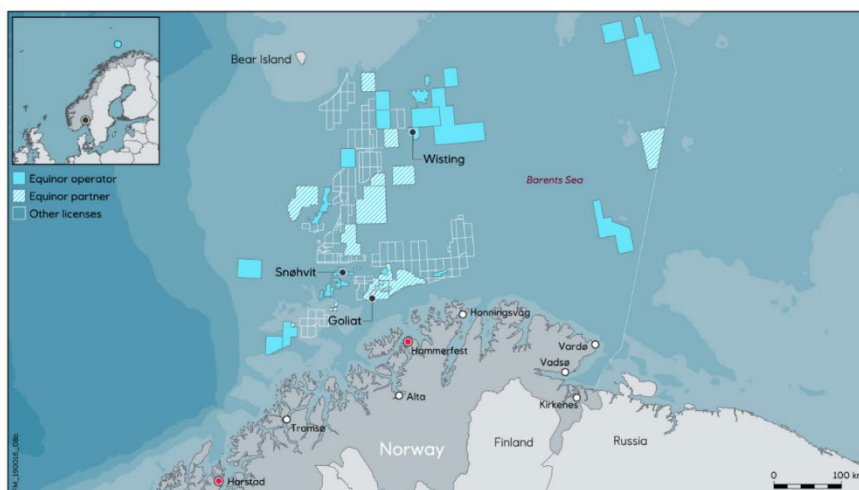
# Vurdering av utslipp til luft fra Wistingfeltet i Barentshavet

## Underlag for konsekvensutredning

### 1 Innledning

Wisting-feltet 7324/8-1 ligger i norsk sektor i Barentshavet, lokalisert 310 km nord for Norskekysten og 200 km sørøst for Bjørnøya, se Figur 1. Utbyggingen av funnene vil bli gjennomført gjennom et felles utbyggingsprosjekt; Wisting-prosjektet. Equinor er operatør på feltet.

Prosjektet skal bygges ut og driftes av Equinor. Equinor arbeider med søknad om konsesjon for en ny kraftforbindelse fra Hyggevevann i Hammerfest kommune til Wisting-feltet i Barentshavet (blokkene 7324/7 og 8) i 4. kvartal 2021. Formålet med utbyggingen er å forsyne produksjonsinnretningen med kraft som gir minst mulig utslipp av klimagasser. Det er beregnet at dette klimatiltaket vil kunne redusere årlige utslipp av CO<sub>2</sub> på Wisting-feltet med ca. 100 000 tonn.



Figur 1: Geografisk plassering av Wistingfeltet.

## 2 Bakgrunnskonsentrasjoner, utslipp og tålegrenser

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

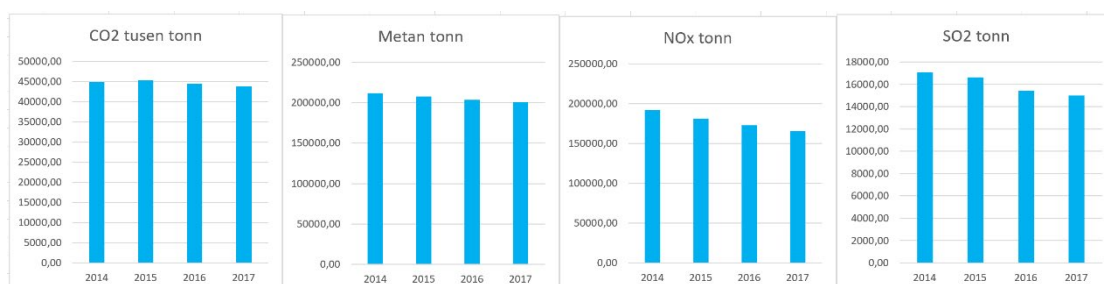
#### Karbondioksid CO<sub>2</sub>

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 rundt 410 ppm<sup>1</sup> og har en sesongvariasjon på 2-3 ppm med minimum på sommerhalvkulen grunnet økt tap ved fotosyntese og maksimum på vinterhalvkulen grunnet økte kilder ved forbrenning, samt mindre fotosyntese. Nivået av CO<sub>2</sub> er stigende grunnet menneskeskapt utslipp (se eks. IPCC, [www.ipcc.ch](http://www.ipcc.ch)).

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

CO<sub>2</sub> er en klimagass og absorberer utgående langbølget stråling i spektret rundt 15 - 20 µm og 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 menneskeskapte utslipp av CO<sub>2</sub> er rundt 40 gigatonn CO<sub>2</sub> pr år, dvs. 40 milliarder tonn, eller 4 × 10<sup>16</sup> g (IPCC, 2021). 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<sub>2</sub> i 2017 var 44 mill. tonn CO<sub>2</sub>(F) (Figur 2), dvs. 4,4 × 10<sup>13</sup> g, omlag 1,1 ‰ av samlede menneskeskapte utslipp.



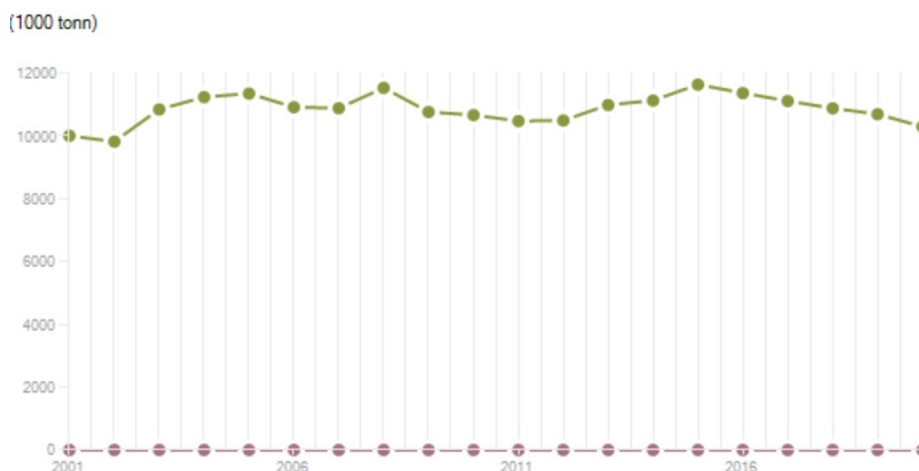
Figur 2: Totale utslipp av CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, NO<sub>x</sub> og SO<sub>2</sub> i Norge 2014 – 2017 (siste tilgjengelige tall).  
Kilde: Norske utslipp, se [www.norskeutslipp.no](http://www.norskeutslipp.no) [besøkt 7. oktober 2021].

Utslipp av CO<sub>2</sub> fra Wisting blir sterkt redusert fordi energibehovet på feltet dekkes av strøm fra land. Dog vil det være noe forhøyede utslipp av CO<sub>2</sub> i oppstarts-/borefasen.

Av Norges utslipp står petroleumsvirksomhet til havs for omlag 10 mill. tonn CO<sub>2</sub>(F) (Figur 3), dvs. 23% av samlede norske utslipp. Utslippene har avtatt svakt de senere årene (Figur 3). De 10 største enkeltkildene innen petroleumsvirksomhet til havs er listet opp i Tabell 1. Den største enkeltkilden innen petroleumsvirksomhet til havs er Åsgard med årlige utslipp lik 0,86 millioner tonn CO<sub>2</sub>.

## Utslipp av Karbondioksid (CO<sub>2</sub>) (i 1000 tonn per år)

### Petroleumsvirksomhet til havs



Figur 3: Utslipp av CO<sub>2</sub> fra petroleumsvirksomhet til havs i Norge 2001– 2020.  
Kilde: Norske utslipp, se [www.norskeutslipp.no](http://www.norskeutslipp.no) [besøkt 7. oktober 2021].

Tabell 1: De 10 største utslippskildene av CO<sub>2</sub> fra petroleumsvirksomhet til havs i Norge i 2020 slik de er rapporterte til norske myndigheter. Kilde: Norske utslipp<sup>2</sup>. Enhet: 1000 tonn.

Felt	Utslipp
Åsgard (Equinor energy as)	860,73
Statfjord (Equinor energy as)	798,71
Troll (Equinor asa)	722,61
Gullfaks (Equinor energy as)	718,27
Oseberg (Equinor energy as)	704,48
Ekofisk (Conocophillips skandinavia as)	586,28
Sleipner øst (Equinor energy as)	571,59
Snorre (Equinor energy as)	454,55
Norne (Equinor energy as)	342,25
Heidrun (Equinor energy as)	336,89

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<sup>3</sup>, 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

<sup>2</sup>

Se <https://www.norskeutslipp.no/no/Komponenter/Utslipp/Karbondioksyd/?ComponentType=utslipp&ComponentPageID=51&SectorID=700> [besøkt 7. oktober 2021].

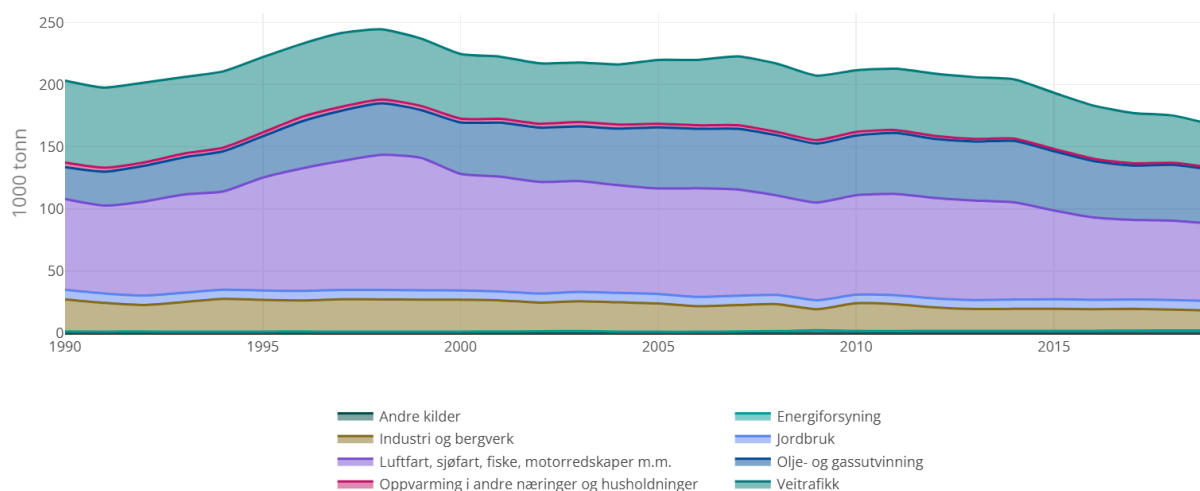
<sup>3</sup> tilsvarende e<sup>-1</sup> hvor e er eksponentialfunksjonen, dvs den inverse funksjon til logaritmefunksjonen, dette kan vises ved utledning av massebalanseligningen.



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<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 rapporterte utslipp av NO<sub>x</sub> i Norge i 2019 var 150 000 tonn (Tabell 2, se også Figur 3 for trender). Figur 4 viser kildefordeling av NO<sub>x</sub> fra 1990-2019 i Norge. Utslippene fra kategorien luftfart, sjøfart, fiske og motorredskaper m.m. er klart største kilde. Olje- og gassutvinning er nest største kilde, om lag 43 000 tonn pr år. Disse utslippene har vært tilnærmet stabile siden 2005. Dette skyldes at 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 reduserte de senere årene, hovedsakelig på grunn av teknologiforbedringer som følge av skjerpede utslippskrav. Gitt nedgangen i andre kilder medfører dette at den relative andelen NO<sub>x</sub> fra olje- og gassutvinning har økt de senere årene. De viktigste naturlige kildene til NO<sub>x</sub> er lyn og utslipp fra jord. NO<sub>2</sub> er en giftig gass og det er derfor etablert strenge luftkvalitetskrav og grenseverdier.



Figur 4: Utslipp av NO<sub>x</sub> etter kilde i perioden 1990 – 2019. Kilde: Miljødirektoratet<sup>4</sup>.  
Enhet: 1000 tonn/år.

Mesteparten av NO<sub>x</sub> tapes fra atmosfæren ved at det går over til HNO<sub>3</sub>/NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, men noe avsettes også direkte på bakken i form av NO<sub>2</sub> og utgjør en del av den samlede N-avsetningen. HNO<sub>3</sub> er svært vannløselig og tapes ved våtavsetning i nedbør. Løst i vann bidrar HNO<sub>3</sub> 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<sub>x</sub> er også viktig med tanke på ozon (O<sub>3</sub>). Reaksjoner mellom NO<sub>x</sub> 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.

<sup>4</sup> <https://miljostatus.miljodirektoratet.no/tema/forurensning/sur-nedbør/nitrogenoksid-nox/> [besøkt 18. oktober 2021].

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  $\text{SO}_2$  pluss mindre mengder svoveloksider. Industri (bl.a. smelteverk) har vært blant de største antropogene (menneskeskapte) kildene for  $\text{SO}_2$ , skipsfart er en annen stor kilde. De antropogene utslippene av svovel er sterkt redusert i Europa de senere år pga. rens tiltak. 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 forurening av jord og vann. Sur nedbør er mindre kritisk i Norge i dag enn det var for noen 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.

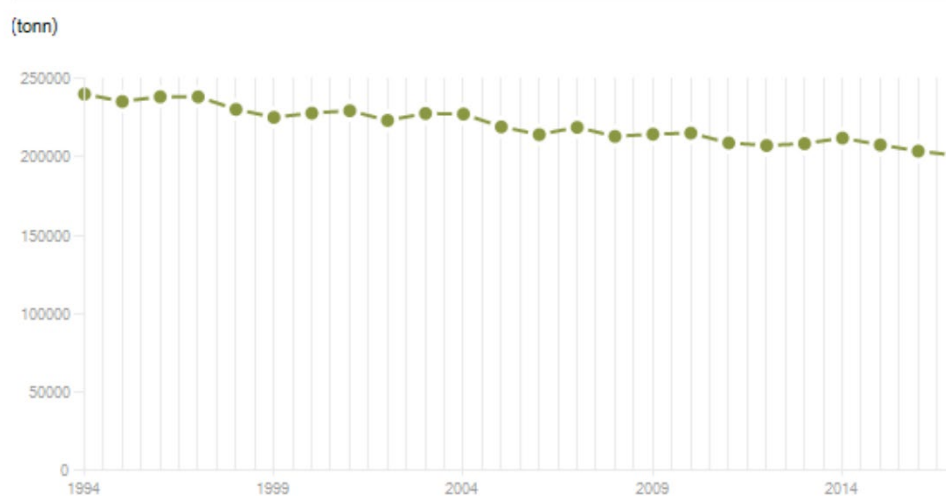
### **Metan $\text{CH}_4$**

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 rundt 12 år. Totale norske utslipp er litt over 200 000 tonn pr år (Figur 5).

## Utslipp av Metan (CH<sub>4</sub>) (i tonn per år)

### Totale utslipp til luft i Norge



Figur 5: Totale utslipp av metan i Norge. Kilde: Norske utslipp<sup>5</sup>. Enhet: tonn per år.

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

Dette er en stor gruppe gasser som også blir kalt flyktige organiske forbindelser (eng. Volatile Organic Compounds - VOCs). Som navnet sier består de av hydrogen (H) og karbon (C), i tillegg kan de inneholde for eksempel oksygen (O). Det enkleste hydrokarbonet i atmosfæren er metan (CH<sub>4</sub>, som på grunn av sin lange levetid ikke er inkludert i NMVOC). Det er store naturlige utslipp av NMVOC, bl.a. fra vegetasjon, slik at det er et naturlig bakgrunnsnivå. Mesteparten av stoffene 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 flyktige organiske forbindelser i atmosfæren varierer, fra 2-3 måneder for etan 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 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

<sup>5</sup>

<http://www.norskeutslipp.no/no/Komponenter/Utslipp/Metan/?ComponentType=utslipp&ComponentPageID=55&SectorID=90> [besøkt 7. oktober 2021].

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 2: Totale utslipp av forsurende gasser, ozonforløpere mfl. for år 2020. Kilde: Statistisk sentralbyrå, se <https://www.ssb.no/statbank/table/08941/> [besøkt 7. oktober 2021].

	Utslipp til luft (tonn)
	2020
	0 Alle kilder
I alt	
Svoveldioksid (SO <sub>2</sub> )	15 528
Nitrogenoksid (NO <sub>x</sub> )	150 137
Ammoniakk (NH <sub>3</sub> )	28 490
Flyktige organiske forbindelser (NMVOC)	151 077
Karbonmonoksid (CO)	398 976

### Sot

Sotpartikler og Black Carbon BC<sup>6</sup> dannes ved ufullstendig forbrenning. Utslipp av sot og BC fra Wisting 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 Wisting), 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

<sup>6</sup> FN's klimapanel IPCC skiller mellom sot og BC ved å definere sot som (eng.): "Particles formed during the quenching of gases at the outer edge of flames of organic vapours, consisting predominantly of carbon, with lesser amounts of oxygen and hydrogen present as carboxyl and phenolic groups and exhibiting an imperfect graphitic structure", mens BC defineres som (eng.) "Operationally defined aerosol species based on measurement of light absorption and chemical reactivity and/or thermal stability; consists of soot, charcoal and/or possible light absorbing refractory organic matter".

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.

Norske utslipp av sot har blitt redusert med 37 prosent siden 1990, og var på litt under 3000 tonn i 2018. God kunnskap om størrelsen på de norske sotutslippene, og hvor de kommer fra, er viktig for å kunne redusere utslippene.

Organisk karbon slippes alltid ut sammen med sot. Utslippene av organisk karbon kommer nesten utelukkende fra vedfyring<sup>7</sup>. De største utslippene av sot kommer fra vedfyring og luftfart, sjøfart, fiske og motorredskaper – etterfulgt av olje- og gassutvinning og veitrafikk.

## 2.2 Maksimale utslipp for Wisting vurdert i denne studien

Alle oppdaterte estimater for utslipp er oppgitt av Equinor. Tallene i Tabell 3 - Tabell 6 er hentet fra «Forslag til program for konsekvensutredning Januar 2021», samt «Environmental Budget Report» fra Wisting FPSO Topside & Integration Concept Study utarbeidet av Aker Solutions (v.28. juni 2021). Utslippstallene er oppgitt for de ulike operasjonene beregnet over prosjektets levetid.

Kilder til utslipp omfatter normalt kraftgenerering på produksjonsenheten (turbiner), borerigg og fartøy (forbruk av diesel), omlasting av produsert råolje, lasteskip og helikopter. Gitt at det planlegges kraftoverføring fra land vil det ikke bli utslipp fra turbiner. I tillegg planlegges det gjenvinning av fakkalgass. Fakling vil da kun skje ved unormale og sikkerhetskritiske forhold som for eksempel trykkavlastning. Beregnede utslipp til luft i forbindelse med hjelpeoperasjoner («Auxiliary power & heat») er gitt i Tabell 3, mens utslipp til luft i forbindelse med fakling er gitt i Tabell 4. Utslipp fra tepegass og tetningsgass er gitt i Tabell 5 og Tabell 6. Det er også beregnet utslipp av PM<sub>10</sub> og BC fra fakling.

Tabell 3: Utslipp til luft i forbindelse med hjelpeoperasjoner («Auxiliary power & heat»). Kilde: Environmental Budget Report, v. 28. juni 2021, Aker Solutions. Enheter kraftbehov: MWh<sub>e</sub>/MWh<sub>th</sub>, dieselforbruk: tonn pr. år, utslipp: tonn pr- år

Kraftbehov MWh <sub>e</sub> /MWh <sub>th</sub>	Dieselforbruk tonn	Utslipp tonn pr. år			
		CO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	NMVOC	SO <sub>x</sub>
<i>Auxiliary power; Essential Generator and 4 Fire Water Generators</i>					
1957	372	1179	20	2	1
<i>Essensiell varme</i>					
260	29	91	0,5	0	0,03

<sup>7</sup> <https://miljostatus.miljodirektoratet.no/tema/klima/norske-utslipp-av-klimagasser/utslipp-av-sot-i-norge/> [besøkt 8. oktober 2021].

Tabell 4: *Utslipp til luft i forbindelse med fakling «Corrected Method<sup>1</sup>». Kilde: Environmental Budget Report, v. 28. juni 2021, Aker Solutions Appendix F. Enhet faklet gass: kSm<sup>3</sup>, utslipp: tonn pr. år.*

År	Faklet gass kSm <sup>3</sup>	Utslipp tonn pr. år				
		CO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	N <sub>2</sub> O	CH <sub>4</sub>	NMVOC
1	8420	31321	12	0,2	2	1
2-30 pr. år	2500	9300	4	0,1	1	0
Totalt år 1-30	80920	301021	113	2	19	5

1) Det er beregnet utslipp til luft fra fakling med to ulike metoder, a) Johan Castberg-metoden der det er maksimum fakling første år og deretter sterkt avtagende og b) «Corrected method» der det antas samme faklingsvolum og utslipp som JC i år 1 og deretter antagelse om at faklet volum minimum vil være 2500 kSm<sup>3</sup> pr. år.

Underlagsmaterialet angir ikke utslipp av PM<sub>10</sub> og BC fra fakling, kun utslipp av CO<sub>2</sub>. For å beregne utslipp av PM<sub>10</sub> og BC er det brukt samme faktorer som for Johan Castberg (Berglen mfl., 2017) som igjen bygger på kunnskap fra faglitteraturen og studier av fakling bl.a. fra Kollsnes og Melkøya. Hvis det antas en utslippsfaktor lik 0,856 g PM<sub>10</sub>/Sm<sup>3</sup> samt at BC utgjør 80% av PM<sub>10</sub> så vil et faklet gassvolum på 8420000 Sm<sup>3</sup> (Tabell 4) gi et utslipp lik 7,2 tonn PM<sub>10</sub> hvorav 5,8 tonn er i form av BC. Dette gjelder første år. Senere i produksjonsperioden der det er beregnet fakling av 2500000 Sm<sup>3</sup> vil utslippene være hhv. 2,1 tonn PM<sub>10</sub> hvorav 1,7 tonn BC.

Tabell 5: *Utslipp til luft i forbindelse med «Blanket gas to vent». Kilde: Environmental Budget Report, v. 28. juni 2021, Aker Solutions Appendix G. Enhet gass: Sm<sup>3</sup>, utslipp: tonn pr. år.*

År	Teppegass Sm <sup>3</sup>	Utslipp tonn pr. år		
		CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	NMVOC
1	1874	0,20	0,95	0,60
3 og 4 pr. år	2002	0,21	1,02	0,64
Totalt år 1-30	22570	2	11	7

Tabell 6: *Utslipp til luft av tetningsgass («Compressor seal gas»). Kilde: Environmental Budget Report, v. 28. juni 2021, Aker Solutions Appendix H. Enhet gass: Sm<sup>3</sup>, utslipp: tonn pr. år.*

År	Tetningsgass kSm <sup>3</sup>	Utslipp tonn pr. år		
		CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	NMVOC
1-30 pr. år	85	9	43	27
Totalt år 1-30	2555	269	1298	822

Tabell 7: Sammenstilling av CO<sub>2</sub>-utslipp fra de ulike kildene ved Wistingutbyggingen, oppstarts-/ borefase 2025-2030 og regulær driftsfase 2031 – 2057. Kilde: Equinor

År	Hjelpe- kraft	<sup>1)</sup> Ess. varme	Fakkel	Tet- gass	Teppe- gass	Fartøy (drift)	Boring	Helik.	Mar. Op.	Totalt
2025									12000	<b>12000</b>
2026							18130	500	26000	<b>44630</b>
2027							51100	500	35000	<b>86600</b>
2028	1179	91	31321	9	0,2	6000	51240	500	7000	<b>97340,2</b>
2029	1179	91	9300	9	0,21	6000	51100	500		<b>68179,21</b>
2030	1179	91	9300	9	0,21	6000	19430	500		<b>36509,21</b>
2031					0,02					<b>17079,02</b>
-					-					-
2057	1179	91	9300	9	0,21	6000		500	1179	<b>17079,21</b>

<sup>1)</sup> Ess. Varme: Essensiell varme, Tet.gass: tetningsgass, Helik.: helikopter, Mar.Op.: marine operasjoner.

Samlede utslipp til luft av CO<sub>2</sub> i oppstarts-/ borefase og regulær driftsfase er gitt i Tabell 7. Merk at en del av tallene også er inkludert i Tabell 3 - Tabell 6. Det er stor forskjell i CO<sub>2</sub>-utslippene i oppstarten av prosjektet og i regulær driftsfase. De beregnede, maksimale utslippene av CO<sub>2</sub> summerer opp til 97 340 tonn pr. år i 2028, se Tabell 7. Som en digresjon kan nevnes at utslipp av 97 340 tonn pr. år ville plassert Wisting på 30. plass med tanke på utslipp av CO<sub>2</sub> fra petroleumsvirksomhet til havs i Norge i 2020, på plassen mellom Veslefrikk og Oseberg Øst, se ellers Tabell 1. De store utslippene skyldes utslipp fra boring og fakling i de første årene av prosjektet. Boring vil pågå i fem år fra 2025 – 2030 med samlede utslipp lik 191 000 tonn CO<sub>2</sub>. Fakling er klart største enkeltkilde med beregnet utslipp lik 31 321 tonn i år 2028. Det er antatt at 1,5% av det produserte gassvolumet første år må fakles. Utover i produksjonsperioden reduseres behovet for fakling, og utslippene vil synke til 9 300 tonn pr. år. CO<sub>2</sub>-utslippene reduseres sterkt når prosjektet går inn i regulære driftsfase fra 2031, til om lag 17 000 tonn CO<sub>2</sub> pr. år.

Kraftoverføring fra land er klart det utbyggingsalternativet som gir lavest CO<sub>2</sub>-utslipp, under 20 000 tonn CO<sub>2</sub> pr. år i driftsfasen. Andre utbyggingsløsninger vil gi gjennomsnittlige utslipp på mellom 42 000 tonn pr. år (gasturbiner + fangst av 80% CO<sub>2</sub> fra eksosgassen og lagring) og 120 000 tonn pr. år (basis med gasturbiner uten tiltak)<sup>8</sup>.

Maksimale utslipp av de andre komponentene NO<sub>x</sub>, N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub>, NMVOC, SO<sub>x</sub>, PM<sub>10</sub> og BC som er vurdert i denne studien er gitt i Tabell 8. Som for CO<sub>2</sub>, for de fleste komponentene er det størst utslipp i år 1 med synkende utslipp utover i produksjonsperioden. Når det gjelder CH<sub>4</sub> og NMVOC er utslipp av tetningsgass («Compressor seal gas», Tabell 6) klart største kilde. Disse utslippene er like i hele produksjonsperioden år 1-30 og derved vil variasjonen i utslippene også være små.

<sup>8</sup> Equinor «Forslag til program for konsekvensutredning Januar 2021» tabell 3-1.

Tabell 8: Maksimale utslipp til luft av NO<sub>x</sub>, N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub>, NMVOC, SO<sub>x</sub>, PM<sub>10</sub> og BC slik de er oppgitt i Tabell 3 - Tabell 6, samt beregnet i teksten. Enhet: tonn pr. år.

NO <sub>x</sub>	N <sub>2</sub> O	CH <sub>4</sub>	NMVOC	SO <sub>2</sub>	PM <sub>10</sub>	BC
32,5	0,2	46	30,6	1	7,2	5,8

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 Wisting, igjen vist i Tabell 8.

### 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>, N<sub>2</sub>O, SO<sub>x</sub>, NMVOC og BC vurdert. I tillegg diskuteres ozon siden utslipp av NO<sub>x</sub> pluss hydrokarboner og sollyis gir dannelse av ozon nedstrøms av utslippet (se kap. 2.1 og Vedlegg A).

#### Klimagassene CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O samt NMVOC

CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> og N<sub>2</sub>O 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 og heller ikke omtalt her. Her vurderes kun miljøeffekten av utslippene.

N<sub>2</sub>O er en kraftig klimagass (GWP<sub>100</sub> ~ 265) med lang levetid i atmosfæren (levetid  $\tau$  ~ 120 år). Viktigste nedbrytningsvei er fotolyse i stratosfæren, samt reaksjon med eksitert oksygen O(<sup>1</sup>D).

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, forsurening 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<sup>+</sup> + NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) og bidra til forsurening av vann og vassdrag. Siste effekt er dannelse av ozon ved fotokjemiske reaksjoner der NO<sub>x</sub>, hydrokarboner og sollyis inngår. NO<sub>x</sub>-utslippene fra Wisting vurderes opp mot alle disse tre problemstillingene.

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

Angående utslipp av svovel er forsureningseffekten 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<sup>+</sup> + SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> og bidrar derved til forsurening.



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 mfl., 2004). Disse aerosolene bidrar til avkjøling, det vil si at de motvirker oppvarmingseffekt forårsaket av klimagasser. Avkjølingseffekten er dog liten, samt at utslippene fra Wisting er relativt små. Klimaeffekten av SO<sub>x</sub> er derfor ikke vurdert i denne studien.

### Sot / 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 relevant for andre komponenter omtalt i denne studien. Se ellers Solberg mfl. (2012a) for ytterligere informasjon.

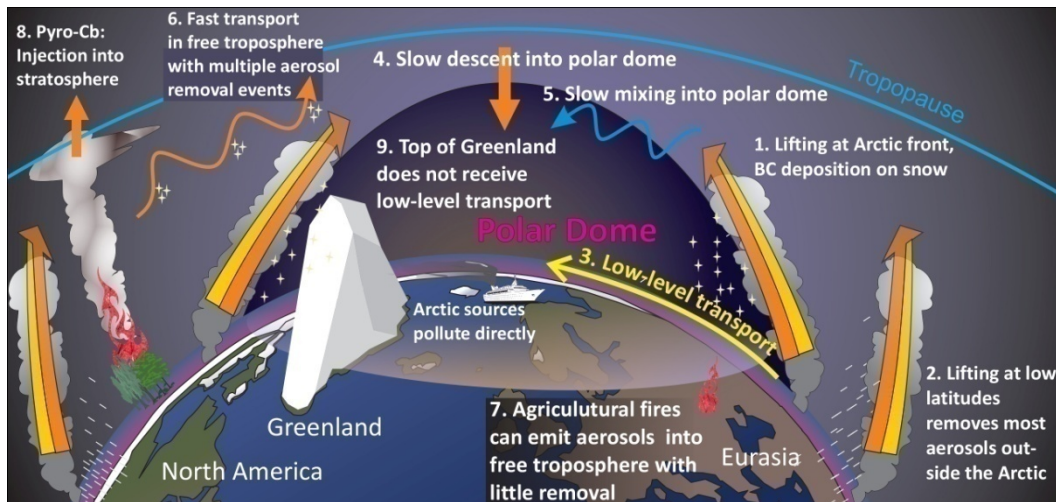
På 1950-tallet ble det rapportert om høye nivåer av partikler i atmosfæren i Arktis basert på observasjoner fra fly, og begrepet "Arctic haze" ble lansert. Dataene og problemstillingene ble imidlertid liggende i rundt tjue år helt til observasjoner på 1970-tallet viste høye konsentrasjoner av sulfat, 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 (isentropiske flater)<sup>9</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 mfl., 2007). Figur 6 viser en skjematisk framstilling av transporten av forurensninger (sotpartikler) inn i Arktis.

---

<sup>9</sup> Isentropiske 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. Isentropiske flater opptrer som fysiske flater i en stabil atmosfære og transport av luftmasser vil skje langs disse. En isentropisk flate vil ha varierende avstand til bakken målt i meter.



Figur 6: 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 mfl., 2001). Trendstudier av Hole mfl. (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 "ørkantilstander". 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. 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. 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  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_2$  og NMVOC øker.

På 1970- og 1980-tallet var det  $\text{SO}_2$ /sulfat og  $\text{NO}_2$ /nitrat som var hovedtemaet for Arktis-forskningen, mens i senere år har bl.a. ozon (Solberg mfl., 1996), kvikksølv (Berg mfl., 2003) og sotpartikler (Stohl mfl., 2007) blitt viktig. Klimaeffekten av sot og BC og andre partikler i Arktis har vært et sentralt forskningstema (Skeie mfl., 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 avkjølede 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 solinnstråling og stor bakkealbedo (Flanner, 2013). Selv ved fakling der flammtemperatur 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 avkjølede effekt. I tillegg vil sulfat på samme måte som BC bidra til skydannelse og dermed i tillegg gi en indirekte avkjølede effekt (Ødemark mfl., 2012).

Klimaeffekten av BC og andre partikler i Arktis kan være vanskelig å tallfeste. Dagens modeller som brukes til slike beregninger har ofte 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°N lik  $0,38 W m^{-2} / Tg \text{ år}^{-1}$ , mens et tilsvarende utslipp på midlere bredder vil gi et normalisert strålingspådriv lik  $0,17 W m^{-2} / Tg \text{ år}^{-1}$  (Sand mfl., 2013). Og den tilhørende temperaturresponsen (enhet K) grunnet økte utslipp i Arktis er også større for områdene i nord (nord for 60°N) enn for områder lengre sør. Følsomheten (enhet  $K / Tg \text{ år}^{-1}$ ) 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 mfl., 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.

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

## 2.4 Forsuring og eutrofiering, eksisterende nivåer og tålegrenser

Forsuring betyr senkning av pH i vassdrag og innsjøer grunnet økning i sur nedbør<sup>10</sup>. Nedbør har en «naturlig» surhet rundt pH=5,6 pga. naturlig forekommende CO<sub>2</sub> i atmosfæren, men økt tilførsel av CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> og NO<sub>x</sub> gir økt konsentrasjon av [H<sup>+</sup>] og derved lavere pH i regnvann som i sin tur gir lavere pH i elver, innsjøer og jordsmonn.

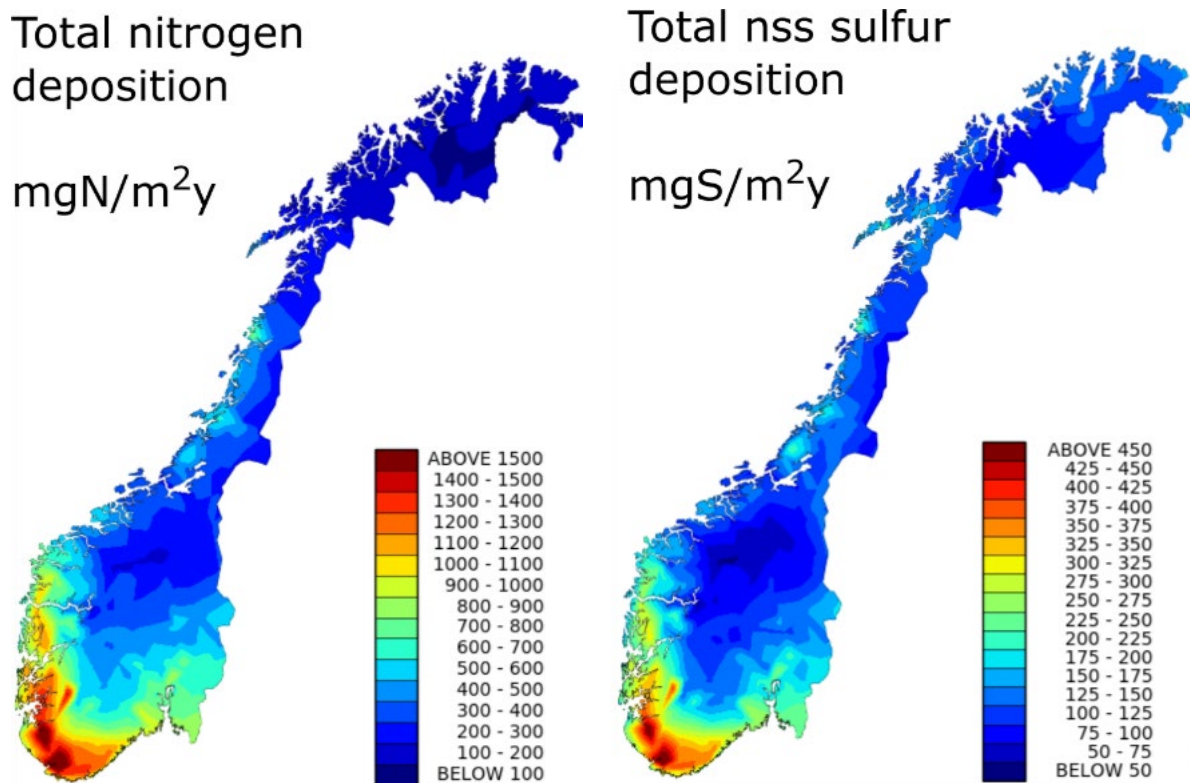
Eutrofiering (overgjødning) innebærer økt planteproduksjon forårsaket av økt tilførsel av næringssalter. Eutrofiering kan være et problem både for vegetasjon, ferskvannøkosystemer og marine økosystemer. For vegetasjon og marine miljøer er eutrofiering hovedsakelig knyttet til økt tilførsel av nitrogen. I ferskvann er eutrofiering også forårsaket av økt tilførsel av fosfor. For denne studien er økt utslipp av NO<sub>x</sub> 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 nødvendig å sammenstille tre viktige begreper; a) eksisterende avsetning (bakgrunn), b) økt bidrag fra petroleumsvirksomhet og c) 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 2012-2016 (Aas mfl., 2017). Total avsetning av nitrogen og svovel er vist i Figur 7. De største verdiene sees på Sør-Vestlandet grunnet langtransportert forurensning fra Europa. Laveste verdier sees i Nord-Norge og spesielt Finnmark. Merk også enkelte forhøyede verdier langs Helgelandskysten.

---

<sup>10</sup> pH er et mål på konsentrasjonen av H<sup>+</sup>-ioner i vannet. Jo mer [H<sup>+</sup>], jo surere vann.

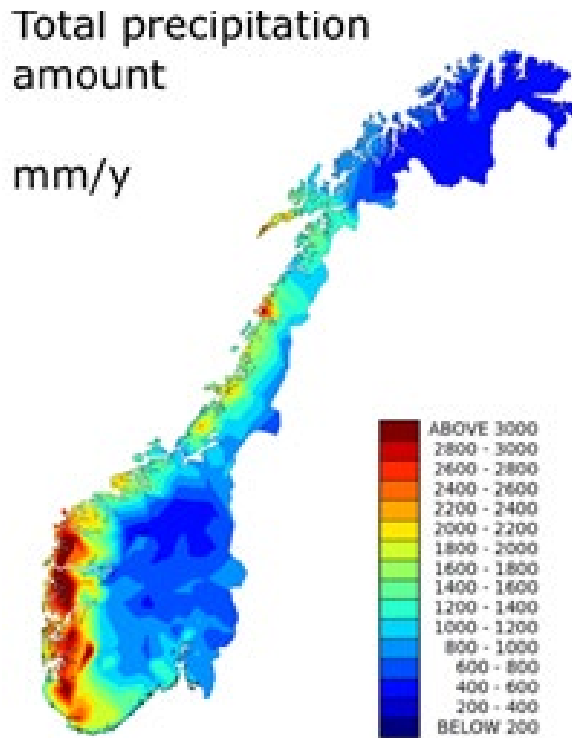


Figur 7: Total årlig avsetning av nitrogen og svovel sett bortifra sjøsalt (nss: «non sulphate sea salt») for årene 2012-2016.

Kilde: Aas mfl., 2017. Enhet: mg N/m<sup>2</sup> år og mg S/m<sup>2</sup> år.

Både nitrogen og svovel tapes først og fremst ved våtavsetning, det vil si gjennom opptak i skydråper som deretter faller som regn. Det er kun i fjellstrøkene i Sør-Norge og Østlandet, samt indre strøk i Troms og Finnmark at tørravsetning spiller en større rolle. Våtavsetning er mye styrt av nedbør. Kart over årlig nedbør i Norge er gitt i Figur 8. Det er ytre delene av Vestlandet som klart mottar mest regn. Ellers er det mye nedbør i de indre delene av Vestlandet og langs hele kysten fra Rogaland til Vesterålen. Dette nedbørmønsteret skyldes orografisk nedbør<sup>11</sup>.

<sup>11</sup> "[https://snl.no/orografisk\\_nedbør](https://snl.no/orografisk_nedbør)" [besøkt 5. oktober 2021].

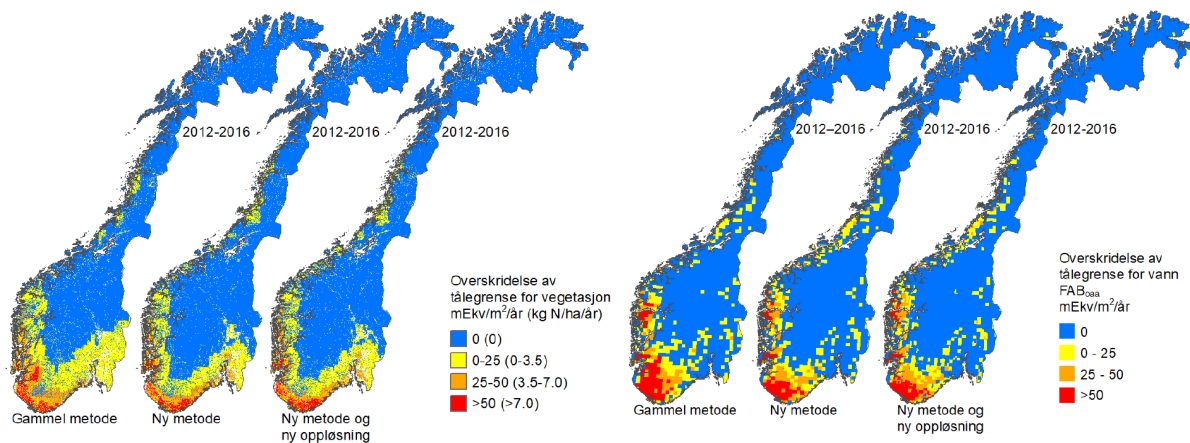


Figur 8: Årlig beregnet nedbør i Norge. Enhet: mm/år. Kilde: Aas mfl., 2017

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 - Norsk institutt for vannforskning 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 2012-2016 (Austnes mfl., 2018). NIVAs studie bygger blant annet på avsetningsberegningene i Figur 7. Beregnet overskridelse av tålegrenser for overgjødning av vegetasjon og beregnet overskridelse av tålegrenser for forsuring av overflatevann for 2012-2016 er vist i Figur 9. Det er klart størst overskridelse på Sør-Vestlandet, i Nord-Norge er det få overskridelser. Områdene med overskridelser samsvarer i stor grad med områdene med forhøyet avsetning i Figur 7.

Ang. beregnet tålegrense for forsuring av overflatevann er det brukt to ulike metoder/modeller,  $SSWC_{0aa}$  og  $FAB_{0aa}$ , her er resultatene fra FAB-modellen vist. FAB-modellen gir noe større overskridelser av tålegrense langs Helgelandskysten enn  $SSWC$ -modellen. For ytterligere detaljer, se Austnes mfl. (2018).



**Figur 9:** Beregnet overskridelse av tålegrenser for overgjødning av vegetasjon for 2012-2016 (venstre) og beregnet overskridelse av tålegrenser for forurening av overflatevann med bruk av  $FAB_{0aa}$ -modellen for 2012-2016 (høyre). Begge plottene viser resultater med gammel og ny metode for avsetningsberegning. Kilde: Austnes mfl., 2018. Enhet:  $mEkv / (m^2 \text{ år})$ .

Et viktig poeng når det gjelder avsetning er at 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.

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.

Ellers er det mer utfyllende og detaljert informasjon i studiene for Jan Mayen (Solberg mfl., 2012a) og Barentshavet Sør (Solberg mfl., 2012b), samt i studiene for Johan Castberg (Berglen mfl., 2014, 2017).

### 3 Vurdering av de ulike komponentene i utslipp fra Wisting

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

Av disse komponentene er det  $\text{CO}_2$  som har det klart største utslippet og som er viktigst når det gjelder økning i strålingspådriv/global oppvarming. Det planlegges kraftforsyning fra land med sjøkabel. Dette vil sterkt redusere utslippene av  $\text{CO}_2$  fra produksjonen og medføre at utslippene vil være en brøkdel sammenlignet med tilsvarende utbygginger uten sjøkabel. Eksempelvis er beregnede utslipp fra Johan Castberg maksimalt 360 000 tonn sammenlignet med maksimalt 93 000 tonn fra Wisting. Utslippene fra Wisting i driftsfasen vil være 17 000 tonn pr. år med kraftoverføring fra land.

Selv om metan ( $\text{CH}_4$ ) er 28 ganger kraftigere klimagass enn  $\text{CO}_2$  i 100-års tidshorison er utslippene av  $\text{CH}_4$  lave sammenlignet med  $\text{CO}_2$ . Dette medfører at klimaeffekten av  $\text{CO}_2$  er klart viktigst. Maksimale årlige utslipp av  $\text{CH}_4$  er 46 tonn (Tabell 8), og multiplisert med 28 gir dette en klimaeffekt som er kun noen prosent av klimaeffekten fra  $\text{CO}_2$ -utslippene.



Utslipp av N<sub>2</sub>O fra fakling er beregnet til å bli 0,2 tonn første år og 0,1 tonn pr. år de påfølgende årene i produksjonsperioden. Selv om N<sub>2</sub>O er en kraftig klimagass, GWP ~ 265, er utslippene så små at klimaeffekten er liten sett i forhold til utslippene av CO<sub>2</sub>.

NMVOC som slippes ut vil oksideres til CO<sub>2</sub>, men igjen er utslippene av hydrokarboner såpass lave (30,6 tonn) slik at CO<sub>2</sub> er klart viktigst.

CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> og N<sub>2</sub>O 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<sub>2</sub>, vektet etter klimaeffekt. Som resonnert over er utslippene av CO<sub>2</sub> såpass store sammenlignet med de andre klimagassene slik at effekten av CO<sub>2</sub> vil overskygge de andre komponentene. Eneste unntak er utslipp av CH<sub>4</sub> og NMVOC fra tetningsgass der utslipp av 43 tonn CH<sub>4</sub> og 27 tonn NMVOC pr. år vil tilsvare utslipp av 1211 tonn CO<sub>2</sub>, kalt CO<sub>2</sub>-ekvivalenter.

Sammenlignet med utslipp fra tilsvarende olje- og gassutbygginger til havs (Tabell 1) vil utslipp fra Wistingprosjektet være små. På den annen side vil det også være slik at CO<sub>2</sub>-utslippene forårsaket av oljen og gassen som utvinnes vil være flere størrelsesordener større enn CO<sub>2</sub>-utslippene fra selve produksjonen.

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

Årlig utslipp av NO<sub>x</sub> er beregnet å bli maksimalt 32,5 tonn (Tabell 8). Dette er lavt sammenlignet med for eksempel Johan Castberg der maksimale NO<sub>x</sub>-utslipp er beregnet til å være 1571 tonn pr. år (Berglen mfl., 2017).

Nord-Norge er et område med liten avsetning av nitrogen og svovelkomponenter (Figur 7) og ingen overskridelse av tålegrenser for overgjødning av vegetasjon og forsuring av overflatevann (Figur 9). Ang. eutrofiering og forsuring er det avsetning av nitrogen som er bestemmende. I tidligere studier vedr. petroleumsvirksomhet i nord er det beregnet utslipp, spredning og avsetning av nitrogen med WRF-EMEP (Solberg mfl., 2012a for Jan Mayen og 2012b for Barentshavet Sør). Disse studiene lå også til grunn for vurderingene i Johan Castberg-prosjektet. Beregningene den gang summerte totale utslipp fra petroleumsvirksomhet i nord til 2 523 tonn NO<sub>x</sub> pr. år ved Jan Mayen, 2 783 tonn pr. år i Barentshavet (offshore punktkilder og skipstrafikk), samt 420 tonn NO<sub>x</sub> fra landanlegg i Finnmark, se Solberg mfl. (2012b) tabell 4.6 s. 29.

Wistingfeltet ligger i Barentshavet og de tidligere beregningene kan anvendes og skaleres for Wisting. Studien for Barentshavet Sør viste en beregnet økning i avsetning av nitrogen på 1 mg N/(m<sup>2</sup> år). NO<sub>x</sub>-utslippene fra Wisting er maksimalt rundt 1% av utslippene brukt for Barentshavet sør, 32,5 tonn vs. 2 783 tonn. Hvis samme tankegang anvendes for avsetning vil økningen i nitrogenavsetning da være maksimalt 0,01 mg N/(m<sup>2</sup> år). Dette er lite, og mindre enn lokale variasjoner og variasjonen fra år til år og vil ikke være mulig å måle. Bidraget fra Wisting til eutrofiering og forsuring forventes derfor å være minimalt.

### 3.3 Vurdering av ozon (O<sub>3</sub>)

En tredje miljøeffekt av NO<sub>x</sub>-utslipp er dannelse av ozon. Lokalt vil utslipp av NO<sub>x</sub> gi nedgang i ozon på grunn av reaksjon med NO, såkalt titrering (NO + O<sub>3</sub> → NO<sub>2</sub> + O<sub>2</sub>). Men nedstrøms av utslippet kan



NO<sub>x</sub>, hydrokarboner og sollyst føre til dannelse av O<sub>3</sub> (se Vedlegg A for detaljer). Beregninger for Barentshavet Sør (Solberg mfl., 2012b), der utslippene som nevnt var 2783 tonn pr. år, ga en økning i 3 mnd. AOT40-verdi<sup>12</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 petroleumsaktiviteten, nærmere bestemt en økning på 1 tilfelle fra dagens 10 tilfeller pr år. Ozon dannes nedstrøms av utslippspunktet ved reaksjoner mellom hydrokarboner og NO<sub>x</sub> med sollyst tilstede over en viss tid, og en eventuell økning i ozon vil dermed forekomme på regional skala. Ved vind fra nord kan dette skje over land.

Ovenstående resonnering er gyldig hvis petroleumsvirksomheten i Barentshavet sees under ett. NO<sub>x</sub>-utslippene fra Wistingprosjektet vil maksimalt utgjøre om lag 1% av samlet, beregnet utslipp. Sett i lys av dette vil bidraget fra Wisting til ozonproduksjon være minimalt og knapt målbart.

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

Årlig utslipp av SO<sub>x</sub> er beregnet å bli maksimalt 1 tonn pr. år (Tabell 8). Dette er lite, også sammenlignet med tilsvarende utbygginger, eks. 76 tonn (Johan Castberg FPSO).

Studien for Barentshavet Sør (Solberg mfl., 2012b) baserte seg på et utslipp på 93 tonn SO<sub>x</sub> (offshore kilder + skipstrafikk), samt 4 tonn pr år fra landanlegg i Finnmark i sine beregninger. Dette viste en beregnet økning i avsetning av svovel på 0,5 mg S/(m<sup>2</sup> år). Utslippene fra Wisting utgjør om lag 1% av utslippene for Barentshavet Sør. Hvis avsetningen skaleres tilsvarende vil beregnet avsetning grunnet utslippene fra Wisting være 0,005 mg S/(m<sup>2</sup> år). Dette er ubetydelig og ikke målbart. Maksimalt bidrag fra Wisting vil også være mindre enn variasjonen fra år til år, som igjen styres av langtransportert svovel og nedbørsmønstre.

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

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

Basert på disse resultatene, er konklusjonen at bidraget til eutrofiering og forsuring i Nord-Norge fra Wisting 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 hvert bidrag til økning av svovel- og nitrogenavsetningen potensielt endre dette bildet. Videre vil bidragene av NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> og ozon, samt avsetninger av nitrogen og svovel fra den planlagte petroleumsaktiviteten, høyst sannsynlig ikke føre til negative effekter på vegetasjon og fauna i de terrestriske influensområdene.

### 3.6 Vurdering av BC

Årlig utslipp av BC fra fakling er beregnet å bli 5,8 tonn år 1, deretter 1,7 tonn pr. år (Tabell 8). Dette er lavere enn tilsvarende utbygging på Johan Castberg-feltet.

<sup>12</sup> AOT40 er akkumulert ozon over terskelverdien 40 ppb.

Beregningene for Barentshavet Sør (Solberg mfl., 2012b) ble basert på 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/skalerbare til denne studien.

Studien for Barentshavet Sør konkluderte 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 mfl., 2012b), men også tidligere studier (Ødemark mfl., 2012) er det nærliggende å konkludere med at klimaeffekten av installasjonene på Wisting vil bli liten.

Et lite forbehold tas dog når det gjelder utslippsfaktorene. Utslippstallene oppgitt i prosjektet bygger på utslipp lik 0,856 g PM<sub>10</sub>/Sm<sup>3</sup> samt at BC utgjør 80% av PM<sub>10</sub>. 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 fakling med dertil minimale utslipp. Det er fokus på denne problemstillingen i prosjektet og ulike løsninger diskuteres, jfr. utslippsberegninger for fakling der det er gjort beregninger for to metoder, Johan Castberg-metoden og «Corrected method» (Environmental Budget Report, v. 28. juni 2021, Aker Solutions, Appendix F Flaring).

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 optimalisere faklingen fra Wisting slik at utslipp av BC blir redusert til et absolutt minimum.

## 4 Referanser

- Aas, W., Hjellbrekke, A.-G., Fagerli, H., Benedictow, A. (2017) Deposition of major inorganic compounds in Norway 2012-2016. Kjeller, NILU (NILU OR 41/2017).
- 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).
- Austnes, K., Lund, E., Sample, J.E., Aarrestad, P.A., Bakkestuen, V., Aas, W. (2018) Overskridelser av tålegrenser for forsurening og nitrogen for Norge. Oppdateringer med perioden 2012-2016. Oslo, NIVA (Miljødirektoratet rapport, M-966/2018) (NIVA-rapport 7239-2018).
- Barrie, L.A. (1986) Arctic air pollution – An overview of current knowledge. *Atmos. Environ.*, 20, 643-663.
- Barrie, L.A., and 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., 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., Tønnesen, D., og Solberg, S. (2017) Johan Castberg-feltet i Barentshavet Oppdatering av rapport OR 25/2014. Kjeller, NILU (NILU rapport 14/2017).
- Flanner, M. G. (2013), Arctic climate sensitivity to local black carbon, *J. Geophys. Res. Atmos.*, 118, 1840–1851, doi:10.1002/jgrd.50176
- 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.
- 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).
- 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.
- 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 NILU rapport 14/2017 37 Barentshavet Sør for petroleumsvirksomhet. Konsekvenser av regulære utslipp til luft. Kjeller, NILU (NILU OR 33/2012).

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 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<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 fotolyses. 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.

## **NILU – Stiftelsen Norsk institutt for luftforskning**

NILU – Stiftelsen 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 – Stiftelsen Norsk institutt for luftforskning  
Postboks 100, 2027 KJELLER

E-post: [nilu@nilu.no](mailto:nilu@nilu.no)

<http://www.nilu.no>

ISBN: 978-82-425-3069-1  
ISSN: 2464-3327