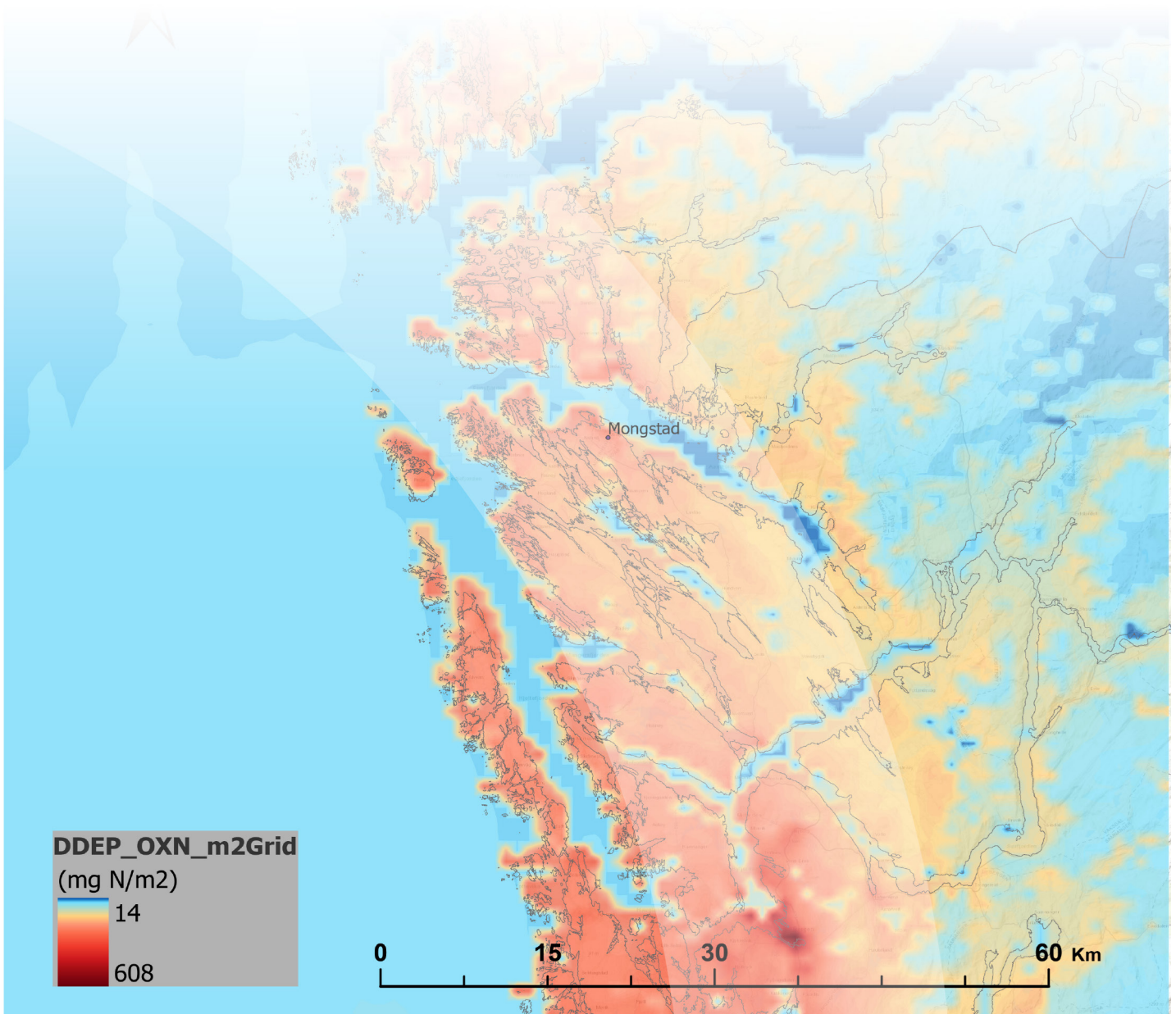


Equinor Mongstad

Spredningsberegninger av utslipp til luft

Tore Flatlandsmo Berglen, Tove Marit Svendby, Dag Tønnesen og
Sverre Solberg



Forord

Dette er et prosjekt utført av NILU - Norsk institutt for luftforskning på oppdrag for Equinor ASA på Mongstad. Equinor Mongstad mottok ny virksomhetstillatelse 10. september 2019 fra Miljødirektoratet. I denne er det noen krav som skal innfris, jfr. pkt. 14.5. Spredningsberegning av utslipp til luft: «Bedriften skal gjøre en oppdatert spredningsberegning av det samlede luftutslippet fra anlegget og vurdere hvilken grad dette utgjør en risiko for helse og miljø. Beregningene skal også inkludere i hvilken grad stoffer fra utslippet til luft påvirker vannforekomsten».

Arbeidet er hovedsakelig utført av Tore Flatlandsmo Berglen som har vært prosjektleder, beregnet timemiddelkonsentrasjoner ved hjelp av CONCX og skrevet rapporten, Tove Marit Svendby har gjort modellberegninger ved hjelp av modellsystemet WRF-EMEP, Dag Tønnesen har bistått vedrørende CONCX-beregningene og gjort vurderinger, Sverre Solberg har bidratt med vurdering av resultater. Alle medforfattere har bidratt til rapporten. Ellers har følgende kollegaer ved NILU bidratt til i prosjektet; Vo Thanh Dam gjorde grafisk framstilling av WRF-EMEP modellresultater, Claudia Hak var intern kvalitetskontrollør og Randi Nordby Henriksen har bidratt med redigering av rapporten. Martin Schlabach og Hilde Thelle Uggerud har bidratt i faglige diskusjoner.

Innhold

Forord	2
Sammendrag	4
1 Introduksjon	5
2 Modellverktøy, utslipp, bakgrunnsnivåer og tålegrenser.....	7
2.1 WRF-EMEP modellsystem	7
2.2 Utslipp fra Mongstad 2018	7
2.3 Generelt om komponentene som vurderes i denne studien	9
2.4 Bakgrunnskonsentrasjoner og grenseverdier	13
2.5 Forsuring og eutrofiering, eksisterende nivåer og tålegrenser	14
3 Timemiddelkonsentrasjon – modellresultater CONCX.....	20
3.1 SO _x	20
3.2 NO _x / NO ₂	22
4 Årsmidlet konsentrasjon og avsetning - modellresultater WRF-EMEP	24
4.1 Konsentrasjon og avsetning - NO _x	24
4.2 Konsentrasjon og avsetning - SO _x	27
4.3 Konsentrasjon - svevestøv / PM ₁₀	30
4.4 Konsentrasjon – prioriterte stoffer bly, kvikksølv, krom, PCB7, kadmium og arsen.....	31
4.5 Avsetning Fensfjorden	35
5 Referanser	36
Vedlegg A Detaljerte utslippsdata	38
Vedlegg B Norske grenseverdier og Tiltaksverdier og grenseverdier for forurensninger i arbeidsatmosfæren	41
Vedlegg C Detaljerte timemiddelkonsentrasjoner - CONCX.....	46

Sammendrag

NILU – Stiftelsen Norsk institutt for luftforskning har på oppdrag fra Equinor Mongstad gjort spredningsberegninger og avsetningsberegninger for utslipp til luft fra raffineriet på Mongstad. Bakgrunnen for studien er krav fra Miljødirektoratet om spredningsberegninger av utslipp til luft i forbindelse med ny virksomhetstillatelse.

Fokus i denne studien er NO_x , SO_x og svevestøv/ PM_{10} . Utslippsmengder for Mongstad raffineri er oppgitt av oppdragsgiver. Det er redegjort for gjeldende utslipp, luftkvalitetskriterier, eksisterende bakgrunnskonsentrasjoner og avsetning. Tålegrenser for skogsjord, vegetasjon og overflatevann er vist og diskutert. Det er gjort modellberegninger av timemiddel-konsentrasjoner ved hjelp av CONCX og regionale beregninger ved hjelp av modellsystemet WRF-EMEP.

Beregninger med CONCX viser at summen av bakgrunn og maksimalt beregnet timemiddel av utslippet er langt lavere enn norske grenseverdier og overskrides ikke under noen meteorologiske forhold. De viser også at alle skorsteinene ved Mongstad er tilstrekkelig dimensjonerte.

Beregninger med WRF-EMEP modellsystem viser lave maksimumsverdier av NO_x/NO_2 , SO_2 og svevestøv/ PM_{10} i nærområdet til Mongstad raffineri. Alle beregnede maksimumsverdier er lavere enn norske grenseverdier. Modellberegningene viser at maksimumskonsentrasjonene av NO og NO_2 i Mongstad sitt nærområde gitt som årsmiddel er henholdsvis $3,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (NO) og $15,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (NO_2), begge beregnet i gridboksen 2 km nord for Mongstad. Bidraget fra Mongstad (forskjellen i konsentrasjon med og uten utslippene fra Mongstad raffineri) beregnes til å være henholdsvis $0,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (NO) og $1,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (NO_2), det vil si omlag 10 % bidrag fra Mongstad i umiddelbar nærhet til raffineriet.

For SO_2 er maksimumskonsentrasjonen i Mongstad sitt nærområde gitt som årsmiddel $3,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, også beregnet i gridboksen 2 km nord for Mongstad. Både NO_x og SO_2 har levetid i atmosfæren på typisk en dag og konsentrasjonene nær Mongstad vil være styrt av utslipp og spredning, ikke kjemi. Bidraget til SO_2 fra Mongstad (forskjellen i konsentrasjon med og uten Mongstad-utslippene) beregnes til å være $0,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ SO_2 .

Med tanke på avsetning er det beregnet at av utslippene fra Mongstad avsettes 12 % av nitrogen, 17 % av svovel og 18 % av PM_{10} innenfor det innerste gridet ($105 \times 105 \text{ km}^2$).

Som en tilleggsstudie er det også gjort en vurdering av de prioriterte stoffene bly, kvikksølv, krom, PCB7, kadmium og arsen. Det ble ikke gjort spesifikke modellkjøringer av disse komponentene med WRF-EMEP modellsystem, men eksisterende resultater ble benyttet for å tallfeste maksimumskonsentrasjoner nedstrøms på grunn av utslipp fra Mongstad. Dette blir en form for «worst case»-vurdering. Med størst utslipp fra Mongstad slik de er gitt i virksomhetstillatelsen fra Miljødirektoratet, vil de beregnede maksimumskonsentrasjonene ligge på picogramnivå ($10^{-12} \text{ g}/\text{m}^3$) gitt som årsmiddel. Dette er rundt og under deteksjonsgrensen for analysemetodene av disse komponentene i luft. Det er også lavere enn den naturlige variasjonen som observeres i atmosfæren.

Equinor Mongstad

Spredningsberegninger av utslipp til luft

1 Introduksjon

Mongstad raffineri ligger i Alver kommune i Bergenhus Amt om lag 50 km nordvest for Bergen. Den første delen av raffineriet ble satt i drift i 1975. Equinor har flere ulike anlegg på Mongstad, bl.a. et oljeraffineri, et NGL¹-prosessanlegg (Vestprosess), en råoljeterminal, et kraftvarmeverk og verdens største teknologisenter for CO₂-fangst fra røykgass. Havna på Mongstad er den største i Norge målt i tonnasje med rundt 1500 skipsanløp årlig.



Figur 1: Industriområdet til Mongstad raffineri og omgivelsene. Selve raffineridelen sees midt i bildet med tankfarmen og utskipingshavn mot sjøen lengst mot nord. Kilde: Equinor.

Aktivitetene ved Mongstad raffineri vil uvegerlig føre til utslipp til luft. Det er installert flere anlegg for å begrense utslippene, bl.a. ble det åpnet et anlegg for fjerning av svovel fra diesel og gassolje i 1996. I 1997 ble i tillegg et anlegg for reduksjon av benzen satt i drift og i 2003 kom installasjon for fjerning av svovel fra bensin. Nytt svovelreanseanlegg ble ferdigstilt i 2010. Disse anleggene sørger for at produktene fra Mongstad oppfyller de nyeste EU-kravene. Utslipp til luft fra Equinor avd. Mongstad slik de er rapportert til norske myndigheter er gjengitt i Tabell 1 (kap. 2.2).

NILU har tidligere utført flere måleprogrammer for luftkvalitet ved Mongstad, senest i 2007-2008 (Tønnesen, 2008) og i 2011-2012 (Berglen et al., 2013). I 2011-2012 ble det gjort målinger av NO_x (nitrogenoksider, det vil si NO+NO₂), O₃ (ozon), PM₁₀ (svevestøv) og SO₂

¹ NGL (eng. Natural Gas Liquids) er en samlebetegnelse for butan, etan, isobutan og propan i flytende form. NGL er en av fire typer petroleum, råolje, naturgass og kondensat er de tre andre.

(svoveldioksid) med monitorer, BTEX (**b**enzen, **t**oluen, **e**tylbenzen og **x**ylener) ble målt ved passive prøvetakere, samt at det ble gjort prøvetaking og analyse av PAH i luft og nedbør. Resultatene den gang viste at konsentrasjonene i luft ved Mongstad var under norske grenseverdier.

Equinor Mongstad mottok ny virksomhetstillatelse fra Miljødirektoratet 10. september 2019. I denne er det noen krav som skal innfris:

«14.5. Spredningsberegning av utslipp til luft

Bedriften skal gjøre en oppdatert spredningsberegning av det samlede luftutslippet fra anlegget og vurdere hvilken grad dette utgjør en risiko for helse og miljø. Beregningene skal også inkludere i hvilken grad stoffer fra utslippet til luft påvirker vannforekomsten.»

Videre står det:

«Prioriterte stoffer

De prioriterte stoffene bly, BTEX, kvikksølv, krom og PCB7 som bedriften oppgir å ha i utslippet til luft er satt inn i tabell 4. Mengdene er basert på informasjonen fra bedriften og gjelder hele anlegget. Vi vurderer dette som store mengder, men før bedriften har gjort spredningsberegninger, jfr. tillatelsen punkt 14.5, er det vanskelig å si noe om konsekvensene av disse utslippene. Vi vil kunne gjøre en ny vurdering av utslippene av prioriterte stoffer når vi har mottatt bedriftens redegjørelser for reduksjonsmuligheter og spredningsberegninger.

I tillegg har bedriften små utslipp av kadmium og arsen. For disse stoffene har vi ikke stilt krav om målinger, men muligheten for å finne disse stoffene i utslippene er spesifisert i tillatelsen.»

(Tabell 4 refererer til tabellnummerering i Virksomhetstillatelsen. Begrepet «Prioriterte stoffer» refererer til liste fra Miljødirektoratet).

Målet med herværende studie er å gjennomføre oppdaterte spredningsberegninger og vurderinger av konsekvenser av utslipp til luft fra eksisterende anlegg på Mongstad. Beregning av konsentrasjoner i luft samt tørr- og våtavsetning av nitrogen og svovel er utført ved hjelp av modellsystemet WRF-EMEP. Prosjektet fokuserer på NO_x, SO_x og støv/partikler. Resultatene er gitt som konsentrasjon av de ulike komponentene og som avsetning av nitrogen og svovel i Mongstad sitt nærområde. De beregnede konsentrasjoner er sammenlignet med norske grenseverdier og akseptkriterier for luft. Beregnet avsetning av nitrogen og svovel vil danne grunnlag for vurdering av Mongstads påvirkning av vannkvalitet i nærområdene inkl. Fensfjorden.

Videre er studien utvidet til også å inkludere de prioriterte stoffene bly, kvikksølv, krom, PCB7 ², kadmium og arsen, jfr. vurdering fra Miljødirektoratet ovenfor. BTEX (benzen, toluen, etylbenzen og xylener) er ikke vurdert videre da denne komponentgruppen studeres i et separat måleprosjekt. Det ble ikke gjort nye modellberegninger for disse komponentene, men eksisterende resultater ble benyttet for å estimere bidraget til det ytre miljø fra utslipp til luft fra Mongstad.

² PCB7 er samlebetegnelse for PCB-28, -52, -101, -138, -153 og -180 (ofte betegnet PCB6), samt PCB-118.

2 Modellverktøy, utslipp, bakgrunnsnivåer og tålegrenser

2.1 WRF-EMEP modellsystem

WRF-EMEP er et integrert modellsystem som består av en prognostisk meteorologisk modul WRF (**W**ea**h**er **R**esearch and **F**orecast)³ som beregner meteorologiske data og en spredningsmodell EMEP (**E**uropean **M**onitoring and **E**valuation **P**rogramme)⁴ som beregner kjemi og avsetning. Modellsystemet deler atmosfæren inn i «bokser» (gridrutenett, kalt Eulersk modell på fagspråket). Til studier av punktkilder som Mongstad er det en mulighet for å nøste med gradvis finere oppløsning, det vil si minst bokser nær utslippspunktet. I denne studien er modellen nøstet tre ganger. Gridrutene er minst i området rundt punktkildene på Mongstad, og så blir de gradvis større med økende avstand fra utslippspunktet.

Det ytterste domenet dekker hele Europa og har en gridoppløsning/boksstørrelse på $50 \times 50 \text{ km}^2$. Dette ytterste modelldomenet vil fange opp langtransportert forurensning, eksempelvis fra Sentral-Europa og Storbritannia. Det midtre modelldomenet dekker Sør-Norge og nordvestlige deler av Europa og har en gridoppløsning på $5 \times 5 \text{ km}^2$. Det innerste modelldomenet dekker området rundt Mongstad (totalt $105 \times 105 \text{ km}^2$) og har en gridoppløsning på $1 \times 1 \text{ km}^2$. De to innerste modelldomenene er sentrert rundt Mongstad, mens det ytterste er noe skjevt plassert for å dekke utslipp og transport fra Europa. På denne måten beregner modellen samlet bidrag og påvirkning på lokal luftkvalitet og avsetning fra Mongstadanlegget.

Som inngangsdata til modellen er det benyttet meteorologi for 2018. Med andre ord bruker modellen værdata for 2018 beregnet av WRF-modellen. Som kjent var 2018 preget av høye temperaturer og lite nedbør i sommermånedene.

Når det gjelder utslipp i modellen er det benyttet spesifikke utslipp for Mongstad for 2018. Ellers i beregningene brukes norske utslipp representative for 2015 (bakgrunnsutslipp). Dette krevde en del tilpasning av utslippene i modellen, blant annet måtte utslipp fra Mongstad fjernes fra de norske utslippene for å unngå at de ble telt dobbelt. Detaljerte utslippsdata, det vil si mengde av hver enkelt komponent, skorsteinshøyder, utgangstemperatur, utgangshastighet ble oppgitt av Equinor.

2.2 Utslipp fra Mongstad 2018

Samlede utslipp fra Equinor Mongstad slik de er rapportert til norske myndigheter er gjengitt i Tabell 1. Detaljerte utslipp og fysiske utslippsdata (utgangstemperatur, utgangshastighet, skorsteinshøyde m.m.) for hver enkelt skorstein slik de er oppgitt av Equinor er gjengitt i Tabell 5 i Vedlegg A. Av komponentene i Tabell 1 er det NO_x , SO_2 og partikler som er mest relevante for denne studien, samt de prioriterte stoffene arsen, bly, kvikksølv og krom.

³ <https://www.mmm.ucar.edu/weather-research-and-forecasting-model> [besøkt 26. februar 2020].

⁴ <https://emep.int> [besøkt 26. februar 2020].

Tabell 1: *Utslipp til luft fra Equinor avd. Mongstad raffineri for 2018 slik de er rapportert til norske myndigheter, gjengitt fra databasen <https://www.norskeutslipp.no>⁵. Komponenter merket med ingen utslipp eller "Ikke relevant" er utelatt. Fra og med 2017 er kraftvarmeverket og raffineriet på Mongstad dekket av samme tillatelse til kvotepliktige utslipp av klimagasser, og rapporterer sine kvotepliktige utslipp samlet som Statoil Mongstad (navneskifte til Equinor i mai 2018). Enhet: kg eller tonn pr. år.*

Utslipp pr. komponent	Mengde pr. år
Arsen	0,45 kg
Benzen, toluen, etylbenzen, xylen (BTEX)	165 kg
Bly	0,78 kg
Flyktige organiske forbindelser uten metan (NMVOC)	4 914 tonn
Hydrogencyanid (HCN)	1769 kg
Karbondioksid (CO ₂)	2 168 000 tonn
Karbondioksid fossilt (CO ₂ (F))	2 168 000 tonn
Klimagasser (CO ₂ -ekv)	2 202 728 tonn
Kobber (Cu)	5,1 kg
Krom (Cr)	4,7 kg
Kvikksølv (Hg)	0,1 kg
Metan (CH ₄)	1 654 tonn
Nikkel (Ni)	40 kg
Nitrogenoksider (NO _x)	1 403 tonn
Partikulært utslipp til luft fra industri (INSTOV)	63 tonn
Sink (Zn)	252 kg
Svoveldioksid (SO ₂)	329 tonn
Vanadium (V)	22,6 kg

I vurderingen fra Miljødirektoratet listes det opp utslipp til luft av fem komponenter med tilhørende mengder. Disse er gjengitt i Tabell 2. Merk at det tildels er stor forskjell tallene i Tabell 1 og Tabell 2. Det vil si forskjell mellom hva Equinor Mongstad slapp ut i 2018 (Tabell 1) og spennet i hva bedriften har sluppet de senere årene (Tabell 2). Dette gjelder f.eks. bly (utslipp 0,78 kg i 2018, min/maks. 11/15,6 kg), krom (utslipp 4,70 kg, min/maks. 12,8/16,6 kg) og kvikksølv (utslipp 0,10 kg, min/maks. 3,2/4,1 kg).

Når det gjelder PCB hadde Mongstad et utslipp på 10,6 g PCB i 2019 (oppgitt av Equinor). I 2018 ble det ikke rapportert utslipp til luft av PCB, mens utslippet årene før var hhv. 43,64 g (2017, målt), 40,00 g (2016, målt) og 42,00 g (2015, beregnet). Disse tre årene var Mongstad raffineri største rapporterte kilde av PCB med tanke på utslipp til luft fra Landbasert industri i

⁵ <https://www.norskeutslipp.no/no/Diverse/Virksomhet/?CompanyID=5440> [besøkt 26. februar 2020].

Norge ⁶. Se ellers rapport fra SSB angående kildefordeling og utslipp av PCB i Norge 1990 – 2014 (Aasestad, 2016).

Tabell 2: *Utdrag av tabell fra Miljødirektoratet som viser spennet i utslippene av prioriterte stoffer fra Equinor Mongstad. Enhet: g eller kg per år [¶].*

Resipient	Stoff	Min kg/år *	Maks kg/år *
Luft	Kvikksølv	3,2	4,1
Luft	Bly	11	15,6
Luft	Krom	12,8	16,6
Luft	PCB [¶]	40	52
Luft	Naftalen	54	71

* Min og maks. refererer til laveste og høyeste verdi funnet over noen år.

[¶] Merk at PCB har utslipp i gram, mens tabellen opprinnelig har enhet kg.

2.3 Generelt om komponentene som vurderes i denne studien

Nitrogenoksider (NO_x)

NO_x (NO + NO₂) dannes ved forbrenning ved høy temperatur. Luft består av 78 % molekylært nitrogen, N₂, der bindingen mellom nitrogenatomene N-N er meget sterk. Høy temperatur/mye energi kan bryte opp denne bindingen og NO_x dannes. Mesteparten av NO_x slippes ut i form av NO (~90-95 % avhengig av kildetype), mens det resterende slippes ut som NO₂. På Mongstad varierer andelen NO₂ en del mellom 2 og 10 % av NO utslippskonsentrasjonen, typisk rundt 5 % (informasjon gitt av Equinor).

Samlede utslipp av NO_x i Norge i 2018 var 163 500 tonn (kilde: SSB ⁷). Utslippene fra kategorien Olje- og gassutvinning – stasjonær forbrenning er nå største kilde (45 000 tonn i 2018), tett fulgt av Innenriks sjøfart og fiske (42 000 tonn). Utslippene fra olje- og gassutvinning har vært tilnærmet stabile siden 2005, energibehovet har gått opp, men nye anlegg har turbiner med lav-NO_x teknologi. Tidligere var transport og motorredskaper en stor kilde, men utslippene fra denne sektoren har gått ned de senere årene, hovedsakelig på grunn av teknologiforbedringer som følge av skjerpede utslippskrav. De viktigste naturlige kildene til NO_x er lyn og utslipp fra jord. NO₂ er en giftig gass og det er derfor etablert strenge luftkvalitetskrav og grenseverdier.

Mesteparten av NO_x tapes fra atmosfæren ved at det går over til HNO₃/NO₃⁻, men noe avsettes også direkte på bakken i form av NO₂ og utgjør en del av den samlede N-avsetningen. HNO₃ er svært vannløselig og tapes ved våtavsetning i nedbør. Løst i vann bidrar HNO₃ til forsuring av nedbør og vassdrag. Nitrogen fungerer som gjødsel, planter og alger trenger nitrogen for å vokse, men for mye nitrogen kan virke skadelig og bl.a. forskyve artssammensetningen mot arter som tåler høy nitrogenbelastning. NO_x er også viktig med

⁶ <https://www.norskeutslipp.no/no/Komponenter/Utslipp/Polyklorerte-bifenyl/?ComponentType=utslipp&ComponentPageID=233> [besøkt 2. april 2020].

⁷ <https://www.ssb.no/natur-og-miljo/statistikker/klimagassn> [besøkt 27. februar 2020].

tanke på ozon (O_3). Reaksjoner mellom NO_x og hydrokarboner med sollys tilstede gir dannelse av bakkenær ozon. Ozon er svært reaktivt og er skadelig for planter og dyr ved tilstrekkelige doser.

Levetiden for NO_x i atmosfæren er typisk en dag (Jacob, 1999).

Svoveloksider (SO_x)

Med SO_x menes her mesteparten SO_2 pluss noe sulfat [SO_4^{2-}].

Samlede utslipp av SO_2 i Norge i 2018 var 16300 tonn (kilde: SSB ⁸), hvor Industri og bergverk (bl.a. smelteverk) var klart største kilde (til sammen 11700 tonn). Utslippene fra kategorien Olje- og gassutvinning – stasjonær forbrenning utgjorde 500 tonn i 2018. Også internasjonalt er industri en stor antropogen (menneskeskapt) kilde av SO_2 , men også skipsfart har store utslipp. De antropogene utslippene av svovel er sterkt redusert i Europa de senere år som en følge av rensetiltak. Angående naturlige utslipp er vulkaner en viktig svovelkilde, samt DMS (dimetylsulfid, CH_3SCH_3) som stammer fra alger i havet. På global skala har sulfatpartikler betydning for jordas strålingsbalanse og klima, men for denne studien er svovel viktig med tanke på lokal luftkvalitet og sur nedbør (svoveloksider løst i vann som H_2SO_4) som bidrar til forsuring av jord og vann. Sur nedbør er mindre kritisk i Norge i dag enn det var tidligere.

Levetiden for SO_2 i atmosfæren er typisk en dag. Levetiden for H_2SO_4 avhenger av nedbørmengde, men er i størrelsesorden noen dager (Berglen et al., 2004).

Støv / PM_{10}

Med støv/partikler menes i denne studien hovedsakelig sot/uforbrent karbon fra enkelte skorsteiner og fakkelen. Sot fra fakling oppstår fordi forbrenningen i flammen er ufullstendig. Ved god forbrenning med nok oksygen tilstede dannes hovedsakelig CO_2 og vann (H_2O). Ved ufullstendig forbrenning dannes karbonpartikler, det vil si sot. Et viktig poeng ved fakling av gass er hvor "lett" eller "tung" gassen som fakles er. Ved fakling av lett gass, det vil si 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, det vil si gass med lange karbonkjeder vil forholdet karbon/oksygen være stort. Da vil det ikke være nok oksygen til alle karbonatomer for å danne CO_2 og ufullstendig forbrenning oppstår.

Arsen

Arsen (kjemisk tegn As) er strengt tatt et halvmetall/metalloid og finnes naturlig i jordskorpen. Arsen finnes i mange forbindelser og uorganiske arsenforbindelser er ansett for å være mest giftige. Når det gjelder utslipp til luft er kategorien Olje og gass en stor kilde (4,11 % av totale rapporterte norske utslipp i 2017), mens utslipp fra CCA-behandlet treverk er klart største kilde til når det gjelder utslipp til det ytre miljø generelt (68,1 % av totalen i

⁸ <https://www.ssb.no/natur-og-miljo/statistikker/klimagassn> [besøkt 27. februar 2020].

2017, se miljostatus.no ⁹). Totale rapporterte utslipp til luft av arsen (i Norge) utgjorde 1282,99 kg i 2017¹⁰, ned fra drøye 4 tonn i 1990.

Bly

Bly (kjemisk tegn Pb) er et giftig tungmetall som tidligere ble mye brukt i blant annet vannrør (fordi det er mykt og lett formbart), maling, ammunisjon og som tilsetning i bensin. Innføring av blyfri bensin gjør at utslippene av bly har blitt kraftig redusert de siste tiårene. Totale utslipp av bly ble redusert med nesten 90 prosent fra 1990 til 2017 ¹¹. Totale rapporterte utslipp til luft av bly i Norge utgjorde 6670,07 kg i 2017, ned fra 28 751,14 kg rapportert i 1994 ¹².

Krom

Krom (kjemisk tegn Cr) er et giftig tungmetall som lett binder seg til andre stoffer. Tidligere ble krom mye brukt i impregnert trevirke (CCA-behandling), men det ble innført forbud mot å produsere og omsette CCA-impregnert treverk i Norge i 2002. I perioden 1995–2017 ble utslippene av krom i Norge redusert med ca. 60 prosent. I dag er lekkasje fra gammelt CCA-behandlet treverk klart største kilde når det gjelder utslipp til det ytre miljø generelt (62,3 % av totalen i 2017, se miljostatus.no ¹³, mens olje og gass står for 1,78 %. Totale rapporterte utslipp til luft av krom i Norge utgjorde 3 559,04 kg i 2017, ned fra 11 967,29 kg rapportert i 1994 ¹⁴.

Kadmium

Kadmium (kjemisk tegn Cd) er et giftig tungmetall som er naturlig forekommende. Største bruksområdet er produksjon av nikkell-kadmium-batterier. Utslippene i Norge er sterkt redusert de siste tiårene, fra 43 tonn i 1985 til om lag 1 tonn i 2017 ¹⁵. Totale rapporterte utslipp til luft av kadmium i Norge utgjorde 432,06 kg i 2017, ned fra 1 459,41 kg rapportert i 1994 ¹⁶.

⁹ <https://miljostatus.miljodirektoratet.no/tema/miljogifter/prioriterte-miljogifter/arsen-og-arsenforbindelser/> [besøkt 13. april 2020]

¹⁰ <https://www.norskeutslipp.no/no/Komponenter/Utslipp/Arsen/?ComponentType=utslipp&ComponentPageID=71> [besøkt 2. april 2020].

¹¹ <https://miljostatus.miljodirektoratet.no/tema/miljogifter/prioriterte-miljogifter/bly-og-blyforbindelser/> [besøkt 13. april 2020].

¹² <https://www.norskeutslipp.no/no/Komponenter/Utslipp/Bly/?ComponentType=utslipp&ComponentPageID=56> [besøkt 13. april 2020].

¹³ <https://miljostatus.miljodirektoratet.no/tema/miljogifter/prioriterte-miljogifter/krom-og-kromforbindelser/> [besøkt 13. april 2020].

¹⁴ <https://www.norskeutslipp.no/no/Komponenter/Utslipp/Krom/?ComponentType=utslipp&ComponentPageID=164> [besøkt 13. april 2020].

¹⁵ <https://miljostatus.miljodirektoratet.no/tema/miljogifter/prioriterte-miljogifter/kadmium-og-kadmiumforbindelser/> [besøkt 13. april 2020].

¹⁶ <https://www.norskeutslipp.no/no/Komponenter/Utslipp/Kadmium/?ComponentType=utslipp&ComponentPageID=72&SectorID=90> [besøkt 13. april 2020].

Kvikksølv

Kvikksølv (kjemisk tegn Hg) er et sølvhvitt metall som er flytende ved romtemperatur. Det er også en miljøgift som har alvorlige konsekvenser for helse og miljø. Kvikksølv i Norge er for en stor del langtransportert. Kina, India og Indonesia er store utslippsland, men Norge mottar hovedsakelig Hg fra europeiske kilder (Hirdmann et al., 2009). Bruk og utslipp av kvikksølv er strengt regulert i Norge. Utslippene av kvikksølv har blitt reduserte med 80 % siden 1995 og utgjør nå totalt 0,5 tonn pr år (2017)¹⁷. Totale rapporterte utslipp til luft av kvikksølv i Norge utgjorde 247,63 kg i 2017, ned fra 1 018,56 kg rapportert i 1994¹⁸.

PCB

PCB er forkortelse for polyklorerte bifenyler (engelsk: *polychlorinated biphenyls*). Det er en samlebetegnelse for en gruppe organiske miljøgifter med kjemisk formel $C_{12}H_{10-x}Cl_x$, hvor x er tall mellom 1 og 10. Molekylene er bygget opp som bifenyl, det vil si to benzenringer¹⁹, hvor mellom 1 og 10 H-atomer er byttet ut med Cl-atomer (klor). Det finnes over 200 kjente PCB-forbindelser.²⁰

Det er en menneskeskapt miljøgift og forekommer ikke i naturlig tilstand. PCB ble tidligere brukt i forskjellige industrielle sammenhenger (kondensatorer, transformatorer, lysarmaturer, flammehemmere), men er nå forbudt. PCB-utslipp kan fortsatt forekomme ved lekkasjer fra gamle installasjoner og PCB-holdige materialer. Det eksisterer strenge regler for håndtering og sanering av PCB i Norge.

PCB er meget helse- og miljøskadelig. Det er vanskelig nedbrytbart og løses lett i fett. Dette gjør at PCB akkumuleres i næringskjeden og oppkonsentreres. Mennesket, som er på toppen av næringskjeden, er derfor svært utsatt. Ang. helseeffekter på mennesker kan nevnes at PCB øker kreftfaren, skader forplantningsevnen og svekker immunforsvaret. Det er påvist fosterskader grunnet PCB og barn er svært utsatt ved eksponering. PCB gir også skader på dyr, både landdyr og vannorganismer.

Når det gjelder utslipp til luft er utslippene av PCB sterkt redusert de siste tiårene. SSB har beregnet utslipp og kildefordeling fra 1990 – 2014 (Aasestad, 2016). Ifølge disse beregningene ble det sluppet ut 26 kg PCB til luft i Norge i 2014. Dette er en nedgang på 88 prosent siden 1990. Utslipp fra veitrafikk er viktigste kilden til PCB-utslipp. Utslipp fra tunge kjøretøy utgjorde 20,2 kg i 2014, deretter personbiler 1 kg og andre lette kjøretøy 0,5 kg.

Som sagt finnes det over 200 kjente PCB-forbindelser. Det er to hovedgrupper av PCB, ikke-dioksinliknende PCB (idl-PCB) og dioksinliknende PCB. PCB7 er samlebetegnelsen for PCB-28, -52, -101, -138, -153 og -180 (ofte betegnet PCB6), samt PCB-118, som er dioksinlignende.

¹⁷ <https://miljostatus.miljodirektoratet.no/tema/miljogifter/prioriterte-miljogifter/kvikksolv-og-kvikksolvforbindelser/> [besøkt 13. april 2020].

¹⁸

<https://www.norskeutslipp.no/no/Komponenter/Utslipp/Kvikksolv/?ComponentType=utslipp&ComponentPageID=74&SectorID=90> [besøkt 13. april 2020].

¹⁹ Benzen, C_6H_6 består av 6 karbonatomer knyttet sammen med enkelt- og dobbeltbindinger slik at de danner en ring og et hydrogenatom knyttet til hvert karbonatom.

²⁰ <https://miljostatus.miljodirektoratet.no/tema/miljogifter/prioriterte-miljogifter/polyklorerte-bifenyler-pcb/> [besøkt 2. april 2020].

PCB finnes både i gass- og partikkelfase, av PCB7 er den letteste (PCB-28) ren gassfase, den tyngste (PCB-180) er ren partikkelfase og de i midten er både og.

2.4 Bakgrunnskonsentrasjoner og grenseverdier

Som sagt utførte NILU et måleprogram ved Mongstad i 2011-2012 (Berglen et al., 2013). Målingene den gang viste at årsmiddel av NO₂ i 2012 var 3,45 µg/m³ på Sande nord for Mongstad og 1,41 µg/m³ på Sundsbø sør-øst for Mongstad. Høyeste timemiddel (gjennomsnittskonsentrasjon over en time) var henholdsvis 129,7 µg/m³ (Sande) og 36,4 µg/m³ (Sundsbø). I Forurensningsforskriftens Del 3 kap 7 ²¹ er timegrenseverdi for beskyttelse av menneskets helse 200 µg/m³ NO₂, og denne grenseverdien må ikke overskrides mer enn 18 ganger pr. kalenderår. Årsgrenseverdi for beskyttelse av menneskets helse er 40 µg/m³ NO₂. Grenseverdi for beskyttelse av vegetasjonen er 30 µg/m³ NO_x. Målingene den gang viste at luftkvaliteten på Mongstad var langt under norske grenseverdier. Se ellers Vedlegg B for detaljert beskrivelse av norske grenseverdier og akseptkriterier.

Når det gjelder SO₂ er det generelt lave verdier på Mongstad, ofte nær 0. I 2012 var alle månedsmidler under 1 µg/m³ SO₂ både på Sande og Sundsbø. Høyeste timemiddel var 6,99 µg/m³ og høyeste døgnmiddel 5,56 µg/m³ (begge på Sande). Grenseverdiene gitt i Forurensningsforskriften sier at timegrenseverdi for beskyttelse av menneskets helse er 350 µg/m³ og denne grenseverdien må ikke overskrides mer enn 24 ganger pr. kalenderår. Døgn grenseverdi for beskyttelse av menneskets helse er 125 µg/m³, grenseverdien må ikke overskrides mer enn 3 ganger pr. kalenderår. Grenseverdi for beskyttelse av økosystemet (kalenderår og vinterperioden 1/10–31/3) er 20 µg/m³. Igjen viste programmet i 2012 at de målte konsentrasjonene var langt under norske grenseverdier.

Når det gjelder de prioriterte stoffene bly, kvikksølv, krom, PCB7, kadmium og arsen er bakgrunnskonsentrasjonene av disse generelt lave, det vil si nær 0 eller under deteksjonsgrensen.

NILU har måleprogrammer for langtransporterte miljøgifter i Norge (luft- og nedbørkjemi (Aas et al., 2019, Bohlin-Nizzetto et al., 2019). Tungmetaller i svevestøv måles ved observatoriene på Birkenes II (Sør-Norge) og Zeppelinfjellet (Spitsbergen) og på Andøya (Bohlin-Nizzetto et al., 2019). Verdiene på disse observatoriene representerer bakgrunnsverdier og har årsmiddelverdier for 2019 mellom 0,14 og 0,75 ng/m³ for bly, mellom 0,16 og 0,32 ng/m³ for krom og mellom 0,007 og 0,032 ng/m³ for kadmium. Årsmiddelkonsentrasjonen av As i 2018 ligger mellom 0,03 og 0,17 ng/m³.

NILUs måleprogram i Øst-Finnmark for å tallfeste forurensninger fra smelteverk på russisk side viser at årsmiddelkonsentrasjonene i 2018 var hhv. 1,6 / 3,5 ng/m³ (bly Svanvik/Karpdalen), 0,3 ng/m³ (krom begge stasjonene), 0,1 / 0,2 ng/m³ (kadmium Svanvik/Karpdalen) og 1,1 / 2,2 ng/m³ (arsen Svanvik/Karpdalen) (Berglen et al., 2019, se Hovedrapport og Vedlegg til årsrapport). Merk dog at disse målingene er påvirket av industriutslipp fra Nikel og Zapoljarnij og kan derfor være høyere enn

²¹ https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2004-06-01-931/KAPITTEL_3-1#§7-1 [besøkt 6. mars 2020].

bakgrunnskonsentrasjoner ellers i Norge. Uansett er konsentrasjonene i atmosfæren typisk på nanogram-nivå og lavere (ng/m^3).

NILU målte kvikksølv i luft i Karpdalen i Øst-Finnmark fra oktober 2017 og ut april 2018. Målingene dengang viste bakgrunnsnivåer rundt 1,3 - 1,4 ng/m^3 , litt stigende mot slutten av året/vinteren (over 1,5 ng/m^3) (Berglen et al., 2018). Dette er et typisk mønster for sesongvariasjon på nordlige halvkule. På norske bakgrunnsstasjoner varierte årsmiddelkonsentrasjonene av Hg mellom 1,40 og 1,45 ng/m^3 i 2018 (Bohlin-Nizzetto et al., 2019).

Når det gjelder PCB7 finnes det få målinger i luft, men enkeltstående målekampanjer viser at bakgrunnskonsentrasjonene er veldig lave og det er nødvendig med lang prøvetakingstid / eksponeringstid for å få analyseverdier over deteksjonsgrensen.

2.5 Forsuring og eutrofiering, eksisterende nivåer og tålegrenser

Forsuring betyr senkning av pH i vassdrag og innsjøer grunnet økning i sur nedbør. Nedbør har en «naturlig» surhet rundt $\text{pH}=5,6$ på grunn av «naturlig»²² forekommende CO_2 i atmosfæren, men økt tilførsel av CO_2 , SO_2 og NO_x gir økt konsentrasjon av $[\text{H}^+]$ 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 næringsalter. 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.

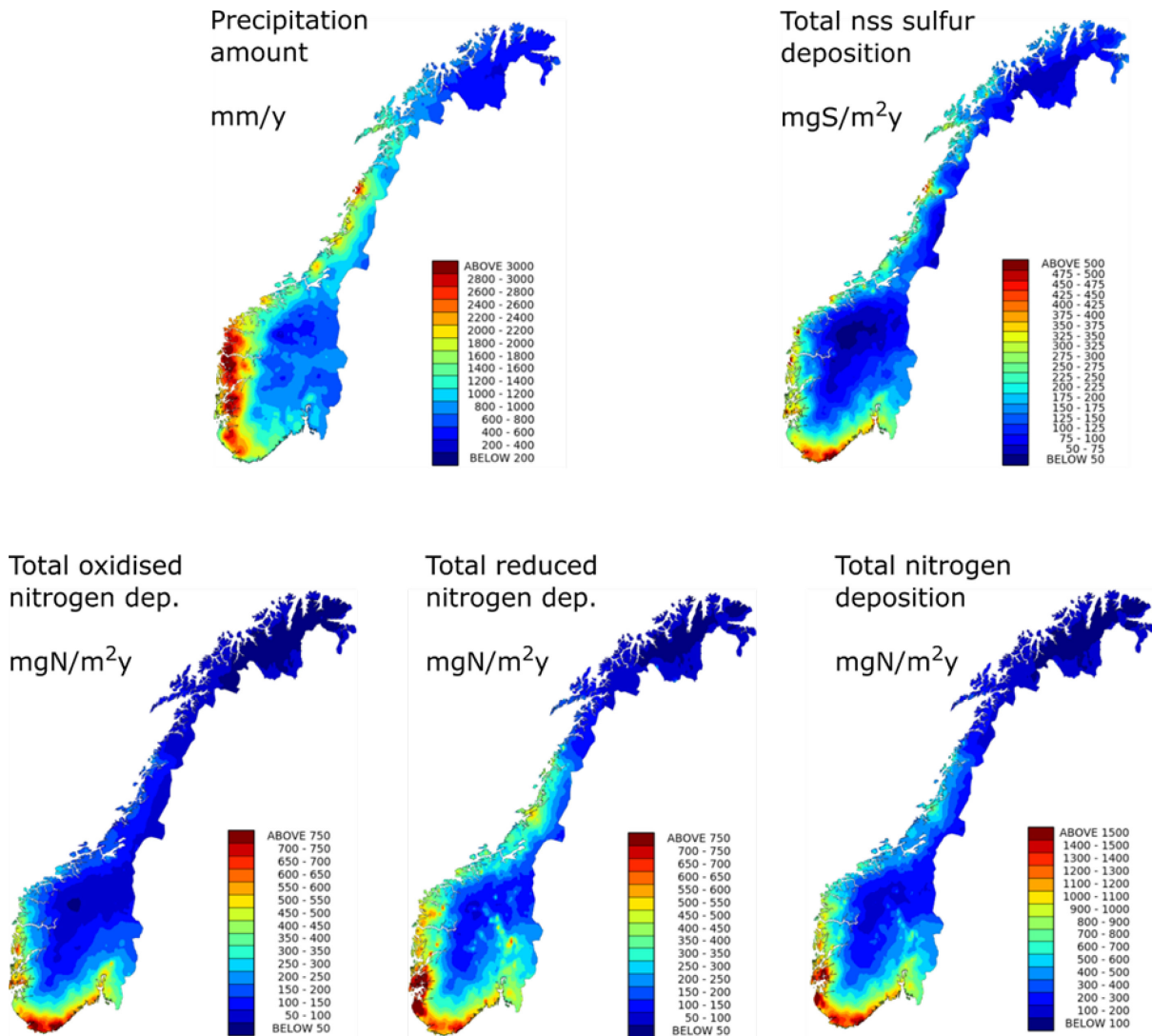
For denne studien er økt utslipp av NO_x med dertil økt avsetning av nitrogen mest relevant. En effekt av eutrofiering er fremvekst av arter som tåler mye nitrogen på bekostning av arter som tåler mindre nitrogen. Nitrogensterke arter fortrenger de nitrogensvake med tilhørende tap av biologisk mangfold.

For å vurdere avsetning fra petroleumsvirksomhet og dets mulige effekt på miljøet er det viktig å etablere to viktige begreper; eksisterende avsetning og naturens tålegrense. Med andre ord er det tre begreper som må sammenstilles, eksisterende avsetning (bakgrunn), økt bidrag fra petroleumsvirksomhet på Mongstad 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 2012-2016 (Aas et al., 2017). Total avsetning av nitrogen er vist i Figur 2. De største verdiene sees på Sør-Vestlandet grunnet langtransportert forurensning fra Europa med verdier opp mot 1500 $\text{mg N}/(\text{m}^2 \text{ år})$. Laveste verdier sees i Nord-Norge og spesielt Finnmark der avsetningen er under 200 $\text{mg N}/(\text{m}^2 \text{ år})$.

²² Naturlig i «» siden økningen i CO_2 i industriell tid er forårsaket av menneskeskapt/antropogene utslipp.

Oppdatert avsetning av svovel er også vist i Figur 2. Igjen er det Sør-Vestlandet som har de høyeste verdiene (over 500 mg S/m² år) grunnet langtransportert forurensing. Nord-Norge har lave verdier, dog er det noe forhøyede verdier i Øst-Finnmark grunnet utslipp, transport og avsetning av svovel fra smelteverkene i N-V Russland (Berglen et al., 2019).

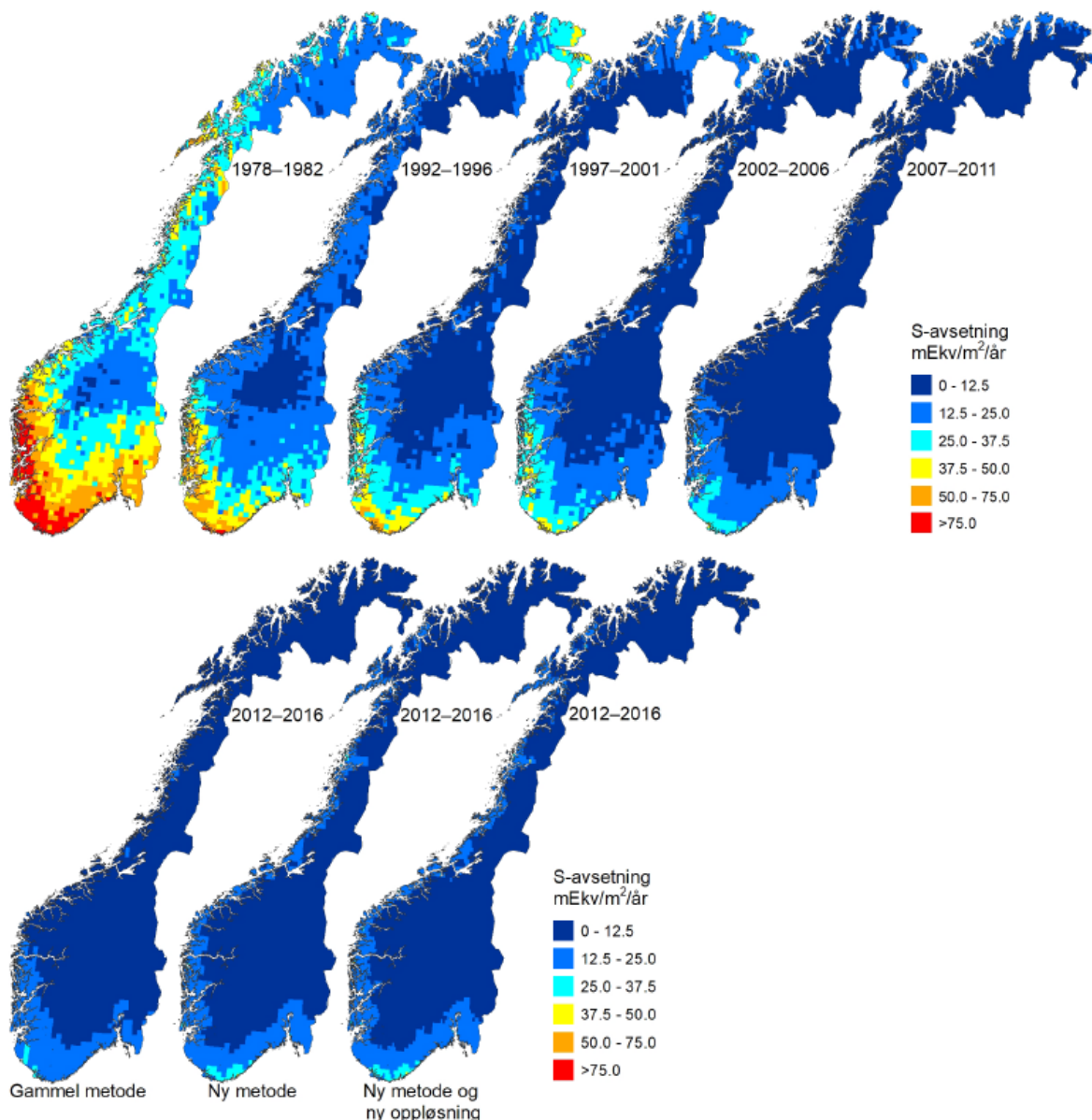


Figur 2: Årlig nedbørmengde (øverst til venstre, enhet: mm/år), avsetning av svovel korrigert for sjøsalt (nss, øverst til høyre, enhet: mg S/(m² år)), samt nitrogen (oksidert, redusert og total, nederst, enhet: mg N/(m² år)) gitt som årsmiddel for perioden 2012 - 2016. Kilde Aas et al., 2017.

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 et al., 2018). Total

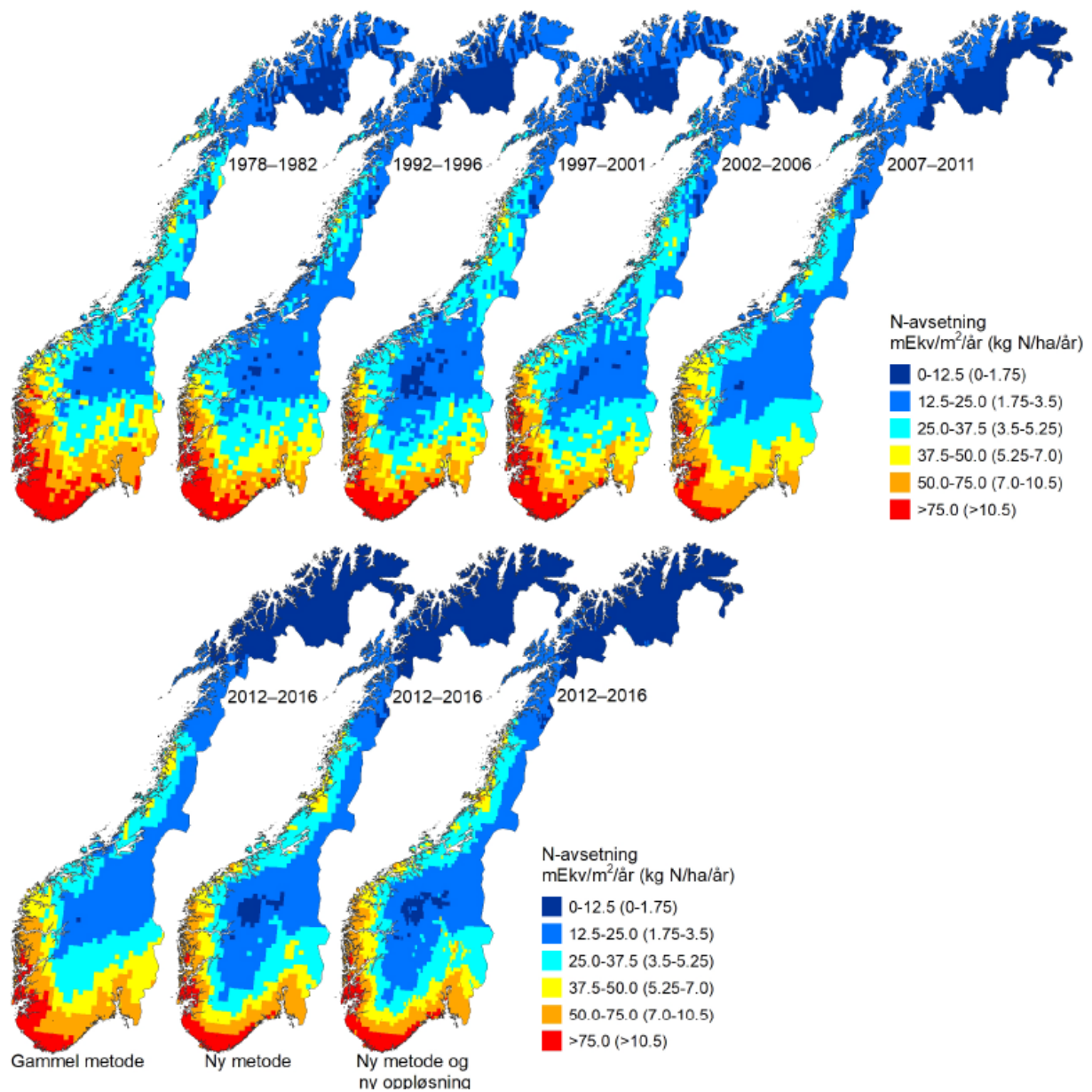
avsetning av svovel og nitrogen fra 1978 – 2016 er gitt i Figur 3 og Figur 4. Merk at denne figuren bygger på det samme underlagsmaterialet som i Figur 2, men er her omregnet til mEkv / (m² år)²³.

Et viktig poeng ved Figur 3 er tidstrenden fra 1978 – 2016. 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 på grunn av økonomisk krise i den tidligere Sovjetunionen på 1990-tallet.



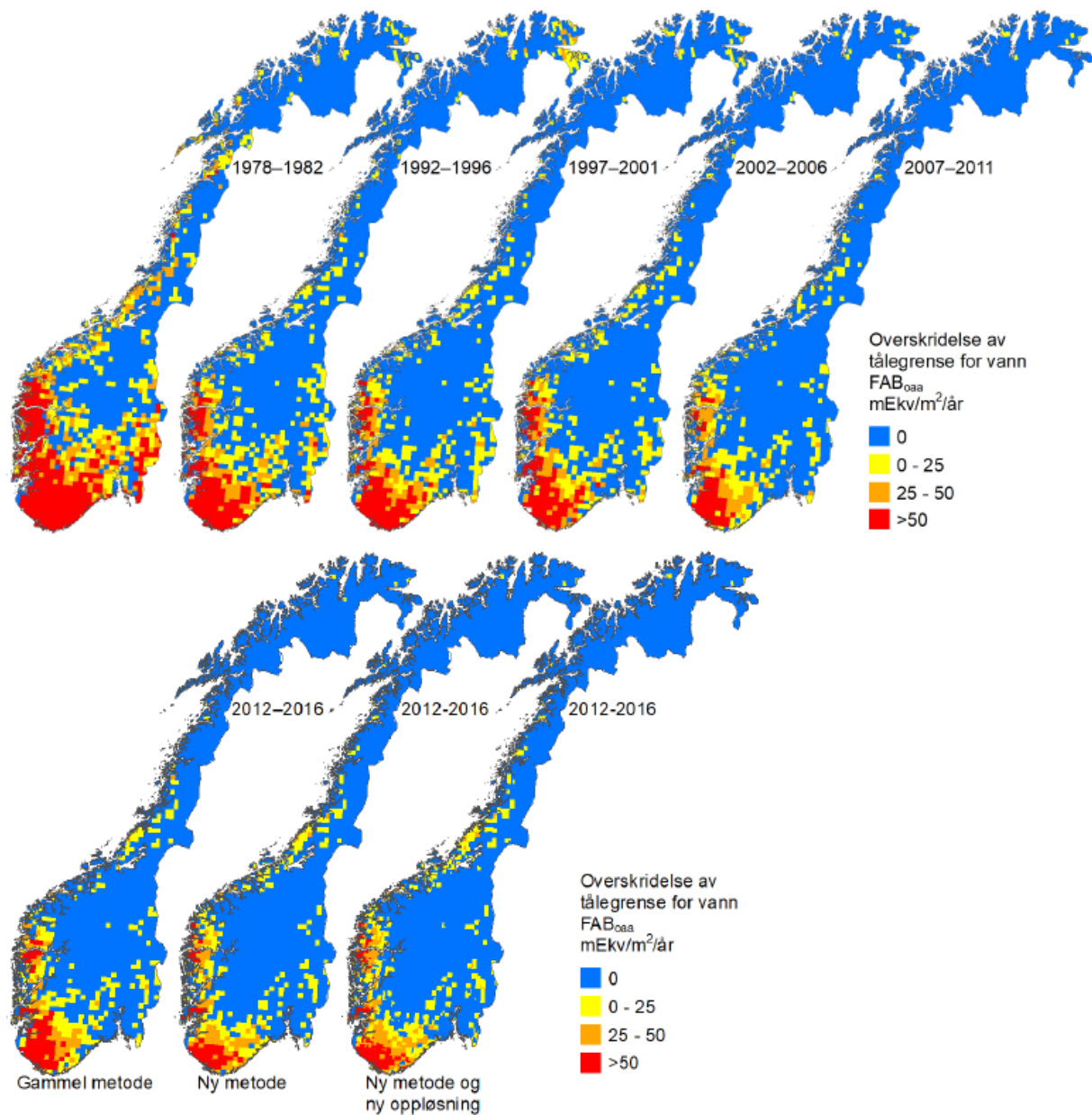
Figur 3: Avsetning av svovel i fem perioder fra 1978 til 2011 (over) og for 2012-2016 med gammel og ny metode for avsetningsberegning (under). Kilde: Austnes et al., 2018.

²³ Utslipp av ulike forsurende stoffer kan sammenveies til syre-ekvivalenter ved hjelp av stoffenes forsurende effekt.



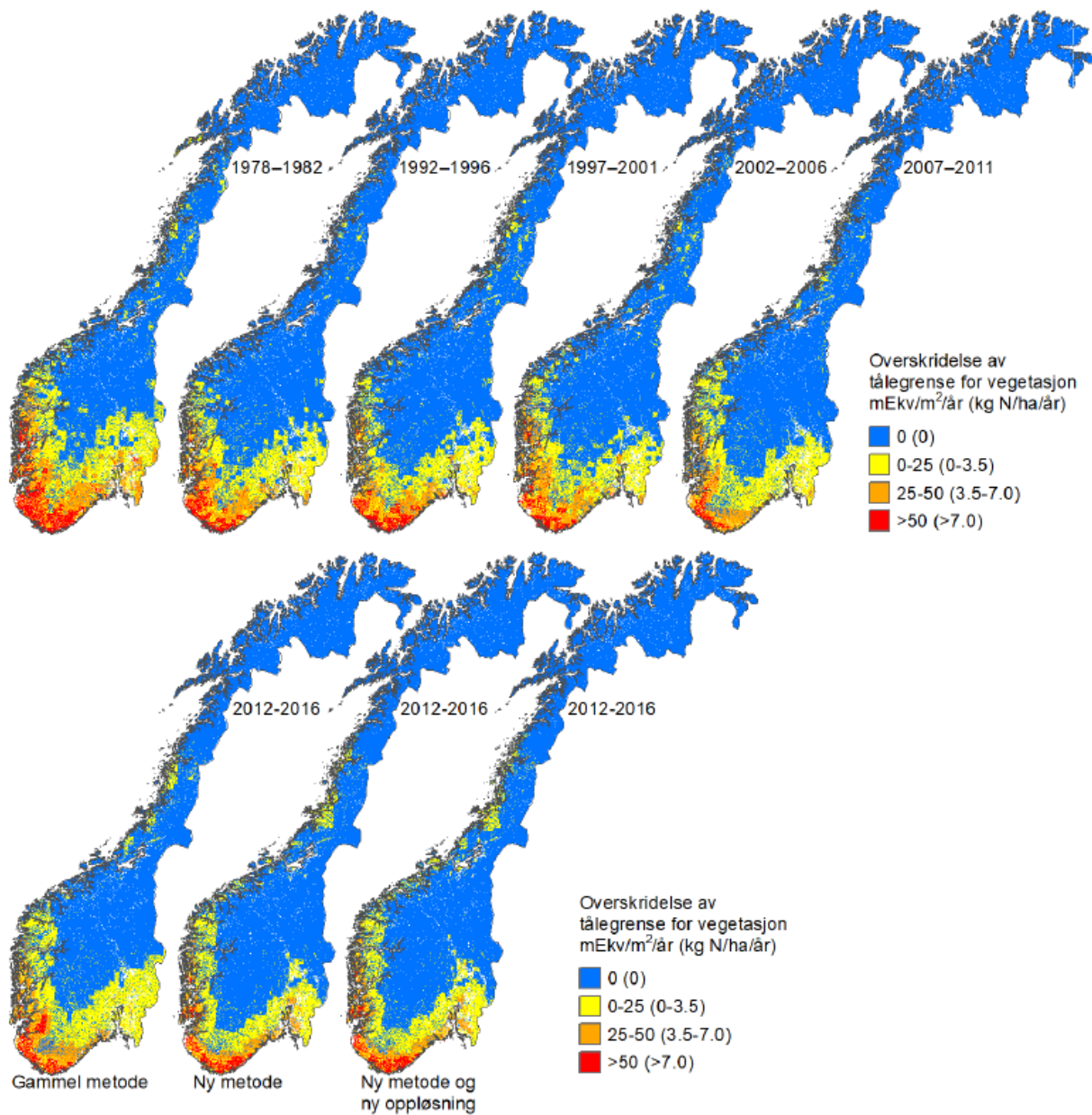
Figur 4: Avsetning av nitrogen i fem perioder fra 1978 til 2011 (over) og for 2012-2016 med gammel og ny metode for avsetningsberegning (under). Kilde: Austnes et al., 2018.

Figur 5 viser overskridelser av tålegrenser for forsurening av overflatevann med bruk av FAB_{0aa}-modellen (Austnes et al., 2018). Igjen er det Sør-Vestlandet som er mest rammet med overskridelser, mens indre delene av Østlandet og Trøndelag, samt Nord-Norge er markert i blått (ikke overskridelser).



Figur 5: Beregnet overskridelse av tålegrenser for forurening av overflatevann med bruk av FAB_{0aa} -modellen for 1978-2011 (over) og for 2012-2016 med gammel og ny metode for avsetningsberegning (under).

Også når det gjelder overskridelse av tålegrenser for overgjødningseffekter (Figur 6) er Sør-Vestlandet mest rammet, mens indre delene av Østlandet og Trøndelag, samt Nord-Norge har ikke overskridelser (markert i blått).



Figur 6: Beregnet overskridelse av tålegrenser for overgjødning av vegetasjon for 1978-2011 (over) og for 2012-2016 med gammel og ny metode for avsetningsberegning (under).

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. Dette tilsvarer $13,9 \times 13,9$ km² ved 60°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 eller annen naturtype som gir større følsomhet overfor avsetning av nitrogen og svovel.

3 Timemiddelkonsentrasjon – modellresultater CONCX

I dette kapitlet er det beregnet maksimale timemiddelkonsentrasjoner nær utslippspunktene. Til dette er CONCX-modellen benyttet (Bøhler, 1987). CONCX er en enkel og robust gaussisk spredningsmodell som beregner konsentrasjoner nedstrøms av et utslippspunkt ved ulike vindstyrker og ved ulike stabilitetsforhold i atmosfæren (ustabil, nøytralt, lett stabilt og stabilt). Tommelfingerregelen for spredning i atmosfæren er at ustabil atmosfære gir bedre vertikal blanding av luften og maksimumskonsentrasjonen opptrer nærmere utslippspunktet og er høyere. Stabil atmosfære gir dårlig vertikal blanding av luften og maksimumskonsentrasjonen opptrer lenger unna og er lavere. I beregningene antas det at utslippskomponenten ikke inngår i kjemiske reaksjoner. Dette må ses på som en første tilnærming til å estimere maksimale timemiddelkonsentrasjoner.

Som inngangsdata til modellen brukes skorsteinshøyde, utslippsmengde i g/s, skorsteinsdiameter, utslippshastighet, temperatur på avgassen (for å beregne termisk løft), samt høyde på bygninger rundt (grunnet bygningsturbulens). Alle disse parametrene er oppgitt av Equinor og gjengitt i Tabell 5 i Vedlegg A. CONCX-modellen beregner deretter maksimale bakkekonsentrasjoner i $\mu\text{g}/\text{m}^3$ som funksjon av avstand fra kilden. For fakkelen er det antatt temperatur på 800°C (1073 K) basert på tidligere studier av spredning av utslipp fra flammetårn/fakkell (Berglen og Gjerstad, 2008).

Resultatene er sammenlignet med norske grenseverdier og tiltaksverdier og grenseverdier for forurensninger i arbeidsatmosfæren (tidligere Arbeidstilsynets administrative normer).

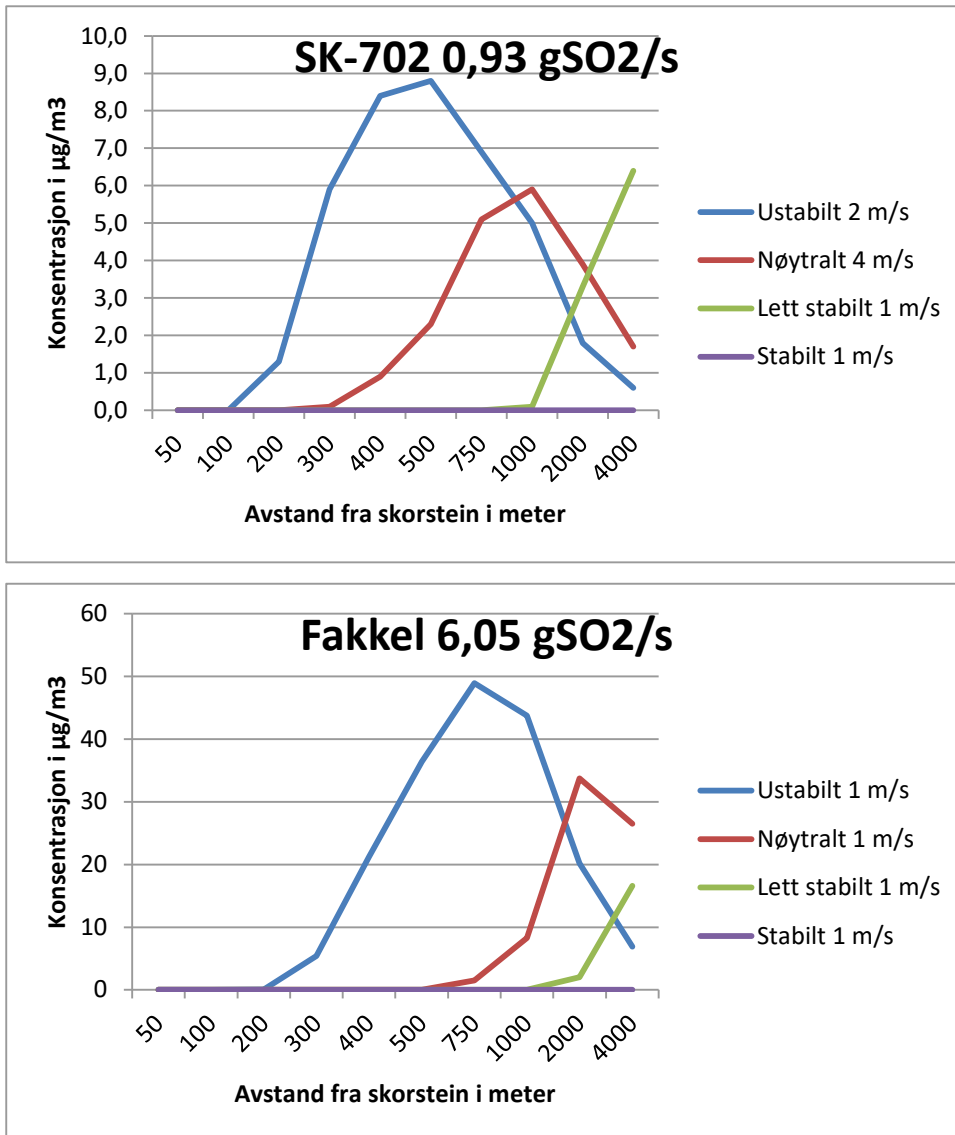
Hyppigst forekommende vindretning lokalt på Mongstad er fra sør-østlig kant (fra sektorene 120° og 150° i underkant av 50 % av tiden, se Berglen et al., 2013). Det er også et bidrag fra nord-vest (sektorene 300° og 330° , til sammen 16% av tiden i 2012). Lokalt på Mongstad er vindretningen styrt av topografien og vinden er ofte kanalisert langs Fensfjorden/Austfjorden. Utslippene fra anlegget kan derfor slå ned innenfor raffineriets industriområde. Her gjelder verdier for arbeidsatmosfære, mens andre luftkvalitetskriterier gjelder utenfor.

3.1 SO_x

I beregningene antas det at all SO_x er i form av SO_2 for å kunne sammenligne med grenseverdier og akseptkriterier. På Mongstad er det til sammen 9 skorsteiner som slipper ut SO_2 (Vedlegg A). Av disse er det fem som kun slipper ut små mengder SO_2 , nærmere bestemt 0,01 g/s. Disse gir ignorerbart bidrag i Mongstad sitt nærområde. De to skorsteinene som gir høyeste bakkekonsentrasjoner i Mongstad er gjengitt i Figur 7. Alle fire skorsteinene med et minimum av utslipp er vist i Vedlegg C.

Det er høy temperatur i røykgassen og både stort termisk løft og høy hastighet ut av skorsteinene bidrar til at effektiv høyde blir stor ved svak vind. Effektiv høyde sier noe om hvor høyt røykfanen går vertikalt før den spres horisontalt med vinden. Stor effektiv høyde bidrar til god fortykning av røykfanen før utslippet når bakken langt unna utslippspunktet.

Ved sterk vind og dertil tilhørende turbulens vil derimot effektiv høyde bli lavere og maksimum bakkekonsentrasjon opptrer nærmere skorsteinen.



Figur 7: Modellresultater for de to skorsteinene som gir høyest bakkekonsentrasjon av SO₂ i Mongstad sitt nærområde. For hver stabilitetsklasse er det gitt den vindhastighet som gir høyest konsentrasjon. Den horisontale akse gir antall meter fra skorsteinen og den vertikale akse gir konsentrasjon som timemiddel. Enhet: µg/m³.

For SO₂ er det SK-702 og fakkelen som gir størst bidrag (maksimum hhv. 9 µg/m³ og 49 µg/m³). Maksimum opptrer ved ustabil atmosfære og lave vindhastigheter. Ellers viser beregningene typisk mønster der ustabil atmosfære og svak vind gir maksimum nær utslippspunktet, nøytral atmosfære gir litt lavere maksimum et stykke ut, mens lett stabil og stabil atmosfære gir lavt maksimum flere tusen meter unna utslippspunktet. Med andre ord ustabile/nøytrale forhold gir raskest vertikal blanding mens stabile forhold gir tregest blanding.

Som beskrevet i kap. 2.4 var årsmiddel av SO₂ i 2012 under 1 µg/m³ ved Mongstad. Høyeste timemiddel var 6,99 µg/m³ og høyeste døgnmiddel 5,56 µg/m³ (begge på Sande). Beregnet

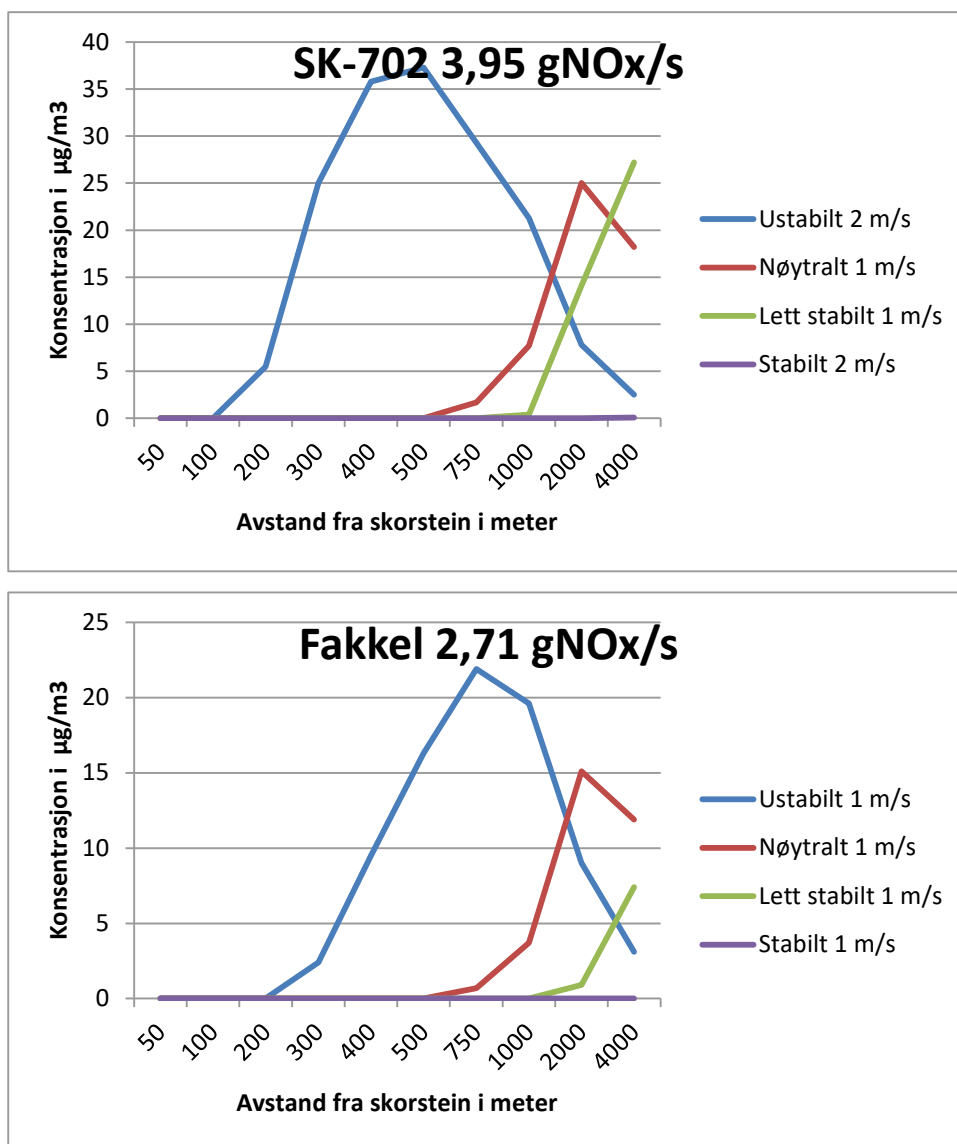
maksimumskonsentrasjon for time ($49 \mu\text{g}/\text{m}^3$ fra fakkelen) er langt under norske grenseverdier for omgivelsesluft og tiltaks- og grenseverdier for arbeidsatmosfære også om man tar hensyn til eksisterende bakgrunnskonsentrasjoner i området. Med andre ord summen av bakgrunn og maksimalt beregnet timemiddel er langt lavere enn grenseverdien og overskrides ikke under noen meteorologiske forhold.

Det er også verdt å merke at alle skorsteinene er tilstrekkelig dimensjonerte. Dette sees ved at bakkekonsentrasjonene er null nær skorsteinene, så forekommer maksimum i en viss avstand fra utslippspunktet hvoretter konsentrasjonen avtar igjen etter hvert som avstanden øker.

3.2 $\text{NO}_x / \text{NO}_2$

Utslippstillene er oppgitt for total NO_x , mens grenseverdiene er oppgitt for NO_2 , eneste unntak er grenseverdi for beskyttelse av vegetasjonen (jfr. Tabell 7 i Vedlegg B). For å kunne sammenligne med grenseverdier og akseptkriterier er det her antatt at all NO_x er i form av NO_2 . Dette er en overestimering av NO_2 , men kan ansees som en sikkerhetsmargin. På Mongstad er det til sammen 15 skorsteiner som slipper ut NO_x (Vedlegg A). Utslippsmengde varierer mellom $0,21 \text{ g/s}$ (H-5001) og $19,76 \text{ g/s}$ (SK-4802). De to skorsteinene som gir høyeste bakkekonsentrasjoner i Mongstad sitt nærområde er gjengitt i Figur 8. Alle 15 skorsteinene er vist i Vedlegg C. Som for SO_2 er det SK-702 og fakkelen som gir størst bidrag og høyest konsentrasjon nær utslippspunktene.

Kurvene for NO_x vist i Figur 8 er tilnærmet lik figuren for SO_2 (Figur 7), men skaleringen er forskjellig. Merk dog at for SK-702 gir nøytral 1 m/s og 4 m/s omtrent samme maksimum ($5,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ for SO_2) og i plottene er det vist profil for 4 m/s for SO_2 og 1 m/s for NO_2 .



Figur 8: Modellresultater for de to skorsteinene som gir høyest bakkekonsentrasjon av NO_x i Mongstad sitt nærområde. For hver stabilitetsklasse er det gitt den vindhastighet som gir høyest konsentrasjon. Den horisontale akse gir antall meter fra skorsteinen og den vertikale akse gir konsentrasjon som timemiddel. Enhet: µg/m³.

Som beskrevet i kap. 2.4 var årsmiddel av NO₂ i 2012 3,45 µg/m³ på Sande nord for Mongstad og høyeste timemiddel var 129,7 µg/m³ (også på Sande). Beregnet maksimumskonsentrasjon for time (37 µg/m³ fra fakkelen) er langt under norske grenseverdier for omgivelsesluft og tiltaks- og grenseverdier for arbeidsatmosfære også om man tar hensyn til eksisterende bakgrunnskonsentrasjoner i området. Igjen er summen av bakgrunn og maksimalt beregnet timemiddel langt lavere enn grenseverdien og overskrides ikke under noen meteorologiske forhold.

4 Årsmidlet konsentrasjon og avsetning - modellresultater WRF-EMEP

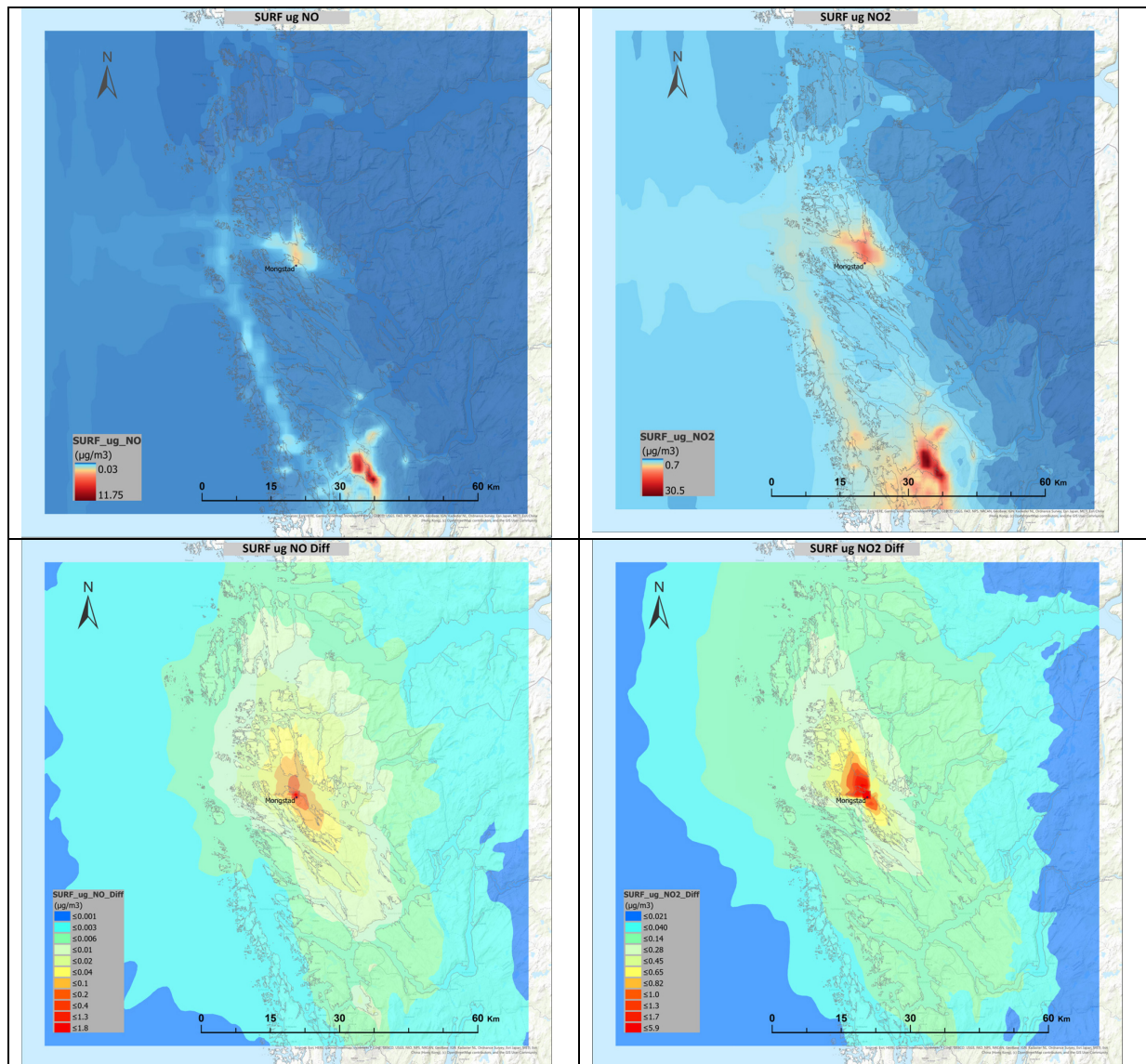
I denne studien er modellsystemet WRF-EMEP kjørt med to ulike scenarier, med og uten utslipp fra Mongstad raffineri. Tanken er at forskjellen mellom de to ulike modellkjøringene vil tallfeste bidraget fra Mongstad til den totale forurensningssituasjonen og avsetningen. Atmosfærens kjemi er ikke-lineær, det vil si at det ikke er et 1:1-forhold mellom økning i utslipp av en gass og tilsvarende økning i konsentrasjon forårsaket av dette utslippet. Ikke-lineære effekter i kjemien vil først og fremst opptre helt lokalt i røykfanen fra raffineriet, det vil si på noen få kilometers romlig skala. Lengre fra utslippspunktet og på større romlig skala (regionalt, > 50-100 km) er bidraget fra Mongstad lite sett i forhold til de totale mengdene som finnes i atmosfæren.

4.1 Konsentrasjon og avsetning - NO_x

Årsmiddelkonsentrasjon av NO_x (NO og NO₂) i bakkenivå for det innerste domenet er gitt i Figur 9. Resultatene viser også bidraget fra Mongstad raffineri, det vil si forskjellen mellom kjøringen med utslipp fra raffineriet og kjøringen uten utslipp fra raffineriet. Bergen by sees tydelig i resultatene, men det er også klart forhøyede verdier ved Mongstad. Ellers sees bidraget fra skipstrafikk tydelig både for NO og NO₂. Merk at for differanseplottene (nederste del av i Figur 9) så er det kun utslippene fra selve raffineriet som er utelatt i den ene kjøringen. Utslipp fra skip og andre virksomheter på Mongstad er en annen utslippskategori og utenfor Equinors ansvarsområde og er derfor inkludert i begge.

Modellberegningene viser at maksimumskonsentrasjonene av NO og NO₂ i Mongstad sitt nærområde gitt som årsmiddel er hhv. 3,0 µg/m³ (NO) og 15,9 µg/m³ (NO₂), begge to beregnet i gridboksen 2 km nord for Mongstad. Bidraget fra Mongstad (forskjellen i konsentrasjon med og uten Mongstad-utslippene) beregnes til å være hhv. 0,2 µg/m³ (NO) og 1,7 µg/m³ (NO₂), det vil si omlag 10 % bidrag fra Mongstad i umiddelbar nærhet til raffineriet. I gridboksen som dekker Mongstad øker NO_x med 50%. Til sammenligning er maksimumsverdiene for Bergen hhv. 11,8 µg/m³ (beregnet årsmiddel NO) og 30,6 µg/m³ (beregnet årsmiddel NO₂). Målinger for Bergen viser at årsmiddel for NO og NO₂ på Danmarks plass i 2018 var henholdsvis 33,3 µg/m³ og 35,9 µg/m³, med andre ord modellen underestimerer NO, men treffer godt på NO₂. Til dette skal sies at WRF-EMEP her ikke er satt opp for å beregne detaljert, småskala kjemi i byområder, til det er modellopløsningen for grov (1 × 1 km²).

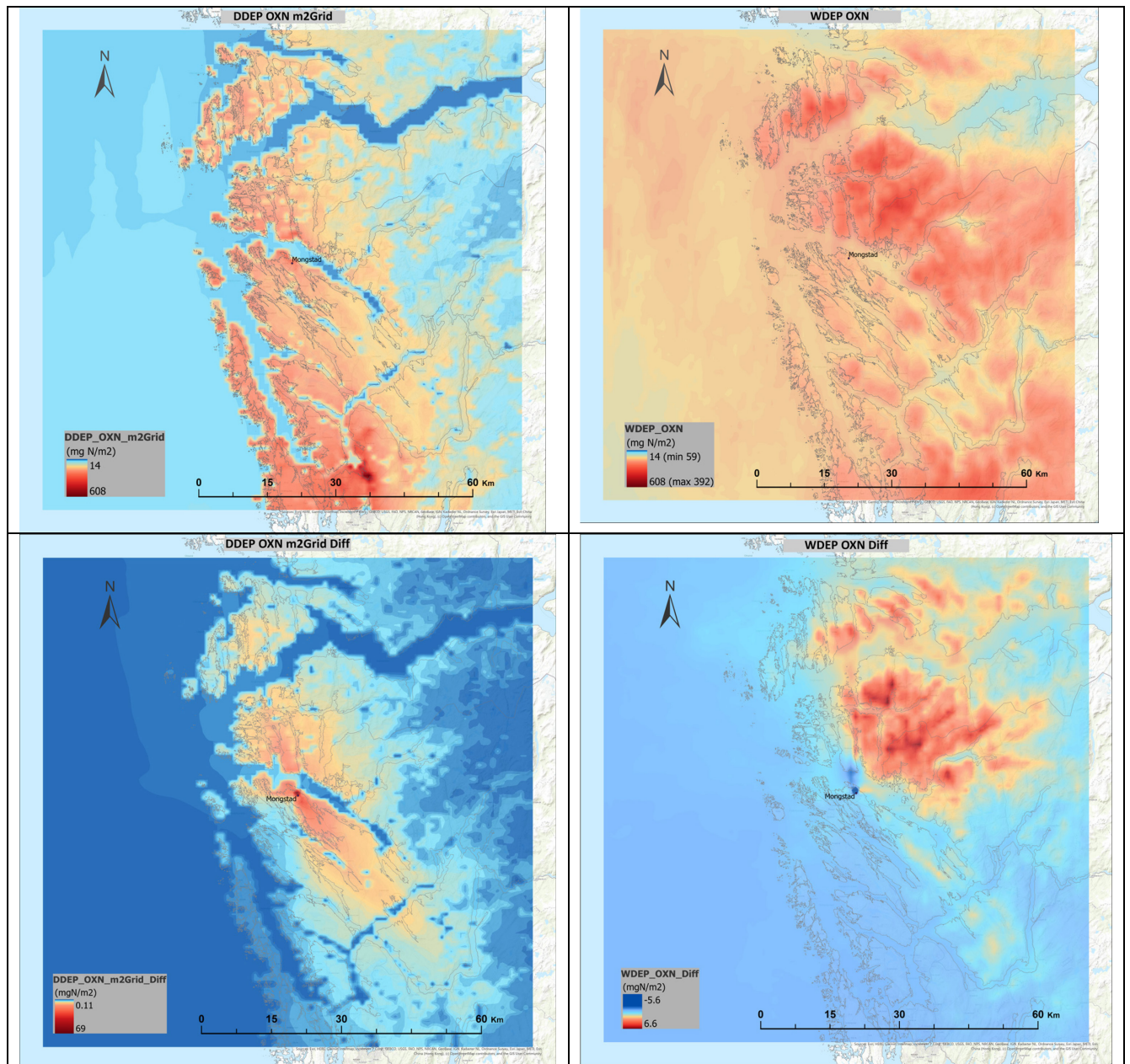
Maksimal timemiddelverdi i Mongstad sitt nærområde er beregnet til 140,6 µg/m³ (NO) og 132,6 µg/m³ (NO₂). I 2012 var høyeste observerte timemiddelverdi av NO_x på Sande 129,7 µg/m³ (juli 2012), mens høyeste målte NO₂ var 49,9 µg/m³. Merk dog at det er avvikende år og utslippstall. Men uansett, tidligere målinger og herværende beregninger med WRF-EMEP modellsystem viser at konsentrasjonene av NO_x og NO₂ ved Mongstad er langt lavere enn norske grenseverdier.



Figur 9: Årsmiddelkonsentrasjon av NO (venstre øverst) og NO₂ (høyre øverst) i bakkenivå for det innerste domenet (105 × 105 km²), samt bidrag fra Mongstad, det vil si forskjell mellom kjøring med og uten utslipp fra Mongstad raffineri (nederst). Merk ulik skala i de ulike plottene. Enhet: µg/m³.

Avsetning

Tørr- og våtavsetning av nitrogen for innerste modelldomene er vist i Figur 10. Merk at tørravsetning og våtavsetning ikke har maksimum på samme geografiske sted. Tørravsetning er en funksjon av bakkekonsentrasjon, overflatens/bakkens beskaffenhet og gassens avsetningshastighet, mens våtavsetning er styrt av nedbør (mengde, intensitet og høyde på skyen som det regner fra) og gassens løselighet. Dette er to vidt forskjellige prosesser som gir forskjellige geografisk fordeling. For avsetningen i et gitt punkt er det summen som teller (tørr + våt) og det er også total avsetning som teller med tanke på tilførsel til vegetasjon og overflatevann.



Figur 10: Tørr- (venstre øverst) og våtavsetning (høyre øverst) av nitrogen for det innerste domenet ($105 \times 105 \text{ km}^2$), samt bidrag fra Mongstad, det vil si forskjell mellom kjøring med og uten utslipp fra Mongstad raffineri (nederst). Merk ulike skalaer i de ulike plottene. Enhet: mg N/m^2 .

Merk at tørravsetning er i stor grad styrt av bakkekonsentrasjonene slik at differanseplottene for tørravsetning (Figur 10 venstre nederst) samsvarer med differanseplottene for overflatekonsentrasjoner av NO og NO_2 (Figur 9 nederst). Differanseplottet for våtavsetning gir størst avsetning nordøst for Mongstad (Figur 10 venstre nederst). Dette kan forklares ved at utslippene fra Mongstad bringes nordover, jfr. fremherskende vindretning diskutert i kap. 3, tas opp i skyer og tapes ved nedbør langs kysten og litt inn i landet.

Merk også at tørravsetning over vann er veldig lav. Samtidig er våtavsetningen fra Mongstad størst mot nord og øst (Figur 10 nedre del til høyre). Dette gjør at samlet avsetning av nitrogen på lokale vannforekomster som Fensfjorden er liten.

12 % av nitrogen fra Mongstad avsettes i det innerste gridet (105 × 105 km²), det vil si avsettes innenfor 50 km fra Mongstad. Vestlandet, men da særlig Sør-Vestlandet er utsatt når det gjelder overskridelse av tålegrenser for overgjødning av vegetasjon (eutrofiering, se Figur 6 i kap. 2.5). Slik sett vil ethvert bidrag i denne regionen bidra til ytterligere overskridelse.

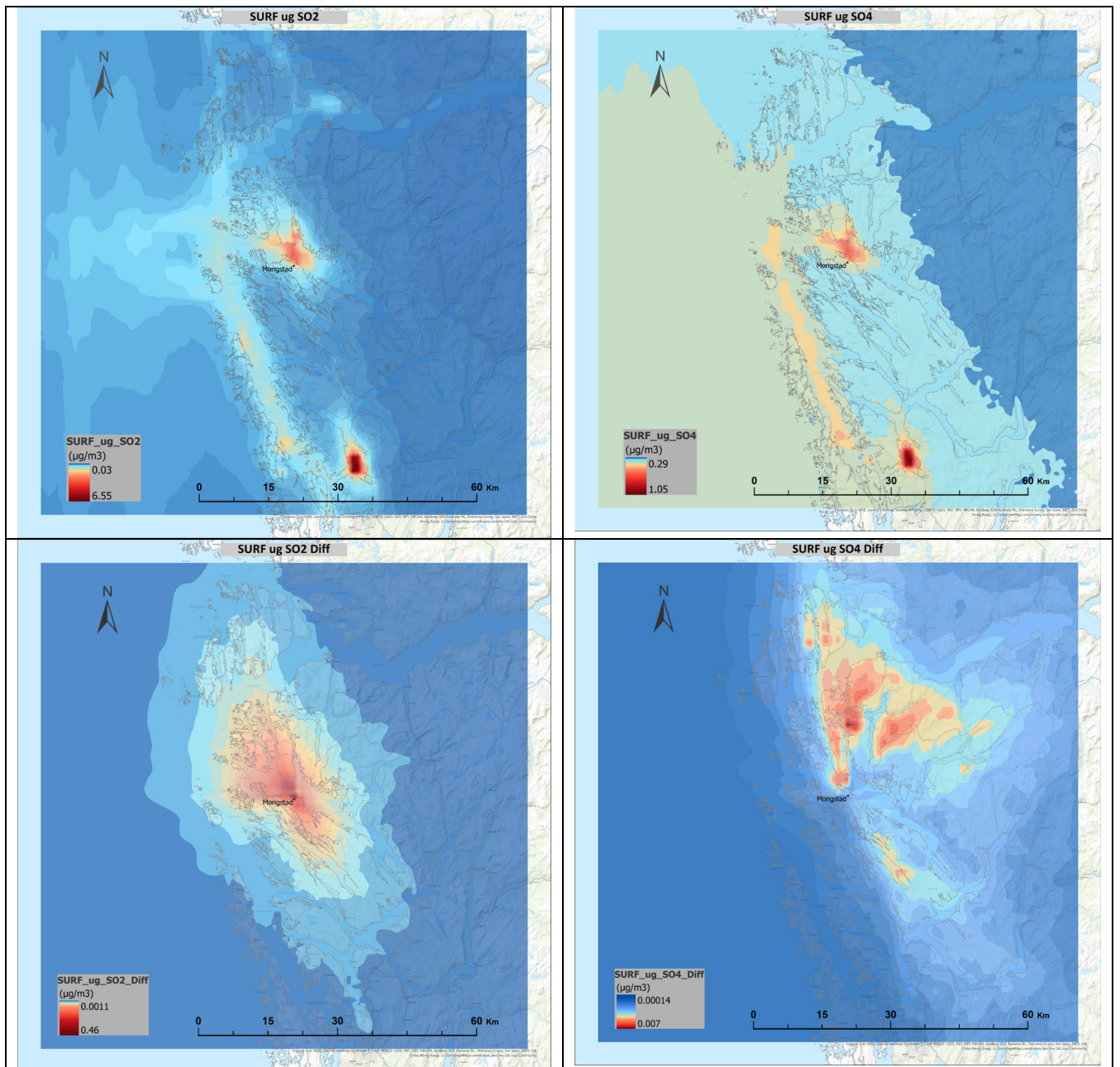
4.2 Konsentrasjon og avsetning - SO_x

Årsmiddelkonsentrasjon av SO₂ og sulfat SO₄²⁻ i bakkenivå for det innerste domenet er gitt i Figur 11. Figuren viser også bidraget fra Mongstad raffineri, det vil si forskjellen mellom kjøringen med utslipp fra raffineriet og kjøringen uten utslipp fra raffineriet. Som for NO_x vises tydelig bidraget fra Bergen by ²⁴, men det er også klart forhøyede verdier ved Mongstad. Ellers sees bidraget fra skipstrafikk tydelig. Dette er som forventet gitt at Bergen, Mongstad og skipstrafikk er de største kildene til svovel i området. Når det gjelder bidraget fra Mongstad (differanseplottene i nederste del av i Figur 11), igjen er det kun utslippene fra selve raffineriet som er utelatt i den ene kjøringen. Utslipp fra skip og andre virksomheter på Mongstad er ikke tema i denne studien og er derfor inkludert i begge. Bidraget fra Mongstad til SO₂ er naturlig nok størst nærmest Mongstad. Ang. sulfat (SO₄²⁻) så er det en sekundær komponent dannet ved omdanning/oksidasjon av SO₂ i gassfase ved OH eller væskefase ved H₂O₂, O₃, HO₂NO₂ eller metaller (katalytisk, se Berglen et al., 2004). Av disse er væskefasekjemien klart viktigst når det gjelder kjemisk tap av SO₂ og dannelse av sulfat. Bidraget fra Mongstad til sulfatnivåene vil derfor sees der det er både SO₂ fra Mongstad og skyer. Sulfat vil dannes et stykke unna utslippspunktet, levetiden for SO₂ i atmosfæren er typisk en dag, og bidraget fra Mongstad sees tydeligst nordøst for Mongstad der skydannelsen (og nedbøren, jfr. våtavsetning) er størst.

Modellberegningene viser at maksimumskonsentrasjonene av SO₂ i Mongstad sitt nærområde gitt som årsmiddel er 3,5 µg/m³, igjen beregnet i gridboksen 2 km nord for Mongstad. Både NO_x og SO₂ har levetid i atmosfæren på typisk en dag (se kap. 2.3) og konsentrasjonene nær Mongstad vil være styrt av utslipp og spredning, ikke kjemi. Bidraget til SO₂ fra Mongstad (forskjellen i konsentrasjon med og uten Mongstad-utslippene) beregnes til å være 0,3 µg/m³ SO₂, det vil si at Mongstad bidrar/øker konsentrasjonene med omlag 10 % i umiddelbar nærhet til raffineriet. Til sammenligning er maksimumsverdiene for Bergen 6,6 µg/m³ (beregnet årsmiddel SO₂). Det er ingen målinger av SO₂ i Bergen så det er ikke mulig å sammenligne modell og observasjoner. Maksimal beregnet døgnmiddelverdi av SO₂ er 13,0 µg/m³, igjen i gridboksen 2 km nord for Mongstad, mens beregnet maksimum SO₂ i Bergen er 34,6 µg/m³. Maksimal timemiddelverdi i Mongstads nærområde er 46,8 µg/m³, maksimal timemiddelverdi for Bergen er 108,9 µg/m³. Uansett, beregningene

²⁴ I utslippstallene som benyttes er det høye utslipp av svovel i Bergensområdet i sektor 8 «Other mobile sources and machinery». Denne sektoren inkluderer også cruiseskip. I modellen ligger det også utslipp fra skip utarbeidet gjennom NordicWelfAir-prosjektet.

med WRF-EMEP modellsystem viser at konsentrasjonene av SO_2 ved Mongstad og også i Bergen er langt lavere enn norske grenseverdier.

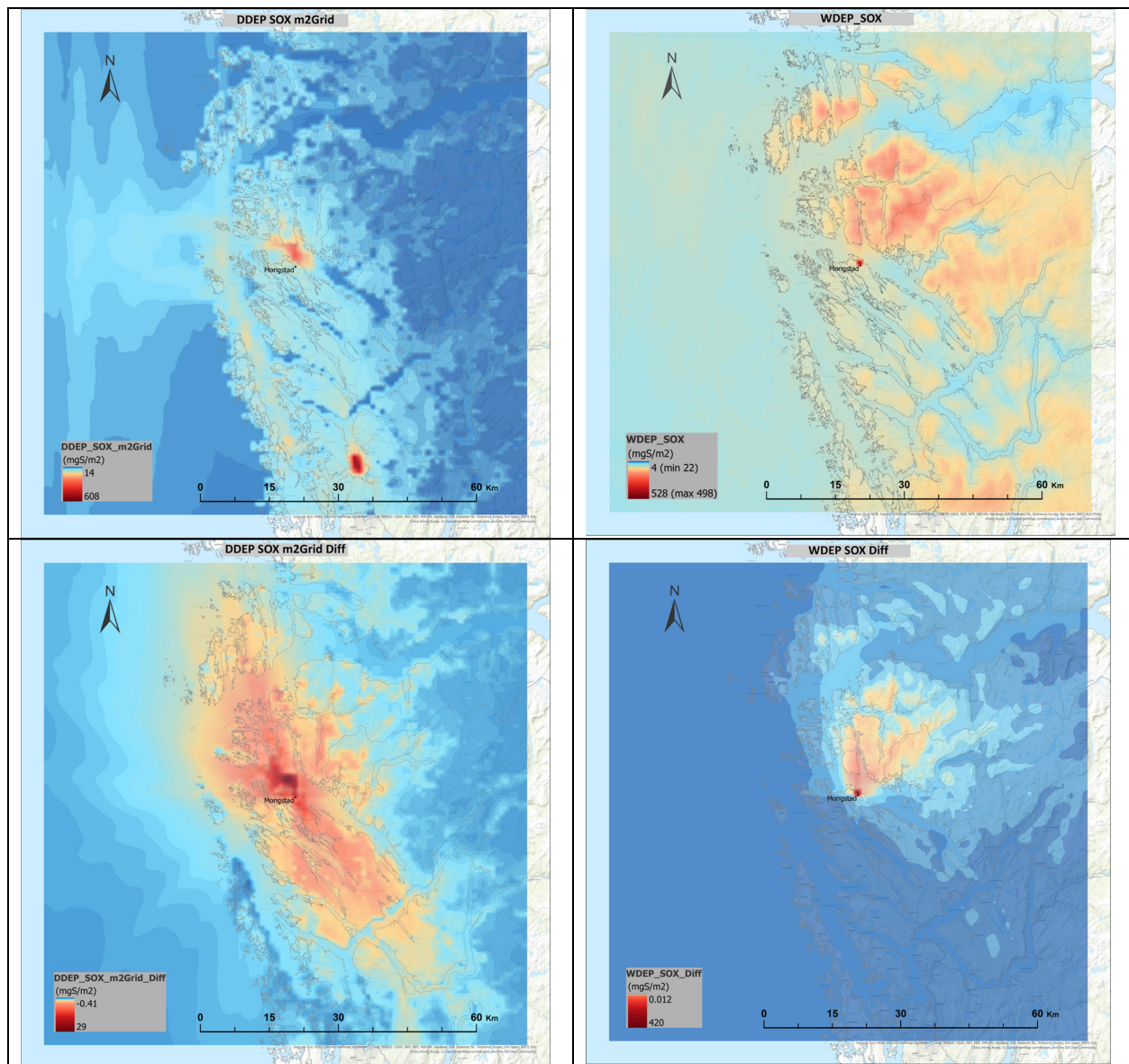


Figur 11: Årsmiddelkonsentrasjon av SO_2 (venstre øverst) og sulfat (SO_4^{2-} , høyre øverst) i bakkenivå for det innerste domenet ($105 \times 105 \text{ km}^2$), samt bidrag fra Mongstad, det vil si forskjell mellom kjøring med og uten utslipp Mongstad raffineri (nederst). Merk ulik skala i de ulike plottene. Enhet: $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Avsetning

Tørr- og våtavsetning av svovel for innerste modelldomene er vist i Figur 12. Igjen, som forklart for nitrogen (kap. 4.1) har tørravsetning og våtavsetning ikke maksimum på samme geografiske sted da prosessene er styrt av ulike parametre. Og som sagt, for avsetningen i et gitt punkt er det totalavsetning som teller, det vil si summen av tørravsetning og

våtavsetning. Det er også total avsetning som teller med tanke på tilførsel til vegetasjon og overflatevann.



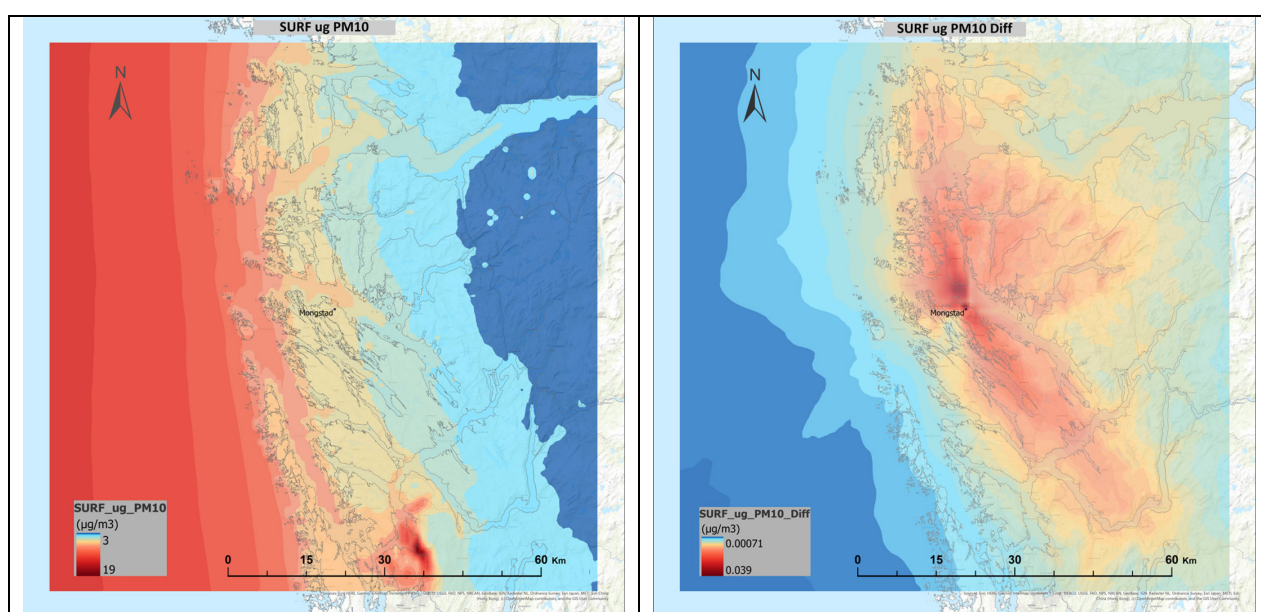
Figur 12: Tørr- (venstre øverst) og våtavsetning (høyre øverst) av svovel for det innerste domenet ($105 \times 105 \text{ km}^2$), samt bidrag fra Mongstad, det vil si forskjell mellom kjøring med og uten utslipp fra Mongstad raffineri (nederst). Merk ulik skala i de ulike plottene. Enhet: mg S/m^2 .

Og som for nitrogen, tørravsetning er i stor grad styrt av bakkekonsentrasjonene slik at mønsteret i differanseplottet for tørravsetning (Figur 12 venstre nederst) samsvarer med differanseplottet for overflatekonsentrasjon av SO_2 (Figur 11 nederst). Merk også at det for svovel, i motsetning til avsetning av nitrogen, så er det en viss tørravsetning av svovel over vann. Differanseplottet for våtavsetning gir størst avsetning i gridboksen som dekker Mongstad og videre nordøstover (Figur 12 høyre nederst). Dette kan igjen forklares ved at

utslippene fra Mongstad bringes nordover, jfr. fremherskende vindretning diskutert i kap. 3, tas opp i skyer og tapes ved nedbør langs kysten og litt inn i landet.

17 % av svovel fra Mongstad avsettes i det innerste gridet ($105 \times 105 \text{ km}^2$), det vil si avsettes innenfor 50 km fra Mongstad. Utslippene av svovel i Europa og Norge har gått ned seneste tiårene (kap. 2.3) og situasjonen med tanke på forsurening har bedret seg tilsvarende. Sør-Vestlandet er fortsatt utsatt når det gjelder overskridelse av tålegrenser for forsurening av overflatevann (se Figur 5 i kap. 2.5), men situasjonen lenger nord på Vestlandet har bedret seg. Uansett vil det være et mål å redusere utslipp av forsurende stoffer for å redusere belastning på det ytre miljø.

4.3 Konsentrasjon - svevestøv / PM_{10}



Figur 13: Årsmiddelkonsentrasjon av PM_{10} i bakkenivå for det innerste domenet ($105 \times 105 \text{ km}^2$, venstre), samt bidrag fra Mongstad, det vil si forskjell mellom kjøring med og uten utslipp Mongstad raffineri (høyre). Merk ulike skala i de ulike plottene. Enhet: $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Årsmiddelkonsentrasjon av svevestøv/ PM_{10} i bakkenivå for det innerste domenet er gitt i Figur 13. Figuren viser også bidraget fra Mongstad raffineri, det vil si forskjellen mellom kjøringen med utslipp fra raffineriet og kjøringen uten utslipp fra raffineriet (høyre del). Resultatene for PM_{10} viser tydelig høye verdier av sjøsalt ute i havet (rødt i venstre del av plottet) som avtar når man nærmer seg land. Ellers viser resultatene klart høye verdier i Bergen by (vises tydelig nederst i venstre plott i Figur 13). Årsmiddelkonsentrasjonen av PM_{10} på Danmarks plass var $15,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ i 2018, dette samsvarer bra med WRF-EMEP-modellresultatene her. Merk at det ikke er noe kjemisk tap av svevestøv/ PM_{10} , konsentrasjonene er fullstendig bestemt av utslipp, spredning og avsetning.

Konsentrasjonene av PM_{10} er lave rundt Mongstad, eksempelvis $7,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ på Sundsbø i 2012 (Berglen et al., 2013). Differanseplottet (høyre plott i Figur 13) viser minimalt bidrag til

PM₁₀-nivåene fra Mongstad raffineri, bidrag under 0,1 µg/m³ er lavere enn usikkerheten i både målinger og modellberegninger.

Med tanke på avsetning så viser modellberegningene at 18 % av PM₁₀-utslippet avsettes innenfor det innerste gridet.

Uansett, beregningene med WRF-EMEP modellsystem viser at konsentrasjonene av PM₁₀ ved Mongstad er langt lavere enn norske grenseverdier.

4.4 Konsentrasjon – prioriterte stoffer bly, kvikksølv, krom, PCB7, kadmium og arsen

Som en utvidelse av opprinnelig studie er det også gjort en vurdering av de prioriterte stoffene bly, kvikksølv, krom, PCB7, kadmium og arsen. Det ble ikke gjort spesifikke modellkjøringer av disse komponentene med WRF-EMEP modellsystem, men eksisterende resultater ble benyttet for å tallfeste maksimumskonsentrasjoner nedstrøms på grunn av utslipp fra Mongstad. Dette blir en form for «worst case» og vurderingen er basert på visse antagelser og forutsetninger.

Antagelser

For metallene / elementene bly, krom, kadmium og arsen ble det antatt at disse er knyttet til / assosiert med partikler. Disse komponentene opptrer ikke i gassform ved normalt trykk og temperatur i atmosfæren, men de sitter på overflaten eller er en del av små partikler/støv. Kvikksølv kan opptre i gassform, men er ofte assosiert med partikler. PCB kan opptre i gassform (de letteste variantene) eller partikkelform (de tyngste) eller i både gass- og partikkelform.

Metode

Det ble gjort modellkjøringer for to inerte komponenter, en gass og en partikkel. Inert i denne sammenheng betyr at komponentene ikke gjennomgår kjemisk tap eller avsetning, kun spredning ved vind ²⁵. For begge komponentene er det antatt et utslipp på 1 tonn pr. år. Fysiske utslippsparemetre som skorsteinshøyde, utgangstemperatur og så videre er de samme som for de andre komponentene. Det vil si komponenten «inert gass» slippes ut på samme måte som NO_x og SO_x, mens «inert partikkel» slippes ut på samme måte som PM₁₀. Resultater for bakkenivå er gitt i Figur 14. Merk at for inerte partikler (Figur 14 høyre del) ligner resultatene på resultatene for PM₁₀ (Figur 13 høyre del), dog er skalaen litt forskjellig. Utslipp av 1 tonn gass/partikkel pr. år ga maksimum beregnet årlig gjennomsnittskonsentrasjon på hhv. 0,00094 ppb / 0,00883 µg/m³ (inert gass, se fotnote ²⁶) og 0,00835 µg/m³ (inert partikkel), begge har maksimum nær Mongstad et lite stykke nordover nedstrøms i fremherskende vindretning.

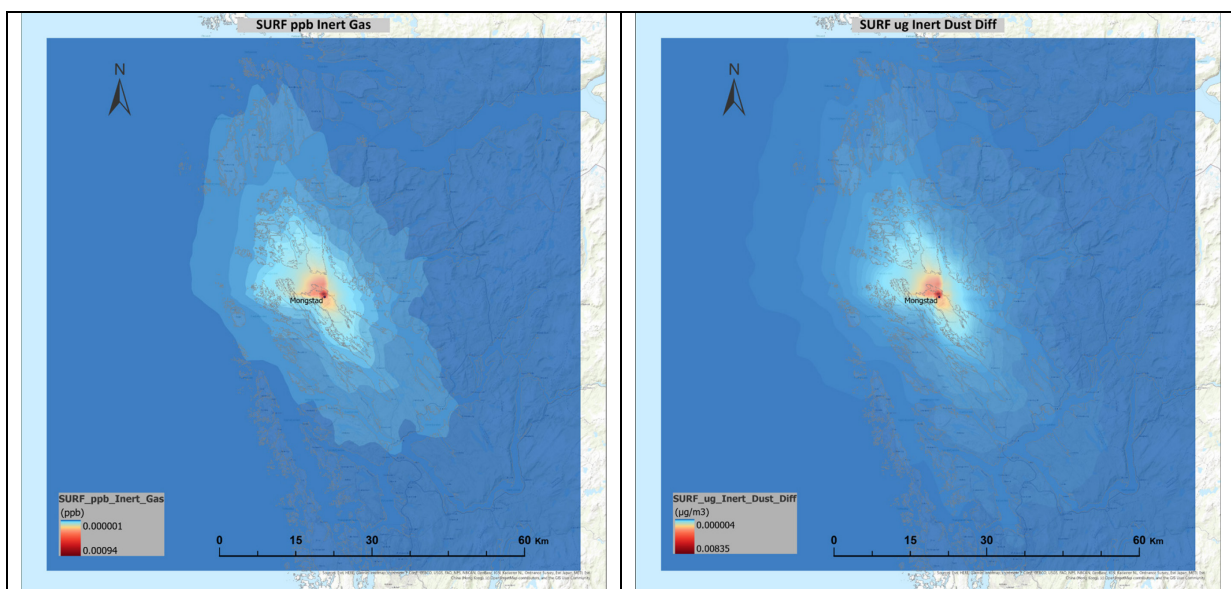
²⁵ Jfr. Det Norske Akademis ordbok (<https://naob.no/ordbok/inert>). ETYMOLOGI av latin *iners* (genitiv *inertis*) 'udyktighet, urørlig, treg'. **inert gass** gass som ikke gjennomgår kjemisk reaksjon ved gitte betingelser.

²⁶ For inert gass ble Rn222 benyttet som «dummy tracer», det vil si som et substitutt. Dette var en enkel løsning for å unngå å inkludere nye komponenter i modellen. Rn222 er allerede inkludert i EMEP-modellen, men ble ikke benyttet i de opprinnelige beregningene. Ved en feil ble resultatene skrevet ut i blandingsforhold. Omregning fra blandingsforhold ppb (parts per billion, milliard'tedele) til konsentrasjon (µg/m³) ble gjort ved å anta faktorene 1225 g_{luft}/m³ (US Standard atmosphere, konsentrasjon av luft i bakkenivå), 222 g_{Rn222}/mol (molar masse Radon) og 28,97 g_{luft}/mol (molar masse luft). For å regne om fra blandingsforhold ppb til konsentrasjon µg/m³ må resultatene derfor multipliseres med 9,39.

Tanken er at dette forholdet mellom utslipp av inert gass/partikkel og dertil beregnet bakkekonsentrasjon kan brukes til å skalere for andre komponenter, det vil si de prioriterte stoffene bly, kvikksølv, krom, PCB7, kadmium og arsen (se Tabell 2). Antatt at alt bly, kvikksølv, krom, kadmium og arsen er knyttet til partikler kan resultatene for inert partikkel benyttes der 1 tonn utslipp pr. år gir maksimum bakkekonsentrasjon $0,00835 \mu\text{g}/\text{m}^3$, tilsvarende $8,35 \text{ ng}/\text{m}^3$. For å eksemplifisere; utslippene av arsen er $0,45 \text{ kg}/\text{år}$ (jfr. Norske utslipp 2018, Tabell 1), dette utgjør $1/2222$ av et tonn. Da vil den beregnede maksimumskonsentrasjonen av arsen utgjøre $1/2222$ av $8,35 \text{ ng}/\text{m}^3$ antatt at arsen er knyttet til partikler, det vil si $0,004 \text{ ng}/\text{m}^3$ (Tabell 3).

PCB kan både opptre i gassform, dette gjelder for de lettere variantene som inngår i PCB7, mens de tyngre variantene i PCB7 forefinnes i partikkelform. Forholdet mellom de lette (gassfase) og tyngre (partikkelfase) variantene i PCB7 er ikke kjent. Men tanken er at kombinasjonen mellom gassfase og partikkelfase uansett ikke kan være større enn maksimumskonsentrasjonene som beregnes hvis det antas at all PCB er enten i form av gass eller partikler. Situasjonen i den virkelige atmosfæren vil være en mellomting mellom disse to. Hvis ytterpunktene i antagelsene gir konsentrasjoner innenfor det akseptable vil også en kombinasjon av disse være innenfor det akseptable.

Med andre ord, maksimumskonsentrasjonen av PCB7 vil ligge et sted imellom resultatet for inert gass, der 1 tonn utslipp pr. år gir maksimum bakkekonsentrasjon $0,00883 \mu\text{g}/\text{m}^3$, tilsvarende $8,83 \text{ ng}/\text{m}^3$ og resultatet for inert partikkel der 1 tonn utslipp pr. år gir maksimum bakkekonsentrasjon $8,35 \text{ ng}/\text{m}^3$. Resultatene for inert gass og inert partikkel kan derfor ansees som et øvre tak og PCB7 kan skaleres etter samme tankegang som de andre prioriterte stoffene.



Figur 14: Årsmiddel av inert gass (venstre) og inert partikkel (høyre) i bakkenivå for det innerste domenet ($105 \times 105 \text{ km}^2$). Kildestyrke 1 tonn pr. år sluppet ut fra Mongstad. Merk ulik skala i de ulike plottene. Enhet: blandingsforhold ppb (venstre) og konsentrasjon $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (høyre).

Resultater

De beregnede maksimumskonsentrasjonene for bly, kvikksølv, krom, PCB og arsen er gitt i Tabell 3. De beregnede maksimumskonsentrasjonene ligger på picogramnivå (10^{-12} g, det vil si 1000-dels nanogram pr. kubikkmeter) eller lavere gitt som årsmiddel.

Tabell 3: Beregnet maksimumsbidrag fra utslipp fra Mongstad raffineri for de prioriterte stoffene bly, kvikksølv, krom, PCB og arsen antatt at disse stoffene er knyttet til partikler, samt maksimumsbidrag av PCB antatt at det opptrer i gassform. Maksimum opptrer nær Mongstad et lite stykke nordover nedstrøms i fremherskende vindretning, jfr. Figur 14. Enhet konsentrasjon: ng/m³.

Komponent	Utslipp kg/ år eller g/år	Maks. konsentrasjon ng / m ³
WRF-EMEP		
Inert gass	1 000 kg/år	8,83 ng/m ³
Inert partikkel	1 000 kg/år	8,35 ng/m ³
Norske utslipp¹		
As ²	0,45 kg/år	0,004 ng/m ³
Pb	0,78 kg/år	0,007 ng/m ³
Cr	4,7 kg/år	0,04 ng/m ³
Hg	0,1 kg/år	0,0008 ng/m ³
PCB7 gass	10,6 g/år	0,00009 ng/m ³
PCB7 partikkel	10,6 g/år	0,00009 ng/m ³

¹ Jfr. Tabell 1. Mongstad raffineri rapporterer (I.R.) det vil si «Ikke rapportert» for kadmium i 2018.

² Konsentrasjon tilsvarende 0,004 ng/m³ av arsen er ikke detekterbar i atmosfæren.

Samme metode og tilnærming er også benyttet for å tallfeste maksimal bakkekonsentrasjon som følge av maks utslipp gitt i virksomhetstillatelsen fra Miljødirektoratet (jfr. Tabell 2 høyre kolonne). De beregnede maksimumskonsentrasjonene er gitt i Tabell 4.

Tabell 4: Beregnet maksimum bidrag til bakkekonsentrasjon som følge av maks utslipp gitt i virksomhetstillatelsen fra Miljødirektoratet. Enhet utslipp: kg/år eller g/år, enhet konsentrasjon: ng/m³ gitt som årsmiddel.

Komponent	Utslipp kg/ år eller g/år	Maks. konsentrasjon ng/m ³
WRF-EMEP		
Inert gass	1 000 kg/år	8,82 ng/m ³
Inert partikkel	1 000 kg/år	8,35 ng/m ³
Maks utslipp		
Kvikksølv	4,1 kg/år	0,03 ng/m ³
Bly	15,6 kg/år	0,13 ng/m ³
Krom	16,6 kg/år	0,14 ng/m ³
PCB7 gass	52 g/år	0,0005 ng/m ³
PCB7 partikkel	52 g/år	0,0004 ng/m ³

Igjen ligger de beregnede maksimumskonsentrasjonene på under nanogramnivå, ned mot picogramnivå (10⁻¹² g/m³) gitt som årsmiddel. Dette er rundt og under deteksjonsgrensen for analysemetode av disse komponentene i luft. Det er også lavere enn den naturlige variasjonen som observeres i atmosfæren som følge av utslipp og langtransportert forurensning. Eksempelvis er bakgrunnsnivåene av kvikksølv rundt 1,3-1,5 ng/m³ som følge av langtransport fra Europa (jfr. Berglen et al., 2018, Aas et al., 2019). En økning på 0,03 ng/m³ som følge av maks utslipp på 4,1 kg fra Mongstad (Tabell 4) er derved langt lavere enn eksisterende bakgrunnsnivåer og også lavere enn «naturlig» variasjon som observeres i atmosfæren (naturlig i gåseøyne fordi kvikksølvutslipp i overveiende grad er menneskeskapte, mens vær og vind er naturlige sprednings- og transportprosesser).

Uansett, konklusjonen er at bidraget fra utslipp fra Mongstad raffineri er lavt (picogram pr. kubikkmeter), langt lavere enn eksisterende bakgrunnsnivå og også lavere enn variasjon i atmosfæren som følge av vær og vind og langtransportert luftforurensning. Samtidig er en del av disse stoffene skadelige miljøgifter og det er et uttalt mål å redusere utslipp, konsentrasjoner og miljøeksponering til et minimum.

4.5 Avsetning Fensfjorden

I virksomhetstillatelsen fra Miljødirektoratet stilles det også krav om at «*Beregningene skal også inkludere i hvilken grad stoffer fra utslippet til luft påvirker vannforekomsten*» (se kap 1 Introduksjon). Det er i første rekke Fensfjorden som vurderes, da tidligere undersøkelser har konkludert med at kjemisk tilstand VF «oppnår ikke god» (Tveranger og Todt, 2015). Den gang ble det funnet noe forhøyede nivåer av TBT (tributyltinn) på to stasjoner utenfor Mongstadbase, samt at noen stasjoner hadde fra noe forhøyet til høye verdier av enkelte PAH-forbindelser som indeno(1,2,3cd)pyren og benzo(ghi)perylene, som er EU-prioriterte miljøgifter.

TBT ble tidligere brukt som bunnstoff til båter for å unngå begroing. Det var ikke direkte utslipp til luft av TBT. Når det gjelder PAH så var dette en del av NILUs måleprogram for luft- og nedbørkvalitet ved Mongstad fra september 2012 til april 2013 (Berglen et al., 2013). Resultatene fra den gang viser at nivåene av indeno(1,2,3cd)pyren og benzo(ghi)perylene i nedbør lå fra under deteksjonsgrensen (< 0,343 ng/L) til hhv. 1,82 ng/L og 1,06 ng/L. Konsentrasjonene i luft lå fra under deteksjonsgrensen (< 0,004 / < 0,006 ng/m³) til henholdsvis 0,083 ng/m³ og 0,075 ng/m³. Disse resultatene tilsier at de forhøyede konsentrasjonene av PAH i Fensfjorden ikke skyldes tilførsel via luft og avsetning.

Utslippene til luft fra Mongstad påvirker Fensfjorden gjennom tørr- og våtavsetning. Når det gjelder tørravsetning er det som tidligere nevnt avhengig av bakkekonsentrasjon, overflatens/bakkens beskaffenhet og gassens avsetningshastighet. Tørravsetning av nitrogen over vann er veldig lav (Figur 10). Men når det gjelder svovel er det en viss tørravsetning over vann og det er størst avsetning nær Mongstad og videre nordover (Figur 12).

Våtavsetning er styrt av nedbør (mengde, intensitet og høyde på skyen som det regner fra) og gassens løselighet. Modellresultatene viser at våtavsetningen av utslipp fra Mongstad er størst mot nord og øst. Dette gjelder både for nitrogen (Figur 10) og for svovel (Figur 12). Det er lite våtavsetning til Fensfjorden av disse utslippene. Forklaringen er at det alltid vil ta noe tid før utslippene tas opp i skyer og deretter regnes ut. Maksimum våtavsetning opptrer derved et stykke unna Mongstad, typisk mot nordøst der fuktige luftmasser møter fjell og det blir dannelse av orografisk nedbør²⁷.

Tørr- og våtavsetning er to vidt forskjellige prosesser som gir forskjellige geografisk fordeling. For avsetningen i et gitt punkt er det summen som teller (tørr + våt) og det er også total avsetning som teller med tanke på tilførsel til vegetasjon og overflatevann. For de tre spesifikke komponentene som er studert her avsettes 12 % av nitrogen-, 17 % av svovel- og 18 % av PM₁₀-utslippet fra Mongstad i det innerste gridet (105 × 105 km²), det vil si avsettes innenfor 50 km fra Mongstad. Når det gjelder total avsetning er derfor den lokale påvirkningen fra Mongstad av mindre betydning. Mesteparten av utslippet, mellom 82 og 88%, avsettes og tapes mer enn 50 km unna Mongstad.

Samlet sett vurderes det derfor at påvirkningen på Fensfjorden fra utslipp til luft fra Mongstad er liten.

²⁷ Orografisk nedbør er nedbør som oppstår fordi en luftmasse presses oppover et fjell (kalt orografisk heving) og fuktigheten i lufta blir kondensert.

5 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).

Aas, W., Fiebig, M., Solberg, S., Yttri, K.E. (2019) Monitoring of long-range transported air pollutants in Norway. Annual Report 2018. Kjeller, NILU (Norwegian Environment Agency, M-1395 2019) (NILU report 8/2019).

Aasestad, K. (2016) Utslipp til luft av PCB i Norge 1990-2014 Dokumentasjon av metode og resultater. Statistisk Sentralbyrå Notater 2016/17, nedlastbar fra <https://www.ssb.no/natur-og-miljo/artikler-og-publikasjoner/utslipp-til-luft-av-pcb-i-norge-1990-2014> [besøkt 31. mars 2020].

Austnes, K., Lund, E., Sample, J.E., Aarrestad, P.A., Bakkestuen, V. og Aas, W., (2018) Overskridelser av tålegrenser for forurengning og nitrogen for Norge. Oppdateringer med perioden 2012-2016. Oslo, NIVA (Miljødirektoratet rapport, M-966/2018) (NIVA-rapport 7239-2018).

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. og Gjerstad, K.I. (2008) Beregning av utslipp til luft og spredning fra Shells raffineri ved Sola Bidrag til Kreftregisterets Sola-prosjekt. Kjeller, NILU (NILU OR 27/2008).

Berglen, T.F., Schulze, D., Basteson, E., Haugsbakk, I., Lunder, H., Schmidbauer, N. og Tønnesen, D.A. (2013) Statoil raffineri Mongstad Måleprogram luft- og nedbørkvalitet 2011–2013. Kjeller, NILU (NILU OR 43/2013).

Berglen, T.F., Nilsen, A.-C., Pfaffhuber, K.A. og Uggerud, H.T. (2018) Kvikksølv i grenseområdene Norge - Russland Målinger av kvikksølv (Hg) i luft og nedbør i grenseområdene mot Russland. Kjeller, NILU (NILU OR 36/2018).

Berglen, T.F., Nilsen, A.-C., Våler, R.L., Vadset, M., Uggerud, H.T. og Andresen, E., (2019) Grenseområdene Norge-Russland. Luft- og nedbørkvalitet, årsrapport 2018. Kjeller, NILU (Miljødirektoratet rapport, M-1415/2019) (NILU OR 15/2019).

Bøhler, T. (1987) Users guide for the Gaussian type dispersion models CONCX and CONDEP. Lillestrøm, NILU (NILU TR 8/87).

Hirdmann, D., Aspö, K., Burkhardt, J. F., Eckhardt, S., Sodemann, H., & Stohl, A. (2009). Transport of mercury in the Arctic atmosphere: Evidence for a springtime net sink and summer-time source. *Geophysical Research Letters*, 36, L12824, doi:10.1029/2009GL038345

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).

Bohlin-Nizzetto, P., Aas, W., Nikiforov, V.A. (2019) Monitoring of environmental contaminants in air and precipitation. Annual Report 2018. Kjeller, NILU (Norwegian Environment Agency, M-1419 2019) (NILU report 11/2019).

Tveranger, B. og Todt, C. (2015) Resipientundersøkelse av vannforekomstene Fensfjorden og Sløvåg 2015. Bergen, Rådgivende Biologer AS (Rapport 2167).

Tønnesen, D. (2008) Overvåking av luftkvalitet ved StatoilHydro Mongstad i perioden november 2006 - oktober 2007. Kjeller, NILU (NILU OR 47/2008).

Vedlegg A

Detaljerte utslippsdata

Tabell 5: Detaljerte utslippsdata for de ulike skorsteinene på Mongstad oppgitt av Equinor.

Skorstein	Utslipps-høyde (m)	Diam. utløp (m)	T gass utløp (grad C)	Flowrate o.c. ¹⁾ (m ³ /h)	Flowrate o. c. ¹⁾ (m ³ /s)	Gass-hastighet (m/s) reell	CO2 (1000 tonn /år)	CO2 % av totale utslipp	NOx (tonn/ år)	NOx % av totale utslipp	SOx (tonn/ år)	SOx % av totale utslipp	Støv ²⁾ (tonn/år)	Støv (% av totale utslipp)
SK-101	103	5,4	250	500000	138,9	6,1	313	14,5	464,0	30,5	44,0	14,1		0,0
SK-4802	104	2,8	140	690000	191,7	31,1	948,5	44,0	569,2	37,4	64,7	20,8	62	96,9
SK-1401	70	3,04	610	260000	72,2	10,0	74,6	3,5	98,6	6,5	0,4	0,1		0,0
H-102	30	1,65	280	43000	11,9	5,6	33,8	1,6	34	2,2	0,2	0,1		0,0
SK-702	50	1,4	64	65000	18,1	11,7	37	1,7	113,7	7,5	26,8	8,6	2	3,1
H-1201	25	1	360	9600	2,7	3,4	5,2	0,2	10,7	0,7	0	0,0		0,0
H-1202	25	1	310	9000	2,5	3,2	4,7	0,2	8,3	0,5	0	0,0		0,0
H-1901	40	1,1	300	19000	5,3	5,6	10,7	0,5	21,5	1,4	0	0,0		0,0
Fakkel ³⁾	110	1,2	30	4477	1,2	1,1	46,4	2,2	78,1	5,1	174,2 ³⁾	56,0	Se mrk. ³⁾	
H-5001	40	0,71	240	11000	3,1	7,7	7	0,3	6,1	0,4	0	0,0		0,0
H-5101	40	1,524	400	26000	7,2	4,0	13,9	0,6	9,3	0,6	0	0,0		0,0
H-5201	42	1,29	360	22000	6,1	4,7	15,2	0,7	8,9	0,6	0	0,0		0,0
SK-2503 ⁴⁾	32	1,4	180	67000	18,6	12,1	37,7	1,7	22,5	1,5	0,3	0,1		0,0
SK-2504 ⁵⁾	32	1,4	180	66000	18,3	11,9	40,5	1,9	13,8	0,9	0,3	0,1		0,0
SK11/12 ⁶⁾	50	6	180	3200000	888,9	31,4	559	25,9	58,6	3,9	0,2	0,1		0,0
TCM ⁷⁾							10,7	0,5	3,8	0,2	0	0,0		0,0
SUM							2157,9		1521,1		311,1		64	

¹⁾ Flowrate o.c.: flowrate operational conditions

²⁾ ikke rapportert for gassfyrte enheter.

³⁾ Sensitivitet: utslipp i september 2019 var på ca 190 tonn SO₂ ifm revisjonsstans.

Fakkell har et utslipp på normalt ca 1 tonn/time, men kan i perioder bli en del høyere ved hendelser i anlegget. Totalt forbrennes det ca 20 000 tonn/året med gass fra raffineriet. Støv fra fakkell er ikke rapportert for 2018.

⁴⁾ stack on SG-2504

⁵⁾ stack on SG-2505

⁶⁾ SK11/12: kun én gassturbin er i drift i gangen. Beregningene er derfor basert på at alt utslipp er i fra en av skorsteinene. Det er liten avstand mellom skorsteinene så denne forenklingen vil gi en liten effekt på resultatene.

⁷⁾ Estimert øvre skranke for utslipp knyttet til røykgass fra raffineriet til TCM. Det vil si at dette er utslipp fra raffineriet som rutes gjennom TCM for testing av teknologi for CO₂-fangst. I tabellen er disse utslippene rubrisert under TCM selv om røykgassen opprinnelig stammer fra raffineriet.

Utslipp i g/s er beregnet ved å ta tonn pr. år og dele på (8000 × 3600) gitt at det er 8000 driftstimer pr. år og 3600 sek pr. time, samt å multiplisere med 1 000 000 for å regne om fra tonn til gram.

Vedlegg B

Norske grenseverdier og Tiltaksverdier og grenseverdier for forurensninger i arbeidsatmosfæren

Norske grenseverdier

Utendørs luftkvalitet er i Norge regulert i forurensningsforskriften kapittel 7 om lokal luftkvalitet. Forskriften har som formål å fremme menneskers helse og trivsel og beskytte vegetasjon og økosystemer ved å sette minstekrav til luftkvalitet og sikre at disse blir overholdt. Den skal også bidra til at Norge overholder EUs direktiver om luftkvalitet (2004/107/EC og 2008/50/EC), og inneholder en rekke grenseverdier, målsettingsverdier og andre terskler som blant annet bestemmer i hvilke tilfeller luftkvaliteten må overvåkes, og når det må gjennomføres tiltak. Kommunene er delegert forurensningsmyndighet etter forskriften (§ 7-4). Norske grenseverdier for SO₂, NO_x og PM₁₀ er gitt i Tabell 7.

Forurensningsforskriften definerer også en alarmterskel²⁸ for SO₂ (§ 7-10) på 500 µg/m³ i tre sammenhengende timer. Folkehelseinstituttet og Miljødirektoratet har i tillegg til de ulike grensene i forurensningsforskriften fastsatt luftkvalitetskriterier for en rekke komponenter. Luftkvalitetskriteriene er ikke juridisk bindende, men angir nivåer av luftforurensning som er trygge for de aller fleste mennesker. For SO₂ er luftkvalitetskriteriene for 15 minutter på 300 µg/m³ og 20 µg/m³ som døgnmiddel (Nasjonalt folkehelseinstitutt, 2013²⁹).

Likeledes har en rekke offentlige institusjoner samarbeidet om å utarbeide forurensningsklasser og helseråd for en rekke typer forurensning (PM₁₀, PM_{2,5}, NO₂, SO₂ og O₃)³⁰, se Tabell 6.

Tabell 6: Forurensningsklasser for PM₁₀, PM_{2,5}, NO₂, SO₂ og O₃. Kilde: Luftkvalitet i Norge, skjermdump fra <https://luftkvalitet.miljostatus.no/artikkel/613> [besøkt 19. mars 2020].

Klasser	Nivå	Helse- risiko	PM ₁₀ Døgn (µg/m ³)	PM _{2,5} Døgn (µg/m ³)	PM ₁₀ Time* (µg/m ³)	PM _{2,5} Time* (µg/m ³)	NO ₂ Time (µg/m ³)	SO ₂ Time (µg/m ³)	O ₃ Time (µg/m ³)
	Lite	Liten	<30	<15	<60	<30	<100	<100	<100
	Moderat	Moderat	30-50	15-25	60-120	30-50	100- 200	100- 350	100- 180
	Høyt	Betydelig	50-150	25-75	120- 400	50-150	200- 400	350- 500	180- 240
	Svært høyt	Alvorlig	>150	>75	>400	>150	>400	>500	>240

* Forurensningsklassen for svevestøv (PM₁₀ og PM_{2,5}) er i utgangspunktet gitt for døgnmiddel (gjennomsnittlig konsentrasjon i løpet av et døgn). Tilsvarende forurensningsklasse for timemiddel (gjennomsnittlig konsentrasjon i løpet av en time) er en matematisk omregning basert på statistikk. Når timemiddelet for svevestøv kommer i forurensningsklassen gul er det mest sannsynlig at døgnet også blir gult. Forurensningsklassene for svevestøv ble [revidert i desember 2018](#).

²⁸ Alarmterskel er et konsentrasjonsnivå i utendørsluft som gir helseeffekter i befolkningen ved korttidseksposering.

²⁹ <https://www.fhi.no/globalassets/dokumenterfiler/moba/pdf/luftkvalitetskriterier---virkninger-av-luftforurensning-pa-helse-pdf.pdf> [besøkt 11. mars 2020].

³⁰ Se forurensningsklasser gjengitt på <https://luftkvalitet.miljostatus.no/artikkel/613> [besøkt 11. mars 2020].

WHO har utarbeidet retningslinjer («air quality guidelines») ³¹ for korttidseksponering av SO₂ (10 minutters gjennomsnitt) på 500 µg/m³ og langtidseksponering (24 timers gjennomsnitt) på 20 µg/m³.

³¹ <https://www.who.int/airpollution/publications/aqg2005/en/> [besøkt 11. mars 2020].

Tabell 7: Grenseverdier for tiltak, jfr. <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2004-06-01-931> § 7-6³². Forurensningskonsentrasjonen i utendørs luft skal ikke overstige følgende grenseverdier flere enn det tillatte antall ganger.

Komponent	Midlingstid	Grenseverdi	Antall tillatte overskridelser av grenseverdien
Svoveldioksid			
1. Timegrenseverdi for beskyttelse av menneskets helse	1 time	350 µg/m ³	Grenseverdien må ikke overskrides mer enn 24 ganger pr. kalenderår
2. Døgn grenseverdi for beskyttelse av menneskets helse	1 døgn (fast)	125 µg/m ³	Grenseverdien må ikke overskrides mer enn 3 ganger pr. kalenderår
3. Grenseverdi for beskyttelse av økosystemer	Kalenderår og i vinterperioden (1/10-31/3)	20 µg/m ³	
Nitrogendioksid og nitrogenoksider			
1. Timegrenseverdi for beskyttelse av menneskets helse	1 time	200 µg/m ³ NO ₂	Grenseverdien må ikke overskrides mer enn 18 ganger pr. kalenderår
2. Årsgrenseverdi for beskyttelse av menneskets helse	Kalenderår	40 µg/m ³ NO ₂	
3. Grenseverdi for beskyttelse av vegetasjonen	Kalenderår	30 µg/m ³ NO _x	
Svevestøv PM₁₀			
1. Døgn grenseverdi for beskyttelse av menneskets helse	1 døgn (fast)	50 µg/m ³	Grenseverdien må ikke overskrides mer enn 30 ganger pr. kalenderår
2. Årsgrenseverdi for beskyttelse av menneskets helse	Kalenderår	25 µg/m ³	
Svevestøv PM_{2,5}			
Årsgrenseverdi for beskyttelse av menneskets helse	Kalenderår	15 µg/m ³	

³² <http://www.lovdata.no/for/sf/md/xd-20040601-0931.html#7-6> [besøkt 11. mars 2020].

Tiltaksverdier og grenseverdier for forurensninger i arbeidsatmosfæren

Norske myndigheter har definert Tiltaksverdier og grenseverdier for forurensninger i arbeidsatmosfæren (gjeldende fra 1. januar 2013). Disse gir maksimale konsentrasjoner som ikke må overskrides i arbeidsmiljøet, se ” FOR 2011-12-06 nr. 1358: Forskrift om tiltaksverdier og grenseverdier for fysiske og kjemiske faktorer i arbeidsmiljøet samt smitterisikogrupper for biologiske faktorer (forskrift om tiltaks- og grenseverdier)”, tilgjengelig fra for eksempel:

<http://www.lovdatabasen.no/for/sf/ad/td-20111206-1358-008.html> [besøkt 18. mars 2020].

Verdier for NO_x og SO₂ er gjengitt i Tabell 8.

Tabell 8: Tiltaksverdier og grenseverdier for forurensninger i arbeidsatmosfæren. Enheter: ppm, «parts per million», det vil si blandingsforhold eller milliond'edele, mg/m³, milligram pr. kubikkmeter, det vil si konsentrasjon (mengde pr. volum). Kilde: Lovdata.

CAS-nr.	Navn	ppm	mg/m ³	anm.	Sist endret
10102-44-0	Nitrogendioksid	0,5	0,96	E ¹³	2018
		1	1,91	S	
10102-43-9	Nitrogenmonoksid	2	2,5	E ¹⁴	2018
7446-09-5	Svoveldioksid	0,5	1,3	E ¹⁸	2018
		1,0	2,7	S	

Fotnoter gitt i tabellen på Lovdata:

E: EU har en veiledende grenseverdi for stoffet

S: Korttidsverdi er en verdi for gjennomsnittskonsentrasjonen av et kjemisk stoff i pustesonen til en arbeidstaker som ikke skal overskrides i en fastsatt referanseperiode. Referanseperioden er 15 minutter hvis ikke annet er oppgitt.

13: Enkelte bedrifter vil av teknisk-økonomiske årsaker ikke kunne overholde grenseverdiene. Det er disse bedriftenes ansvar å dokumentere et forsvarlig arbeidsmiljø. Det forutsettes at bedriften(e) har en plan for reduksjon av eksponering og at man kan vise lavere verdier over tid. Arbeidstilsynet, ansattrepresentanter og verneombud skal konsulteres og informeres om årlige planer og oppnådde resultater.

For bransjene gruvedrift under jord og tunnel-virksomhet gjelder følgende grenseverdi for nitrogendioksid frem til 21. august 2023: 0,6 ppm, 1,1 mg/m³.

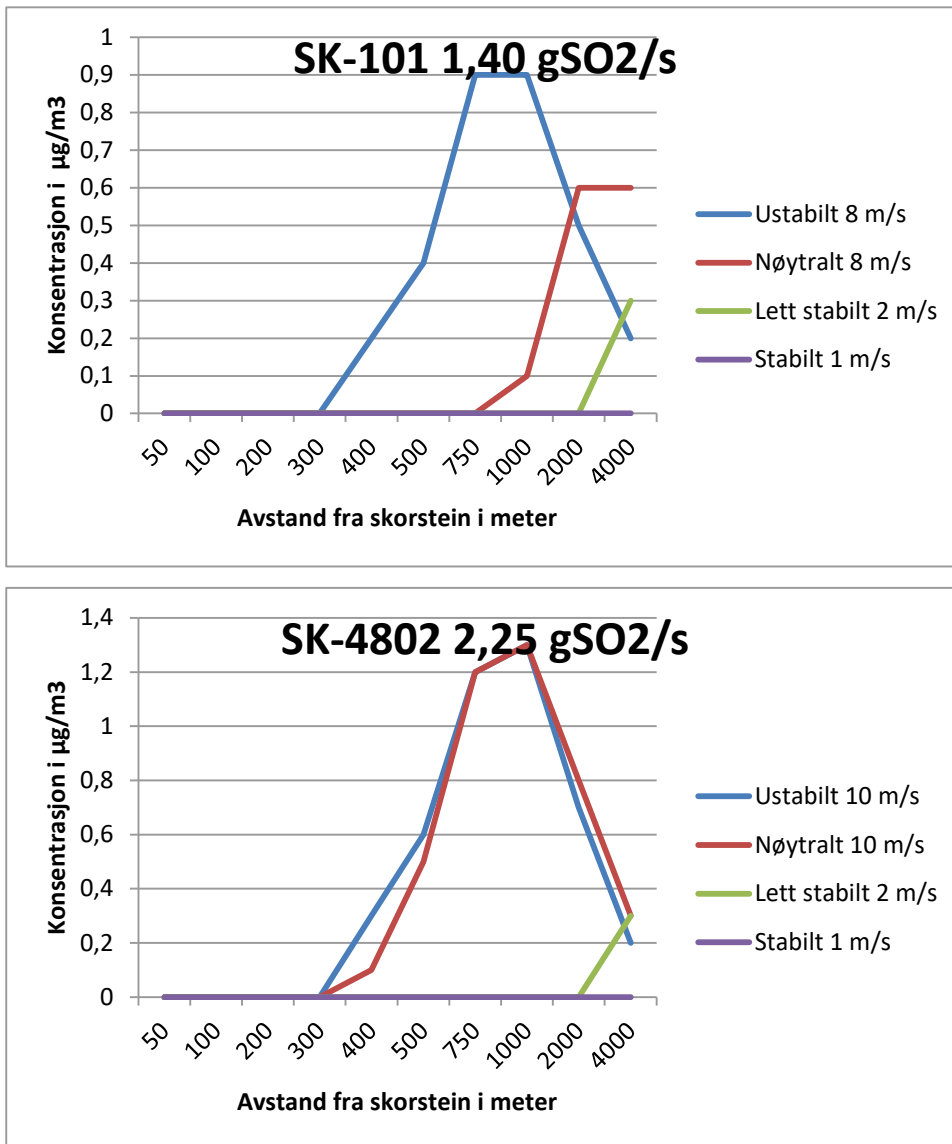
14: Enkelte bedrifter vil av teknisk-økonomiske årsaker ikke kunne overholde grenseverdiene. Det er disse bedriftenes ansvar å dokumentere et forsvarlig arbeidsmiljø. Det forutsettes at bedriften(e) har en plan for reduksjon av eksponering og at man kan vise lavere verdier over tid. Arbeidstilsynet, ansattrepresentanter og verneombud skal konsulteres og informeres om årlige planer og oppnådde resultater.

For bransjene gruvedrift under jord og tunnel-virksomhet gjelder følgende grenseverdi for nitrogenmonoksid frem til 21. august 2023: 25 ppm, 30 mg/m³.

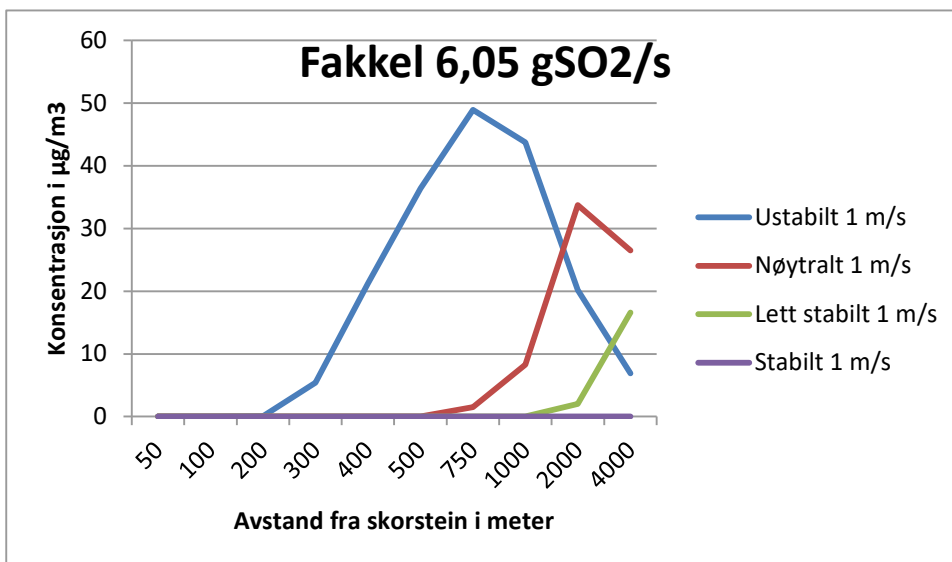
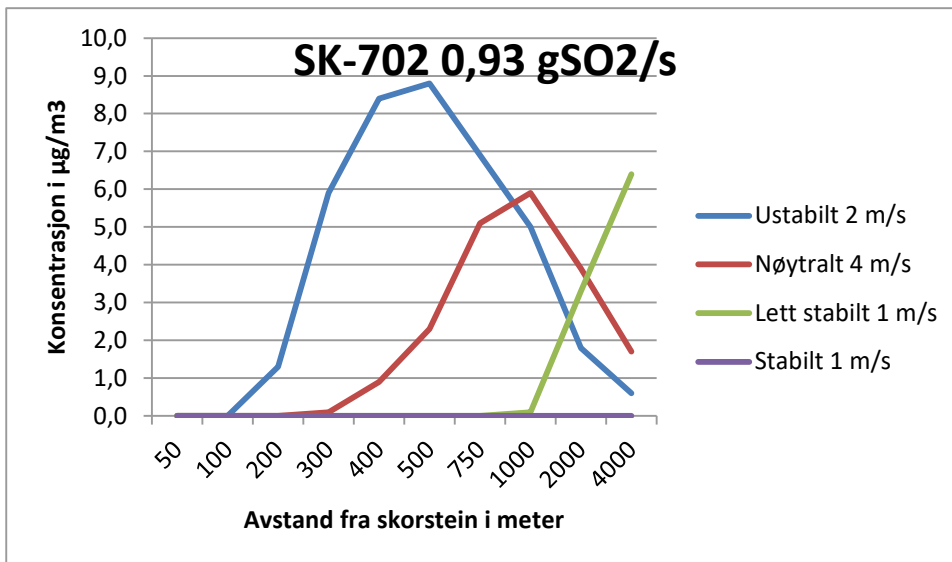
18: Enkelte bedrifter vil av teknisk-økonomiske årsaker ikke kunne overholde grenseverdiene. Det er disse bedriftenes ansvar å dokumentere et forsvarlig arbeidsmiljø. Det forutsettes at bedriften(e) har en plan for reduksjon av eksponering og at man kan vise lavere verdier over tid. Arbeidstilsynet, ansattrepresentanter og verneombud skal konsulteres og informeres om årlige planer og oppnådde resultater.

Vedlegg C

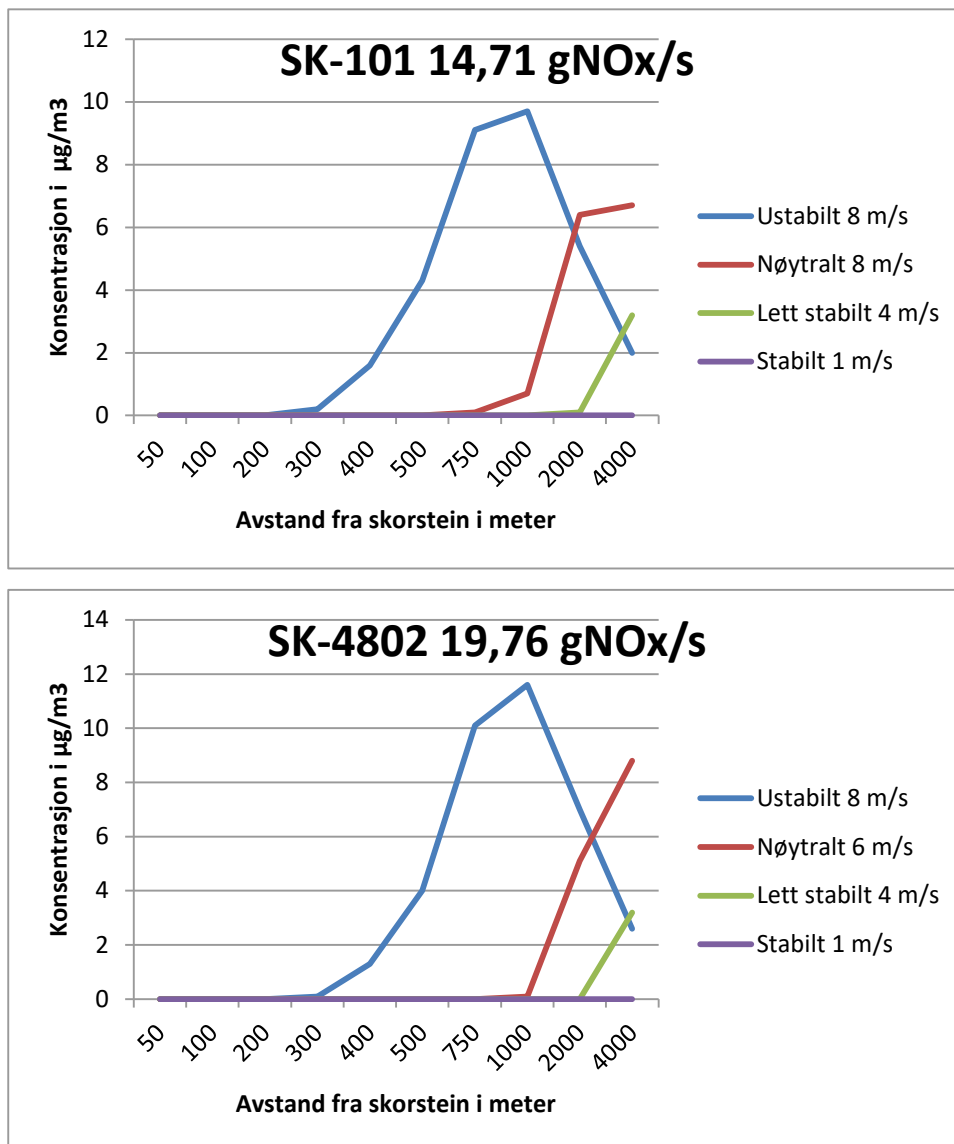
Detaljerte timemiddelkonsentrasjoner - CONCX

SO_x:

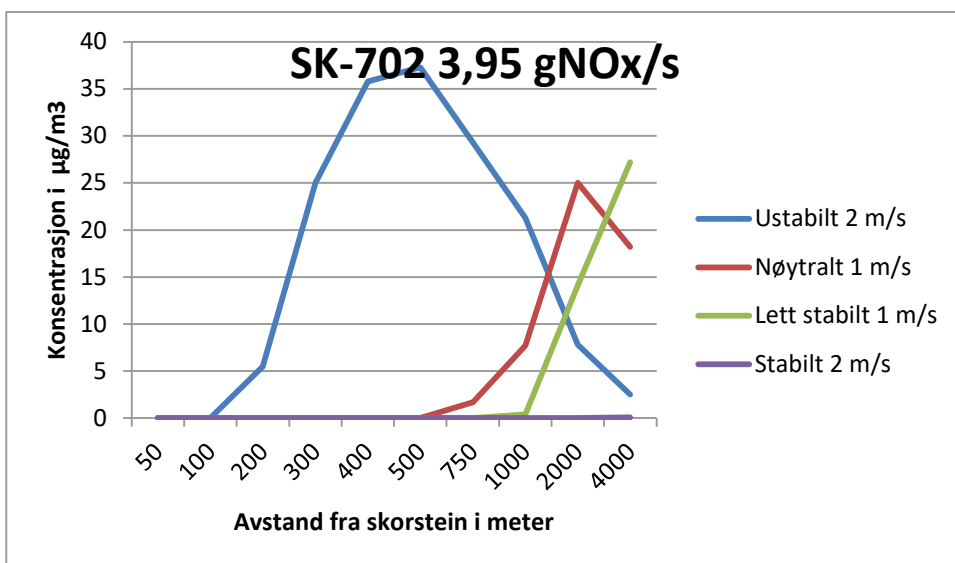
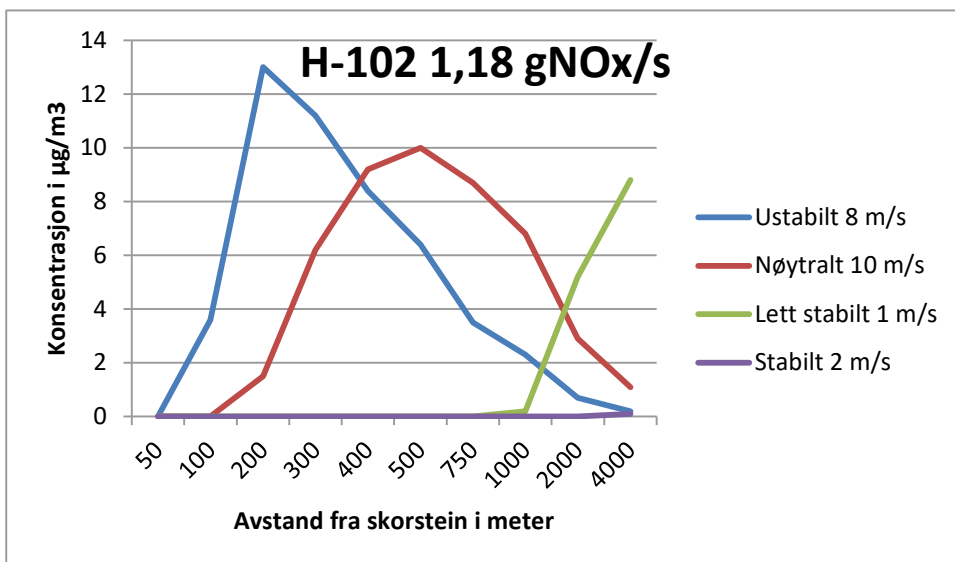
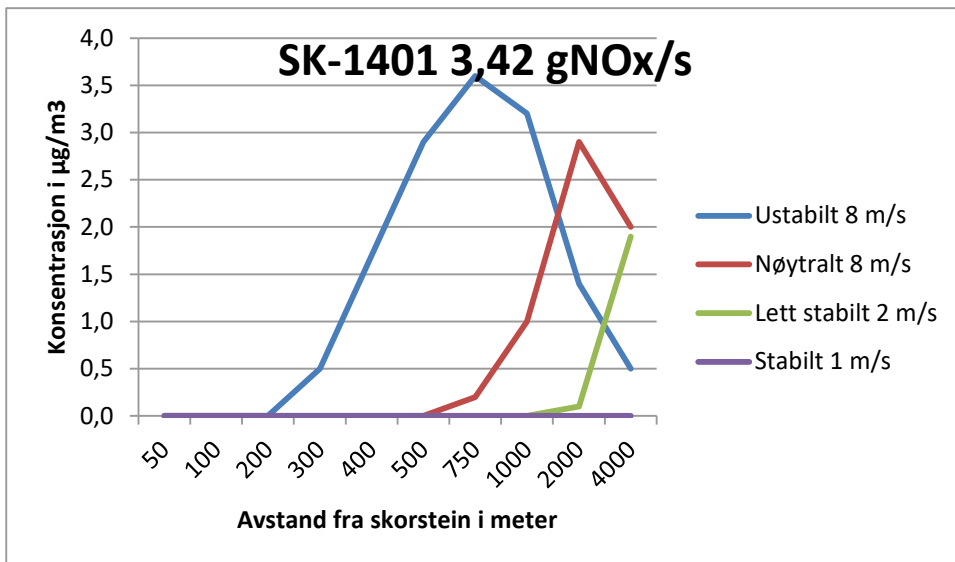
Figur 15: Modellresultater for de fire skorsteinene med noterbare SO₂-utslipp. For hver stabilitetsklasse er det gitt den vindhastighet som gir høyest konsentrasjon. Den horisontale akse gir antall meter fra skorsteinen og den vertikale akse gir konsentrasjon som timemiddel. Enhet: µg/m³.



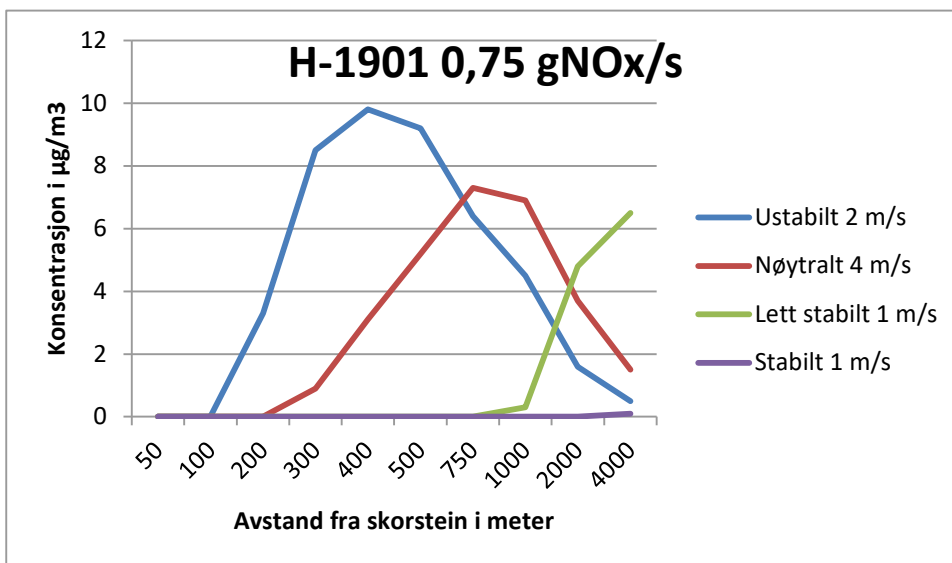
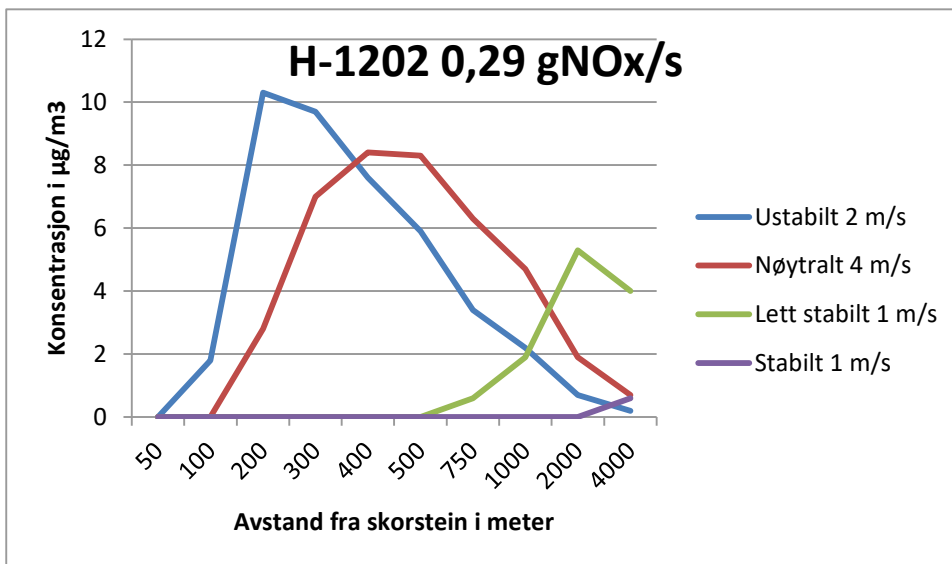
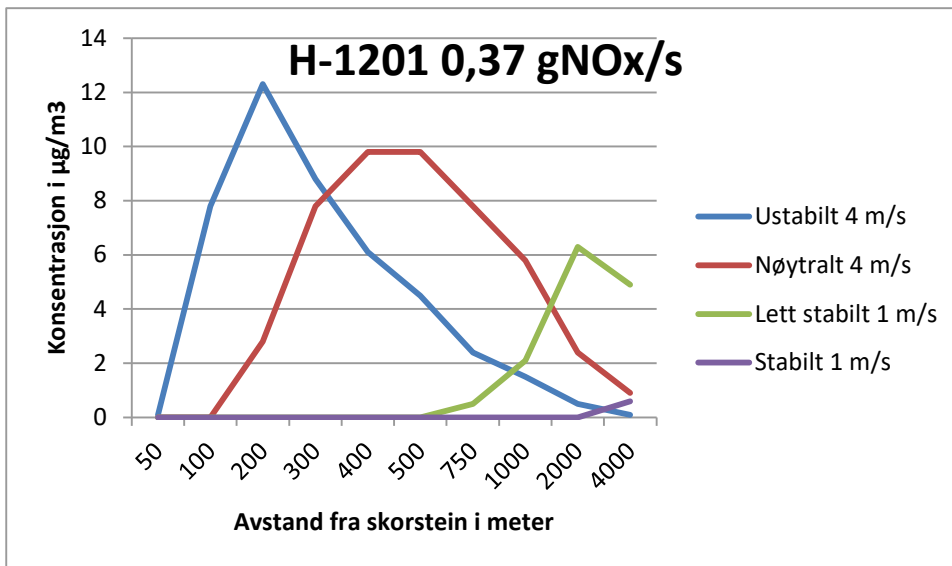
Figur forts.

NO_x:

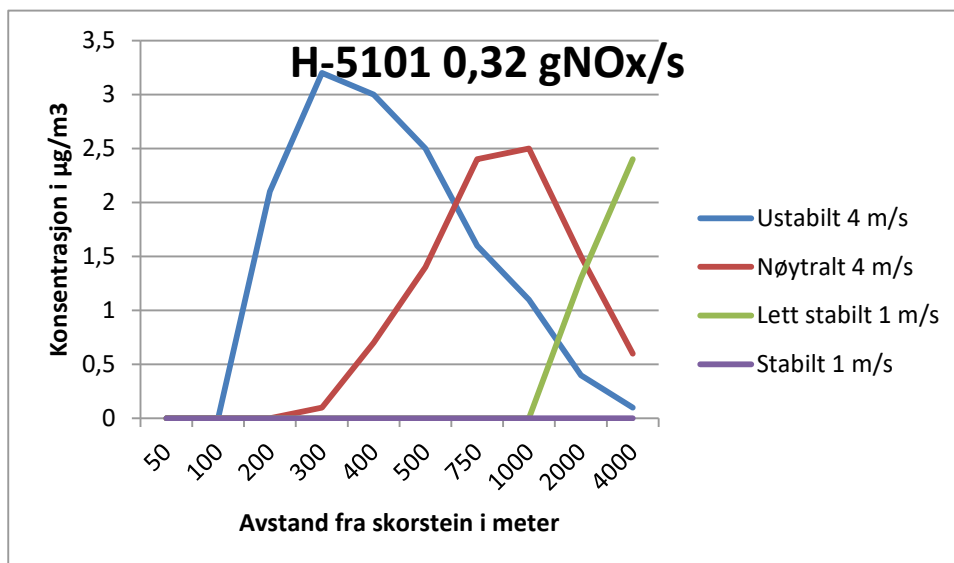
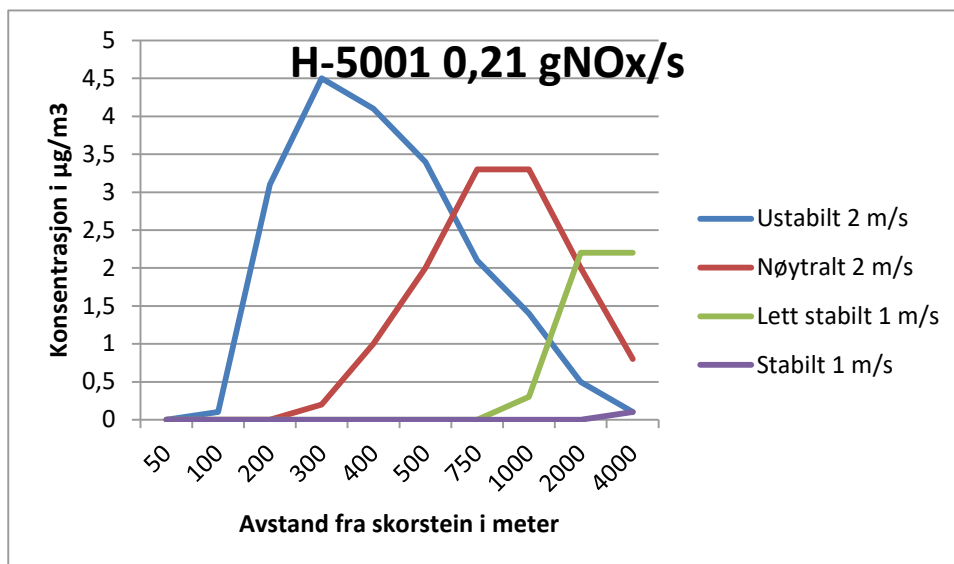
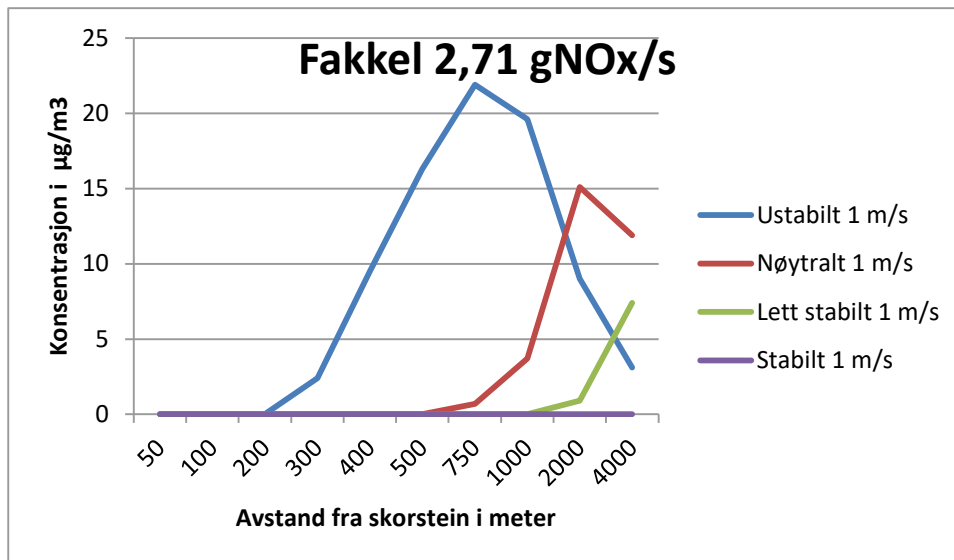
Figur 16: Modellresultater for de 15 skorsteinene med detaljerte NO_x-utslipp. For hver stabilitetsklasse er det gitt den vindhastighet som gir høyest konsentrasjon. Den horisontale aksene gir antall meter fra skorsteinen og den vertikale aksene gir konsentrasjon som timemiddel. For TCM foreligger det kun data om utslippsmengde og TCM er derfor ikke inkludert i beregningene. Enhet: µg/m³.



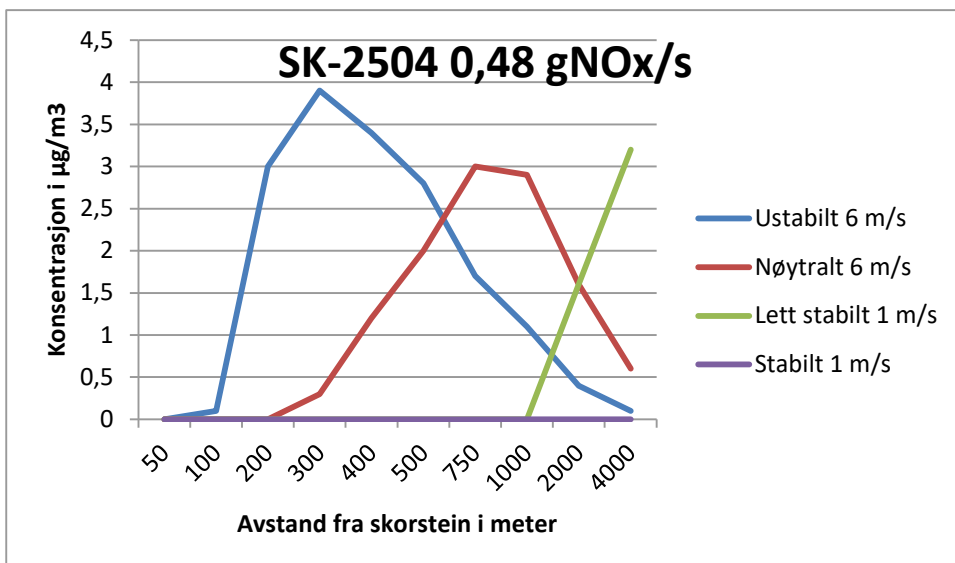
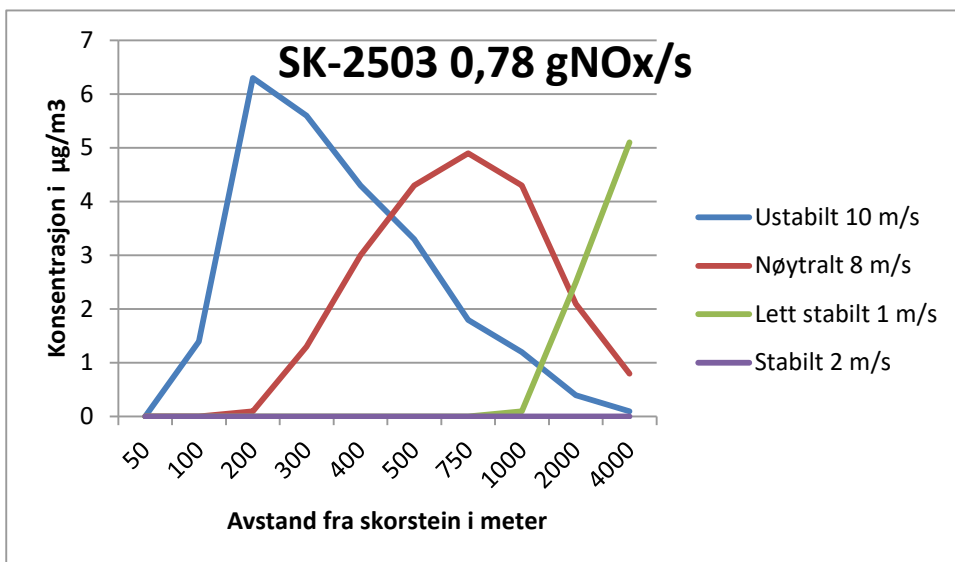
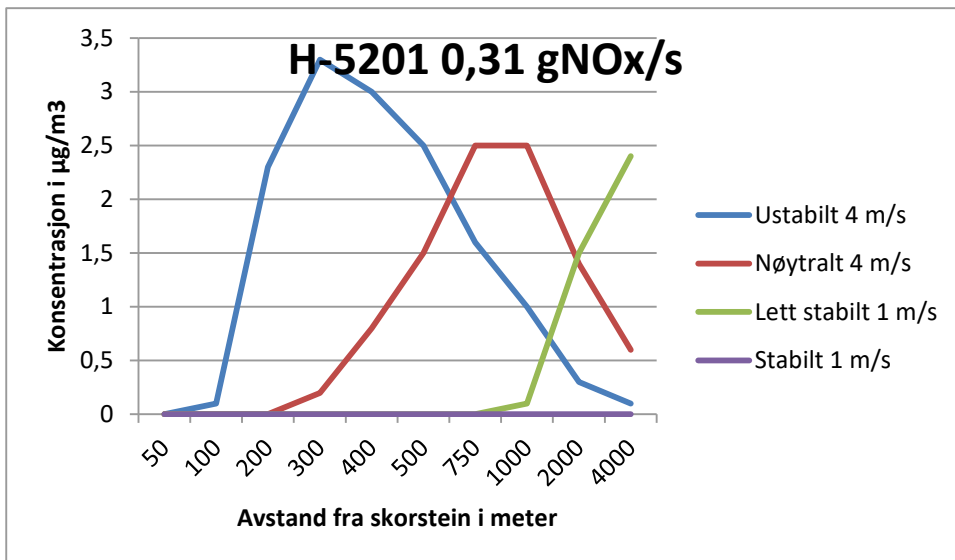
Figur forts.



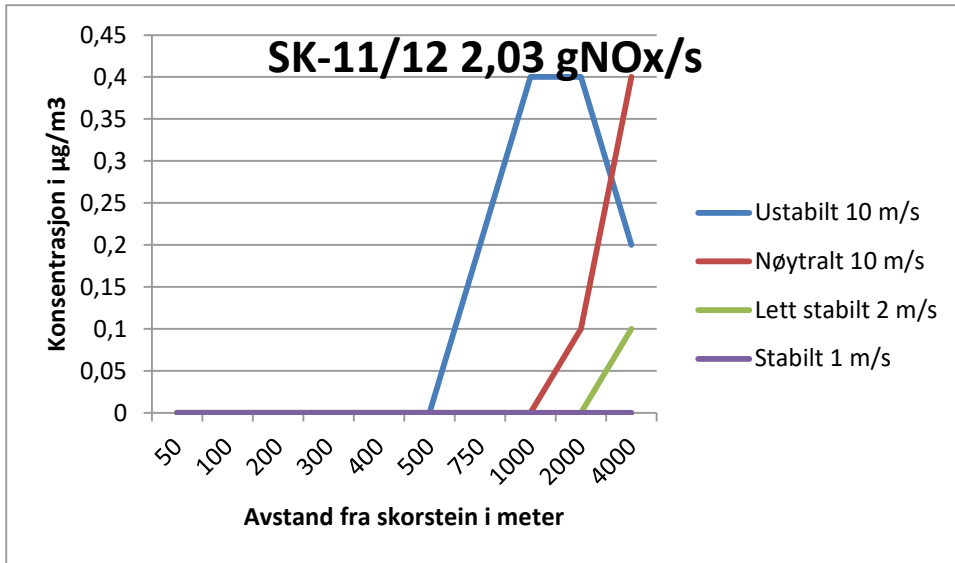
Figur forts.



Figur forts.



Figur forts.



Figur forts.

NILU – Norsk institutt for luftforskning

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

NILUs verdier: Integritet – Kompetanse – Samfunnsnytte

NILUs visjon: Forskning for en ren atmosfære

NILU – Norsk institutt for luftforskning
Postboks 100, 2027 KJELLER

E-post: nilu@nilu.no

<http://www.nilu.no>

ISBN: 978-82-425-2999-2

ISSN: 2464-3327



NILU

Norsk institutt for luftforskning
Norwegian Institute for Air Research