
SO₂ Kårstø

Miljøkonsekvenser av økte utslipp

Tore Flatlandsmo Berglen, Tore Høgåsen, Li Liu, Dag Tønnesen og
Bente M. Wathne



Oppdragsrapport

Forord

Dette er et prosjekt utført av NILU-Norsk institutt for luftforskning på oppdrag for Gassco på Kårstø. Formålet med dette prosjektet er å gjøre en vurdering knyttet til eventuelle økte utslipp av svoveldioksid (SO₂) i forbindelse med å kjøre anlegget på et høyere svovelinnhold enn det gjøres i dag.

Arbeidet er utført av Tore Flatlandsmo Berglen (prosjektleder) med god støtte fra Dag Tønnesen. Liu Li har utført regionale modellberegninger. Tore Høgåsen og Bente Wathne ved Norsk institutt for vannforskning har utført beregninger for overflatevann og forsuringseffekt og vurdering av dette. Ellers har følgende kollegaer ved NILU bidratt til rapporten; Cristina Guerreiro og Trond Bøhler vært interne kvalitetskontrollører, Ivar Haugsbakk har bidratt med timemiddelberegninger og Bruce Denby med innspill til modelloppsett.

Innhold

	Side
Forord	1
Sammendrag	5
1 Innledning	7
2 Luftkvalitetskriterier, grenseverdier og tålegrenser	9
2.1 Generelt om komponenten som slippes ut	9
2.2 Administrative normer	9
2.3 Luftkvalitetskriterier og grenseverdier	10
2.4 Belastning av miljø og tålegrenser	11
2.4.1 Forsuringseffekt og tålegrenser for vegetasjon	11
2.4.2 Forsuring av skogsjord og tålegrenser.....	11
2.4.3 Forsuring av overflatevann og tålegrenser	12
3 Utslipp fra anlegget på Kårstø	14
4 Dagens situasjon; meteorologi, bakgrunnskonsentrasjoner og avsetning ved Kårstø	16
4.1 Meteorologiske forhold	17
4.2 Bakgrunnskonsentrasjoner og avsetning av svovel.....	19
5 Estimering av timemiddelkonsentrasjoner i Kårstøs nærområde	22
5.1 Enhetsutslipp	23
5.2 SO ₂ -utslipp undersøkt i denne studien	24
6 Estimering av årsmidlet konsentrasjon og avsetning i Kårstø sitt nærområde	26
6.1 TAPM modellbeskrivelse.....	26
6.2 Årsmiddelkonsentrasjon og avsetning	28
7 Konsekvenser av økt SO₂ utslipp på Kårstø - effekter på overflatevann	33
7.1 Overskridelser av tålegrenser for forsuring.....	33
7.2 Svovelavsetninger ved scenarioer med økte utslipp	35
8 Konklusjon	37
9 Referanser	38

Sammendrag

Norsk institutt for luftforskning (NILU) har på oppdrag fra Gassco gjort spredningsberegninger og avsetningsberegninger for utslipp til luft i forbindelse med utslipp fra anlegget på Kårstø. Formålet med studien er å vurdere konsekvensene av å operere anlegget med høyere svovelinnhold i gassen. Økt svovelinnhold vil øke de lokale SO₂-utslippene fra dagens 6,5 tonn SO₂/år til maksimalt 19 tonn SO₂/år. Målet er å beregne og vurdere SO₂-konsentrasjoner og avsetning av svovel og miljøeffekter av dette på lokal og regional skala som følge av økte utslipp fra anlegget.

Det er redegjort for gjeldende luftkvalitetskriterier, eksisterende bakgrunnskonsentrasjoner og avsetning. Tålegrenser for skogsjord, vegetasjon og overflatevann er vist og diskutert. Kårstø ligger i et område av Norge der eksisterende avsetning av svovel er nær eller over tålegrense for forsuring av overflatevann. Dette nødvendiggjorde ytterligere beregninger for vann og innsjøer i Kårstøs nærområde. På grunnlag av NILUs resultater har Norsk institutt for vannforskning (NIVA) gjort beregninger og vurderinger angående forsuring av overflatevann som rapporteres her.

Det er gjort modellberegninger for to utslippsmengder/scenarier; 9,1 tonn SO₂/år og 19 tonn SO₂/år. Maksimalt beregnet timemiddel innenfor Kårstøs anlegg for de to utslippsscenarier er hhv. 0,6 µg/m³ og 1,2 µg/m³. Dette er klart lavere enn Administrativ norm (2 mg/m³). Maksimalt beregnet timemiddel utenfor Kårstøs anlegg er 0,8 µg/m³ og 1,6 µg/m³. Gitt at bakgrunnsverdi i området også er lave (Søgne 2009) er verdiene klart under gjeldende nasjonal grenseverdi (350 µg/m³ som timeverdi).

Konsentrasjoner og avsetning er beregnet på regional skala. Til dette er TAPM-modellen anvendt. Meteorologiske data for 2010 er benyttet. Maksimum beregnet årsmiddel for de to utslippsscenarier er 0,04 µgSO₂/m³ og 0,07 µgSO₂/m³. Gitt bakgrunnsverdi rundt 0,5 µg/m³ (Søgne 2009) er verdiene klart under gjeldende nasjonal grenseverdi (20 µg/m³ som årsmiddel).

Maksimum beregnet tørravsetning for de to utslippsscenarier er 0,24 mgS/(m² år) og 0,51 mgS/(m² år). Tilsvarende for våtavsetning hvor maksimum beregnet verdi er hhv. 4,36 mgS/(m² år) og 9,11 mgS/(m² år). Gjennomsnittlig total avsetning for indre modelldomene (60×60 km²) er hhv. 0,42 mgS/(m² år) og 0,88 mgS/(m² år). Gitt at eksisterende avsetning er rundt 400-500 mgS/(m² år) vil bidraget fra Kårstø utgjøre mellom 1% (for hele indre modelldomene nær Kårstø) og 2% (ruten der maksimumsverdien forekommer for scenariet med størst utslippøkning) av total avsetning. Men Kårstø ligger i et område nær eller over tålegrensen for forsuring av overflatevann og ytterligere beregninger var påkrevet.

Svovelavsetning bidrar til forsuring av vegetasjon, skogsjord og overflatevann. Det er vurdert i dette studiet at det ikke er risiko for overskridelser av økosystemets tålegrenser for forsuring av vegetasjon og skogsjord på grunn av Kårstøs økt SO₂ utslipp.

De økte utslippene vil ikke føre til målbare endringer i forsuringseffekter på overflatevann, blant annet siden variasjonen i avsetning fra år til år er betydelig større enn bidraget fra Gasscos anlegg. Imidlertid vil endringer i avsetningen komme i et område hvor store deler av landarealet enten har overskredet tålegrensen for forsuring av overflatevann eller ligger nær overskridelse, og hvor eksisterende avsetning av svovel- og nitrogenforbindelser har ført til skader på vannkjemi og -biologi. Det finnes også lakseførende vassdrag i nærheten av influensområdet som kalkes. Den eksisterende avsetning er en sum av mange utslippskilder og effekter kan ikke tilskrives bidrag fra enkeltutslipp spesielt. I det perspektivet kan også utslipp fra Gasscos anlegg på Kårstø bidra til en ytterligere belastning, og til å opprettholde forsuring av overflatevann som et problem i influensområdet.

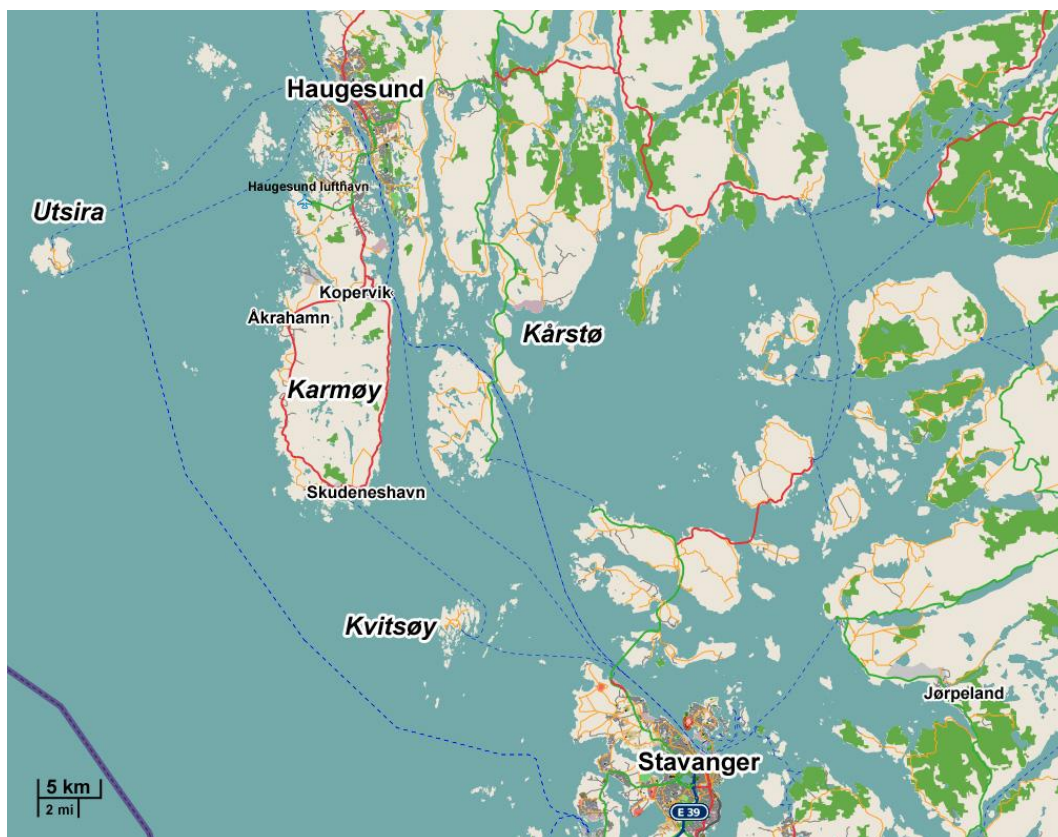
SO2 Kårstø

Miljøkonsekvenser av økte utslipp

1 Innledning

Norsk institutt for luftforskning (NILU) er av Gassco Kårstø blitt bedt om å gjøre spredningsberegninger og avsetningsberegninger for utslipp til luft i forbindelse med utslipp fra anlegget på Kårstø.

Kårstø gassterminal- og prosesseringsanlegg ligger i Rogaland fylke 25 km sør-øst for Haugesund (se Figur 1). Anlegget mottar og behandler gass og kondensat (lettolje) fra flere felt på norsk kontinentalsokkel, blant annet behandles gass fra Åsgard og Kristin. Ved Kårstø prosesseringsanlegg skilles våtgass (NGL - Natural Gas Liquids) ut fra rikgassen, og splittes til produktene propan, normalbutan, isobutan, nafta og etan. De ulike gassproduktene sendes til kunder enten via gassrørledning (eks. til Emden i Tyskland) eller via skip. Kondensat fra Sleipnerfeltet blir stabilisert og fraksjonert i et eget anlegg. Det er også et krakkinganlegg (KEP2005) for utvinning av etan med en årlig kapasitet på 950 000 tonn. Aktiviteten ved Kårstø vil uvegerlig føre til utslipp til luft.



Figur 1: Geografisk plassering av Gasscos anlegg på Kårstø. Kårstø ligger nord for Stavanger, øst for Karmøy og sør-øst for Haugesund. Kilde: OpenStreetMap.org.

Formålet med dette prosjektet og denne rapporten er å undersøke om etananlegget kan kjøres på et høyere svovelinnhold enn det gjøres i dag. Begrensningen for svovelinnhold i anlegget defineres av spesifikasjonen til svovelinnhold i etanproduktet. Etanproduktet har i dag en spek. på 25 ppmv¹. Svovel renses i H₂S-filtre (puraspec), filtermassen må skiftes og brukt filtermasse (farlig avfall) mellomlagres på Kårstø før det sendes med trailer til Tyskland for behandling.

Selv om etan-spesifikasjonen er på 25 ppmv svovel, har man frem til nå operert anlegget i forhold til 17 ppmv svovelinnhold. Dette tilsvarer utslipp lik 6,5 tonn SO₂/år. Prosjektet går ut på at man ikke overrenser i forhold til etan-spesifikasjonen. Dersom dette gjøres, vil man generere mindre farlig avfall (brukt filtermasse) gitt at svovelinnholdet i fødegassen inn fra feltene er den samme. Kårstø opererer kjelene med fyrgass. Hvis anlegget kjøres med høyere svovelinnhold i gassen inn på anlegget, vil følgelig fyrgassen også inneholde mer svovel og dette vil medføre økte lokale SO₂-utslipp.

Målet med prosjektet er å beregne og vurdere SO₂-konsentrasjoner og avsetning av svovel på lokal og regional skala som følge av (økte) utslipp fra anlegget. De beregnede konsentrasjonene er sammenlignet med eksisterende bakgrunnskonsentrasjoner og nasjonale grenseverdier. Avsetning av svovel sluppet ut fra anlegget er sammenholdt med eksisterende avsetning fra langtransportert forurensning og naturens tålegrenser.

Kårstø ligger i et område av Norge der forsuring av overflatevann er et problem. Norsk institutt for vannforskning (NIVA) har derfor gjort separate beregninger basert på NILUs avsetningstall for å vurdere bidraget til forsuring av overflatevann pga. utslippene fra Kårstø. NIVAs resultater rapporteres her.

Beregningene er utført for to ulike utslippsmengder for økte svovelutslipp; 9,1 tonn SO₂/år og 19 tonn SO₂/år (som nevnt er dagens utslipp 6,5 tonn SO₂/år).



Figur 2: Luftfoto av anlegget på Kårstø. Kilde: Gassco hjemmeside om Kårstø (se referanseliste for detaljer).

¹ ppmv: parts per million volume, dvs. million'tedele, 1/1'000'000, beregnet utfra volum.

2 Luftkvalitetskriterier, grenseverdier og tålegrenser

Først gis en kort generell innføring om komponentene som slippes ut. Dernest hvilke standarder og grenseverdier de beregnede konsentrasjonene vurderes opp mot. Konsentrasjonene vil bli vurdert opp mot arbeidstilsynets administrative normer som gjelder innenfor Gasscos industriområde på Kårstø. Disse normene går på arbeidsmiljø med tanke på arbeidernes helse og gjelder innenfor fabrikkområdet. Administrativ norm er høyere enn generelle grenseverdier. Dernest vil konsentrasjonene bli vurdert opp mot nasjonale og internasjonale luftkvalitetskriterier. Disse kriteriene er gitt av bl.a. EU og Klima- og forurensningsdirektoratet, Klif (tidligere Statens Forurensningstilsyn, SFT). Disse kommer til anvendelse når det gjelder eksponering på befolkningen generelt.

2.1 Generelt om komponenten som slippes ut

SO₂:

Svoveldioksid SO₂ dannes og slippes ut fordi oljen og gassen som utvinnes i Nordsjøen inneholder noe svovel (ofte er svovel i utslipp i form av hydrogen sulfid, H₂S, som går over til SO₂). Ellers er industri (bl.a. smelteverk) blant de største antropogene (menneskeskapte) kildene av SO₂, skipsfart er en annen stor kilde. Utslippene av svovel er sterkt redusert i Europa de senere år pga. rensetiltak. Av naturlige utslipp er vulkaner en viktig svovelkilde. Sur nedbør er mindre kritisk i Norge i dag enn det var for få år tilbake. Grunnen til dette er at utslippene har gått ned i Vest-Europa. Men fortsatt kan forsurening av overflatevann være et problem, spesielt i Sør-Vestre del av Norge.

SO₂ tapes hovedsakelig ved tørravsetning og ved oksidasjon til sulfat (SO₄²⁻ i partikkelform eller løst i vann, H₂SO₄ betegnes som svovelsyre). SO₂ oksideres både i gassfase ved OH eller i væskefase ved H₂O₂, O₃, HO₂NO₂ eller katalytiske metaller (Berglen et al., 2004). SO₂ som tas opp i vann eller på partikler vil raskt omdannes til sulfat.

Levetiden for SO₂ i atmosfæren er typisk en dag. Levetiden for H₂SO₄ avhenger av nedbøren, men er i størrelsesorden noen dager.

2.2 Administrative normer

Arbeidstilsynet har definert maksimale konsentrasjoner som ikke må overskrides i arbeidsmiljøet (se ”Administrative normer for forurensning i arbeidsatmosfære”, tilgjengelig fra for eksempel:

<http://www.arbeidstilsynet.no/veiledning.html?tid=78034>

(nettside gyldig pr mai 2011).

Administrativ norm gjelder innenfor industriområdet ved Kårstø og resultatene vil også bli vurdert opp mot denne. For SO₂ er normen at konsentrasjonen i arbeidsatmosfære ikke skal overstige 2 mg/m³.

For vurdering av konsentrasjoner utenom arbeidsatmosfære er det vanlig å bruke en faktor 1/30 – 1/100 for konsentrasjoner i luft. Faktoren vil avhenge av hvor mye som er kjent med stoffet og hvor stor giftigheten er.

2.3 Luftkvalitetskriterier og grenseverdier

Ved vurdering av luftkvaliteten i et område er det vanlig å sammenligne målte og/eller beregnede konsentrasjoner med luftkvalitetskriterier eller grenseverdier for luftkvalitet.

EU har nå fastsatt nye grenseverdier for luftkvalitet for EU (EØS-området). Disse har i hovedsak tatt utgangspunkt i Verdens helseorganisasjons anbefalte retningslinjer (WHO, 1995). EUs grenseverdier for midlingstider 1 time eller 24 timer kan tillates overskredet et visst antall ganger i året. Disse grensene er etablert i Forurensningsloven.

Miljøverndepartementet vedtok høsten 1998 Nasjonale mål for luftkvalitet for byer og tettsteder Disse er ikke juridisk bindende og er strengere enn grenseverdiene, som er juridisk bindende. Alle offentlige data og rapportering om framdriften i miljøarbeidet, utviklingen i miljøtilstand osv. og virkningsberegninger i nasjonale transportplaner skal legges opp etter disse målene.

Klif har tidligere utarbeidet såkalte anbefalte luftkvalitetskriterier som er satt ut fra at eksponeringsnivåene må være 2-5 ganger høyere enn kriteriene før det med sikkerhet er konstatert skadelige effekter. Overskridelser kan derfor ikke tolkes som definitivt helseskadelige, men en kan heller ikke utelukke effekter hos spesielt sårbare mennesker ved nivåer under kriteriene. I motsetning til de kravene som er nedfelt i forskriften og EUs grenseverdier, er Klifs kriterier ikke juridisk bindende.

Klifs luftkvalitetskriterier har de strengeste kriteriene, og når luftkvaliteten tilfredsstillende disse verdiene er de andre også oppfylt. Tabell 1 gir et sammendrag av de ulike grenseverdiene og kriteriene.

Tabell 1: Klifs anbefalte luftkvalitetskriterier, Nasjonale mål, Forurensningslovens tiltaks- og kartleggingsgrenser og EUs nye grenseverdier for luftkvalitet med hensyn til virkning på helse. Grenseverdiene er gitt i $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Stoff	Midlingstid	1 time	24 timer	6 måneder	År
SO ₂	Klifs anbefalte luftkvalitetskriterier		90	40	
	Nasjonalt mål		90 ¹⁾		
	Forurensningslovens tiltaksgrense		200 ¹⁾		
	Forurensningslovens kartleggingsgrense		90		
	EUs grenseverdier (og antall tillatte overskridelser)	350 ¹⁾ (24 pr. år)	125 ¹⁾ (3 pr. år)		
	Grenseverdi økosystem (EU/EØS)				20
	Grenseverdi økosystem vinterhalvår (oktober-mars (EU/EØS)			20	

1) gjeldende fra 1.1.2005

2.4 Belastning av miljø og tålegrenser

Utslipp av SO₂ kan ha flere ulike effekter på natur og miljø. Eksempelvis kan høye konsentrasjoner av SO₂ gi sviskader på vegetasjon. Dette er bl.a. kjent fra Øst-Finnmark der høye utslipp av SO₂ fra smelteverk på russisk side ga (og kan fortsatt gi) skader på vegetasjon. En annen effekt av SO₂ er forsuring. SO₂ oksideres til sulfat/svovelsyre og gir sur nedbør (kap. 2.1). Forsuring som følge av sur nedbør har vært et stort problem i Norge. Problemet er mindre nå enn for noen tiår tilbake pga. utslippsreduksjoner i Vest-Europa og derved redusert tilførsel med langtransportert forurensning. Men i visse deler av Norge er forsuring fortsatt et problem.

Norsk institutt for vannforskning (NIVA) har og har hatt flere prosjekter for å kartlegge tålegrenser for vegetasjon, skogsjord og overflatevann (eksempelvis Larssen et al., 2008). Forsuringseffekt på vegetasjon, skogsjord og overflatevann er et samspill mellom tilførsel av svovel og tilførsel av nitrogen.

2.4.1 Forsuringseffekt og tålegrenser for vegetasjon

Norsk institutt for Skog og landskap har et langvarig overvåkingsprogram på utvalgte steder i bjørkeskog i området rundt Kårstø (eksempelvis Aamlid og Røsberg, 2000, Aamlid og Røsberg, 2008). De senere år er programmet trappet noe ned. Denne overvåkingen konkluderer at kronevurdering av trærne på observasjonsflatene i 2007 viste at tilstanden fortsatt var god og som forventet ut fra vekstforholdene, og bekrefter de foregående års undersøkelser. Variasjon og forskjeller fra år til år i kronetilstanden kan ikke tilskrives utslippene fra Kårstø gassprosesseringsanlegg. På lang sikt kan man likevel ikke se bort fra at enkelte av økosystemene kan være følsomme med hensyn på tilførsel av forsurende komponenter (bl. a. svovel og nitrogen komponenter), på grunn av områdets langvarige mottak av stort nedfall av langtransporterte luftforurensninger. Det er derfor fornuftig å følge med i økosystemenes skoglige tilstand (Aamlid og Røsberg, 2008).

2.4.2 Forsuring av skogsjord og tålegrenser

Tålegrensen for sterk syre til skogsjord er basert på at syretilførsel ikke skal medføre at forholdet mellom basekationer og aluminiumsioner (BC:Al) i jordvannet blir lavere enn 1. Jordkjemiske data i Norge foreligger hovedsakelig for arealer dekket av skog, og tålegrenser for jord beregnes kun for skogsjord og er presentert i Larssen et al. (2008, Figur 1). Overskridelser av tålegrenser for forsurende komponenter i skogsjord er et lite problem i Norge. NIVAs modellberegninger viser at med avsetningstallene for svovel og nitrogen for perioden 2002–2006 er det kun én modellrute, 183 km² eller 0,057 % av Norges areal, som er overskredet med hensyn på skogsjord (Larssen et al., 2008). Dette området ligger nord i Hedmark (Larssen og Høgåsen, 2003).

Tålegrenser for skogsjord i Kårstø's nærrområde er relativt høye (> 75 mEqv/m²/år) og vil ikke kunne overskrides pga av den relativt lille økningen i SO₂ utslipp fra Kårstø utredet i dette studiet. Denne effekten er derfor ikke viderebehandlet i denne rapporten.

2.4.3 Forsuring av overflatevann og tålegrenser

Forurenset luft og nedbør inneholder svovel og nitrogen i form av sulfat (SO_4^-), nitrat (NO_3^-), og ammonium (NH_4^+). Disse komponentene bidrar til forsuring av jord og vann i Norge. Svovel tas i begrenset grad opp i vegetasjonen og de tilførte sulfationene vil normalt renne gjennom jorda og ut i vassdraget. Sulfat kalles derfor et mobilt anion. Når sulfat som er et anion (negativt ladet ion) transporteres gjennom systemet, må det samtidig transporteres like store mengder kationer (positivt ladete ioner). Kationene er hovedsakelig hydrogen-, aluminium-, kalsium- og magnesiumioner. Hydrogenioner gjør vannet surt og aluminiumioner kan gi biologiske skader.

Tålegrenser for atmosfærisk tilførsel av forurensende stoffer til et økosystem, utledet fra Nilsson og Grennfelt (1988), kan beskrives slik:

“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 og endringer i artssammensetning og mengde av arter.”

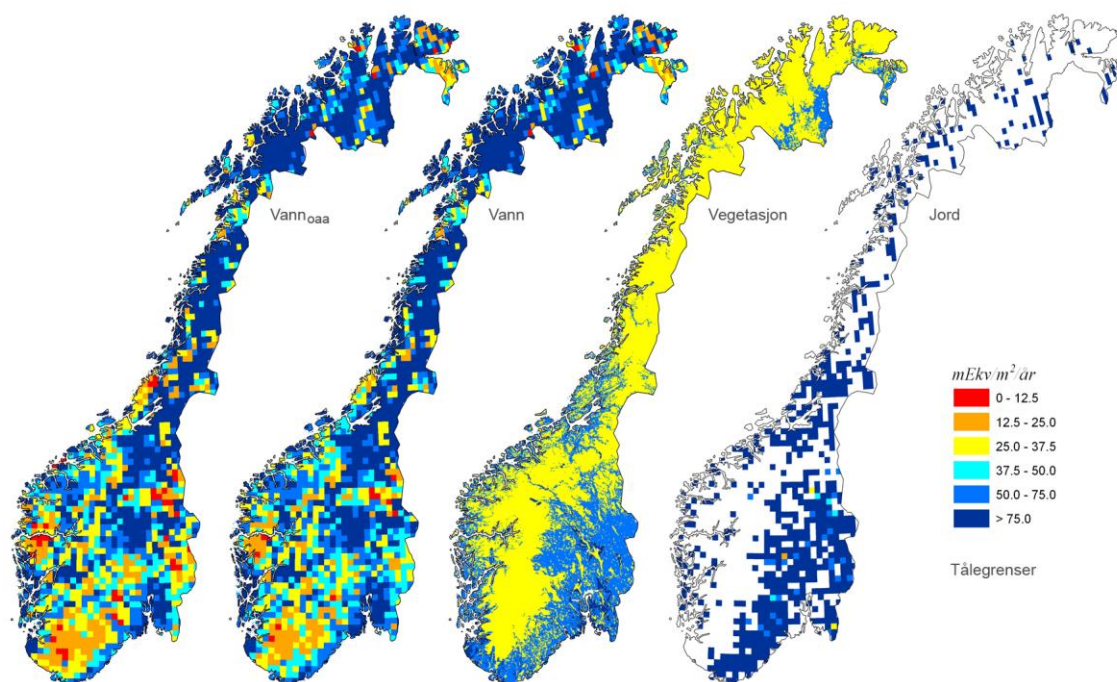
Denne definisjonen gir oss en ramme for å lage tallmessige anslag for de belastninger som kan gi uønskede skader. Tålegrenser for overflatevann er grundigst utredet for svoveltilførsler. I store deler av Norge og i mange andre land er tålegrensen for denne forbindelse forlenget overskredet, og effektene registreres ved sure, fisketomme vann. For svovel kjenner en i dag årsak/virkningsforholdet godt, og dose/responsforholdet kan uttrykkes ved hjelp av enkle modeller. Nitrogenets kretsløp er derimot svært komplisert, spesielt på grunn av biologisk opptak i planter og jord. Vegetasjonsdekke og jorddybde påvirker biologisk opptak av nitrogen. Derfor er tålegrensen for nitrogen vesentlig vanskeligere å fastsette enn for svovel.

Tålegrenser for forsuring av overflatevann er knyttet til en grenseverdi for ANC (ANC = Acid Neutralising Capacity, norsk: syrenøytraliserende kapasitet). Grenseverdien for ANC er basert på informasjon om vannkjemi og fiskestatus, basert på resultater fra en landsdekkende undersøkelse av 1000 innsjøer i 1986 (Henriksen et al., 1988). Resultatene fra dette arbeidet viste at det er stor sannsynlighet for skader på fiskepopulasjoner for verdier av ANC < 20 µekv per liter.

Det har vist seg at grenseverdien på ANC < 20 µekv per liter ikke alltid er holdbar. Det finnes områder i Norge hvor livet i vann (akvatisk biota) er tilpasset lavere ANC-verdier enn 20 µekv per liter og det finnes områder som er tilpasset høyere verdier. Vi har antatt at grenseverdien for ANC har en sammenheng med tålegrensen. Fisk og andre akvatiske organismer i områder som har lave tålegrenser vil sannsynligvis være tilpasset en lavere ANC-verdi enn områder med høye tålegrenser. For ikke å beregne for store arealer med overskridelsene av tålegrensen ved å bruke en for høy fast grenseverdi for ANC, har vi innført en variabel ANC som er en funksjon av tålegrensen. I områder med lave tålegrenser

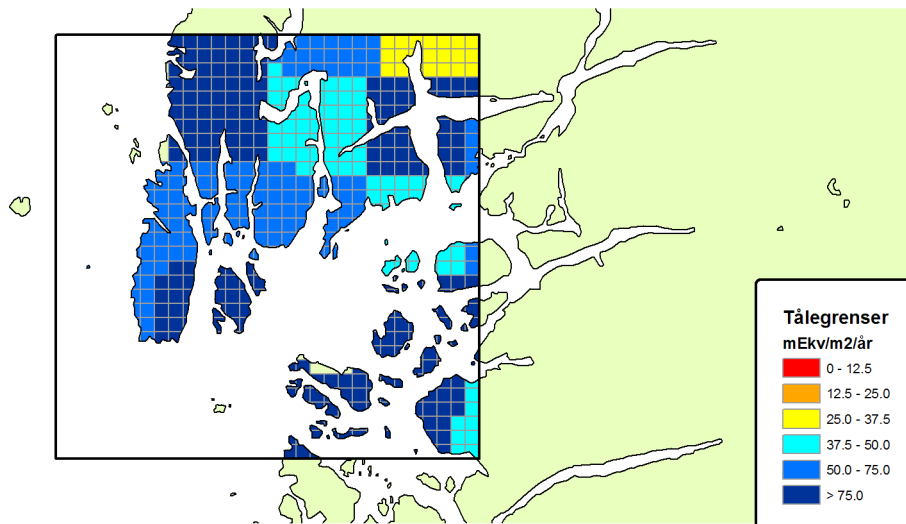
er grenseverdien for ANC satt = 0 μekv per liter, og stiger til ANC = 50 μekv per liter i områder med høy tålegrense (Henriksen og Buan, 2000)

For Norge er det utarbeidet tålegrenser for forsuring fra sterke syrer (svovel- og salpetersyre) til overflatevann og skogsjord og for overgjødning (eutrofiering) av terrestrisk vegetasjon med nitrogen. For overflatevann presenteres tålegrensekart med og uten inkludering av organiske syrer i effektledet i modellen som vist i Figur 3 (fra Larssen et al., 2008).



Figur 3: Tålegrenser for vann_{ooo} (organiske syrer inkludert), vann (organiske syrer ekskludert), vegetasjon og jord i Norge. (ooo = organic acid adjusted).

Figur 4 viser et mer detaljert kartutsnitt der tålegrensene for forsuring av overflatevann (vann_{ooo}) i influensområdet for utslippene fra Gasscos anlegg på Kårstø kommer tydeligere frem. Tålegrensene i hver rute er beregnet ut fra tilgjengelige vannkjemiske data for innsjøer og elver i hver rute, fra NIVA nasjonale database, og årlig avrenning for perioden 1961 – 1990 fra Norge Vassdrags- og energidirektorat (NVE).



Figur 4: Tålegrenser for forsurening av overflatevann i influensområdet for Gascos anlegg på Kårstø.

3 Utslipp fra anlegget på Kårstø

Utslippsmengder og utslippsparmetre er oppgitt av Gassco. Disse er inngangsparametre til modellberegningene som presenteres i kap. 5 og 6. Utslippene som undersøkes i denne studien er stort sett fra Sleipner og Kristinkjelene (se oversikt Figur 5).

Disse to kjelene fyres med to ulike typer gass; lavtrykksfyrgass (LT) hvor totalinnholdet av svovel er totalt 0,0083 kg/tonn fyrgass og "offgass" fra CRAIER-etanproduksjon hvor svovelinnholdet er 0,022 kg/tonn fyrgass. Fordelingen mellom bruk av LT-fyrgass og CRAIER-gass samt forbruket av gass for de to kjelene er ikke konstant. De viktigste tallene er vist i Tabell 2.

Totalforbruket av lavtrykksfyrgass (LT) til begge kjelene var i 2010 på ca 99 000 tonn.

I tillegg til disse to kjelene er det flere mindre utslippspunkter ved anlegget. På regional skala dominerer imidlertid bidraget fra de to hovedkildene og de mindre kildene er ikke tatt med som spesifikke punkter i beregningene. Likeledes er de fysiske utslippsparmetrene for Sleipner- og Kristinkjelen ganske like samt at de er plassert nær hverandre. Det spiller derfor liten rolle for spredningen om utslippene stammer fra den ene eller andre skorsteinen. I beregningene er det brukt fysiske utslippsparmetre for Sleipnerkjelen som oppgitt i Tabell 3.

Tabell 2: Timeforbruk og fordeling av gasstype for de to kjelene for året 2010.
Data oppgitt av Gassco.

	Sleipnerkjelen	Kristinkjelen
Forbruk LT-fyrgass	3 tonn/time	6 tonn/time
Forbruk CRAIER-gass	19 tonn/time	6 tonn/time
Andel LT-fyrgass 2010	6 uker	10,5 mnd
Andel CRAIER-gass 2010	10,5 mnd	6 uker

Tabell 3: Fysiske utslippsparametre for utslippspunktene på Kårstø slik de er oppgitt av Gassco. I modellberegningene er tall for Sleipnerkjelen brukt.

	Sleipnerkjelen	Kristinkjelen
Skorsteinshøyde:	40 m	
Skorsteinsdiameter	2,1 m	
Røykgasstemperatur	206°C	217°C
Mengde	140 000 Nm ³ /time	175 000 Nm ³ /time
Hastighet	19 m/s	25 m/s

Som beskrevet i foregående tekst og i Tabell 2 varierer gassforbruket og utslippene av svovel i tid mellom de ulike skorsteinene. Totalutslippene av SO₂ som vurderes i denne rapporten er 9,1 tonn SO₂/år og 19 tonn SO₂/år. Dette tilsvarer hhv. 0,29 g SO₂/s og 0,60 g SO₂/s^{footnote 2}.

² Gitt at det er $60 \times 60 \times 24 \times 365 = 31'536'000$ s/år. Merk molar masse 64 (SO₂), ikke 32 (S).



Figur 5: Detaljert luftfoto av de spesifikke kjelene og utslippspunktene som undersøkes i denne studien. Navnene refererer til opphavet for gassen som prosesseres (Kristin, Sleipner, Åsgard).

4 Dagens situasjon; meteorologi, bakgrunnskonsentrasjoner og avsetning ved Kårstø

Formålet med dette kapitlet er å beskrive dagens situasjon ved Kårstø med tanke på meteorologi (da først og fremst vind og nedbør), eksisterende konsentrasjoner og avsetning.

Meteorologiske forhold er bestemmende for spredning og avsetning av utslippene fra Kårstø. I en studie som denne er det derfor viktig å beskrive eksisterende meteorologi. Det er likeledes viktig å beskrive bakgrunnskonsentrasjoner og avsetning. Utslipp fra anlegget på Kårstø med dertil spredning, omdanning og avsetning av røykgassen kommer i tillegg til bakgrunnskonsentrasjonene. For å få et riktig bilde av situasjonen må bidraget fra Kårstø og eksisterende bakgrunn summeres og deretter sammenlignes med grenseverdier og tålegrenser.

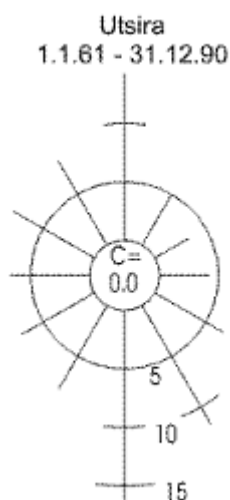
Allerede i 1975-76 foretok NILU målinger ved Kårstø for NVE Statskraftverkene. Spørsmålet var: "Ligger forholdene til rette for et varmekraftverk?" Først senere ble stedet vurdert som en av de mulige plassene for ilandføring av gass og olje. Senere har NILU utført flere måleprogrammer og utredninger knyttet til aktiviteten på Kårstø, eksempelvis Tønnesen og Haugsbakk (1995), Knudsen et al. (2002), Gjerstad og Knudsen (2004), Haugsbakk (2004) og Tønnesen (2006).

Dette er alt fra rene måleprogrammer for luftkvalitet og meteorologi til studier og spredningsberegninger som danner grunnlag for konsekvensutredninger og utslippssøknader.

4.1 Meteorologiske forhold

For å vise midlere vindforhold i området er vindrose for Utsira vist i Figur 6. Utsira ligger ute i havet rett vest for Karmøy (og derved rett vest for Kårstø, se Figur 1). Målingene av vindretning fra Utsira representerer derfor storskala vind (ikke påvirket av lokal eller regional topografi). Vinden på Utsira er klart rettet nord-sør, dvs. langs kysten. Merk også at det nærmest aldri er vindstille på Utsira ($C=0,0$ midt i vindrosen)

I modellberegningene i kap. 6 er meteorologiske data for 2010 benyttet. Vindrose for Utsira år 2010 er vist i Figur 7. I 2010 var det høyere frekvens av vind fra sør-sørøst og nord-nordvest enn normalen (1961-1990). Det var vindstille i 1% av tiden. Vindmålingene fra 2010 anskueliggjør også hvordan meteorologiske forhold kan variere fra et år til et annet.



Figur 6: *Frekvensfordeling av vindretning fordelt på tolv 30°-sektorer fra Utsira årene 1961-1990, dvs. normalen. Vindrosen viser hvor ofte det blåser fra disse retningene.*

Vindrose, frekvensfordeling av vind

Vindretning deles i sektorer på 30°

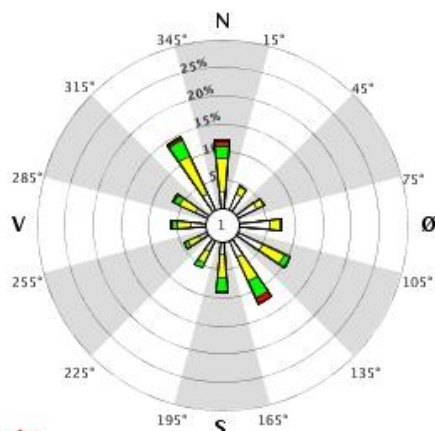
Frekvensfordeling av vindhastighet i prosent %

Vindhastighet (m/s)

- > 20.2
- 15.3-20.2
- 10.3-15.2
- 5.3-10.2
- 0.3-5.2

Stille (%)

1

**År: 2010 - 2010****jan, feb, mar, apr, mai, jun, jul, aug, sep, okt, nov, des****Tidspunkt: 1, 7, 13, 19 (NMT)****47300 UTSIRA FYR**

Figur 7: Frekvensfordeling av vindretning fordelt på tolv 30°-sektorer fra Utsira året 2010. Vindrosen viser hvor ofte det blåser fra disse retningene.

Kilde: eklima

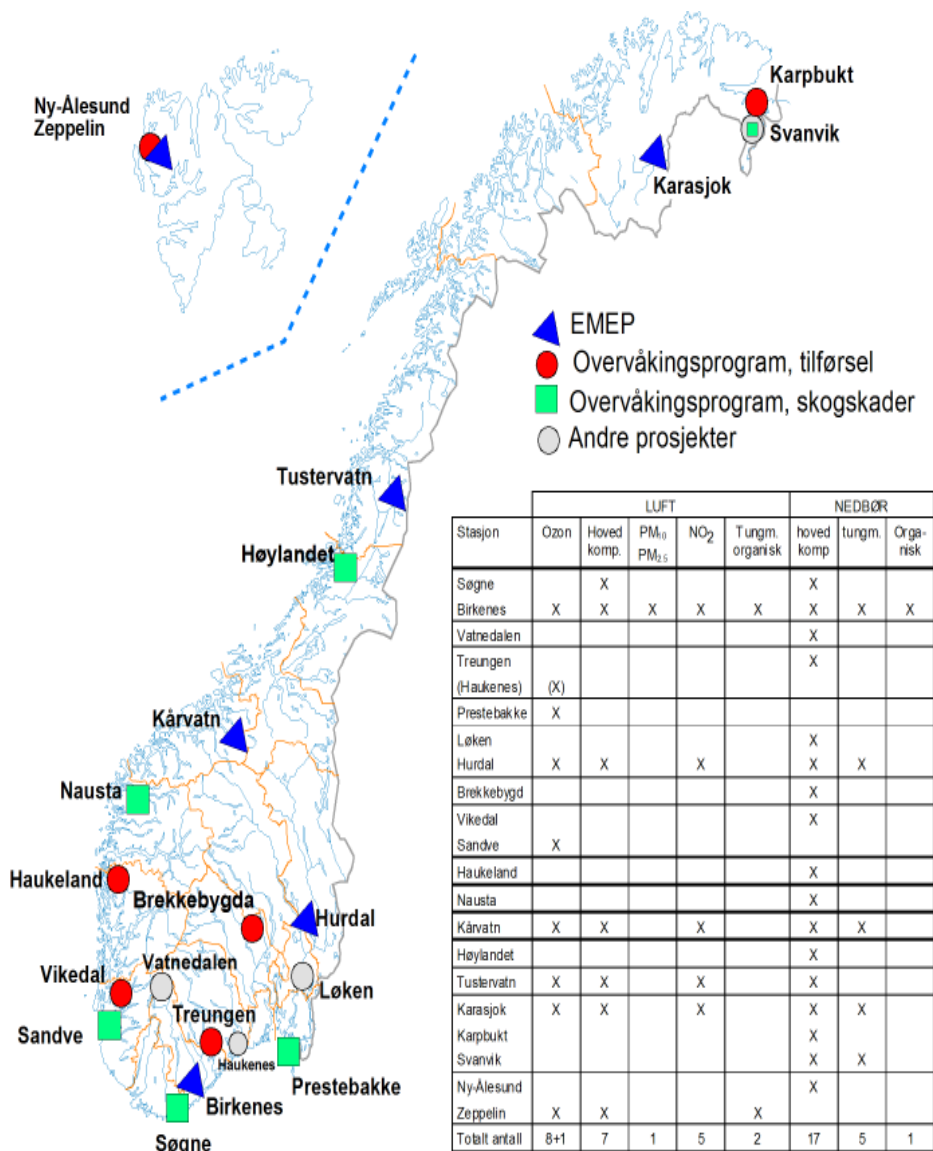
Nedbørmengde og fordeling påvirker våtavsetning av de vannløselige komponentene som slippes ut fra Kårstø. NILU målte meteorologi ved Kårstø fra 1. april 1994 til 31. mars 1995 (Tønnesen og Haugsbakk, 1995). Målingene ble gjort for timeverdier og dekket 90% av alle timer dette året. I 1994-95 regnet det hhv. 213 mm, 376 mm, 308 mm og 594 mm vår, sommer, høst og vinter, til sammen 1491 mm fra 1. april 1994 – 31. mars 1995. Til sammen var det 1703 timer med registrert nedbør, dvs. 22% av timene med gyldige data (totalt 88% datadekning for målingene).

Til sammenligning har Kvitsøy sør for Kårstø en målestasjon som rapporterer værdata til yr.no (se Figur 1). Normalnedbør for Kvitsøy er 1170 mm/år. Kvitsøy ligger ut mot havet, og det er ingen fjell som gir orografisk regn (nedbør som oppstår fordi en luftmasse presses oppover et fjell eller en ås (orografisk heving) og blir avkjølt). Det forklarer hvorfor normalnedbøren er lav på Kvitsøy. Nedre Vats (om lag 50 km nord-øst for Kårstø inne i landet) har normalnedbør lik 2260 mm. Dette er dobbelt så mye normalnedbør som Kvitsøy og er resultat av orografisk heving og avkjøling av luftmassene med tilhørende utfelling av regn.

Også for nedbør kan det være store variasjoner fra år til år. Eksempelvis viser målinger fra Kvitsøy de siste årene at nedbøren kan variere mellom 785 mm/år (2010) og 1663 mm/år (2006), mens normalen som nevnt er 1170 mm/år (de siste 10 år er det ingen rapporterte data fra 2001 til mai 2006).

4.2 Bakgrunnskonsentrasjoner og avsetning av svovel

NILU har på oppdrag fra Klif et omfattende prosjekt for å måle langtransportert forurenset luft og nedbør. Dette er en del av Statlig program for forurensningsovervåking. Resultatene publiseres i årlige rapporter. Tall for 2010 er de siste tilgjengelige (Aas et al., 2011). Oversikt over stasjonene i måleprogrammet er gitt i Figur 8.



Figur 8: Norske bakgrunnsstasjoner i 2009. Merk at organiseringen av overvåkingsprogrammene og stasjonene ble noe forandret fra 2009 til 2010. Kilde Aas et al. (2010).

Det er ingen stasjon i umiddelbar nærhet til Kårstø. Stasjonen i Vikedal ligger omlag 40 km nord-øst for Kårstø og måler hovedkomponenter³ i nedbør. Søgne

³ Som hovedkomponenter i nedbør regnes SO₄, NH₄, NO₃, Na, Mg, Cl, Ca, K

sør-øst for Kårstø målte hovedkomponenter i både luft og nedbør, men ble lagt ned i 2009. Vikedal og Søgne er de stasjonene er mest relevant å bruke som sammenligningsgrunnlag i denne rapporten. Birkenes (observatorium) har et mer utvidet måleprogram, men denne ligger øst for vannskillet og derved i ”regnskyggen” når værsystemer kommer vestfra. Slik sett er Birkenes ikke påvirket av langtransportert forurensning fra vest på samme måte som stasjonene på vestkysten av Norge. Sandve måler kun ozon (O₃).

Årsmiddelkonsentrasjoner av SO₂ og sulfat på de to bakgrunnsstasjonene Søgne og Birkenes er vist i Tabell 4. Resultater for både 2009 og 2010 er vist (Aas et al., 2010 og 2011). Tall for 2009 er inkludert fordi 2009 er siste år med observasjoner fra Søgne, men også for å vise hvordan konsentrasjonene kan variere fra år til år. Birkenes er som sagt ikke godt egnet som sammenligningsgrunnlag, men er tatt med for å vise hvordan konsentrasjonene kan variere på romlig skala. Konsentrasjonene av svovel i 2009 på stasjonen Søgne var 0,48 µgSO₂/m³ og 1,08 µgSO₄/m³ fotnote 4. SO₂-verdien på Søgne var høyere enn Birkenes, mens sulfat var tilnærmet lik.

Tabell 4: Årsmiddelkonsentrasjoner av svovelkomponenter i luft for 2009 og 2010. Kilde: Aas et al., 2009 og 2010. Enhet: µg-S/m³

Stasjon	Årsmiddel SO ₂ (µg-S/m ³)	Årsmiddel SO ₄ ²⁻ (µg-S/m ³)
Søgne 2009*	0,24	0,36
Birkenes 2009	0,06	0,30
Birkenes II 2010 [¶]	0,12	0,29

* Søgne ble nedlagt 2009
[¶] Observatoriet på Birkenes ble flyttet høsten 2009, derav navnet Birkenes II

Veide årsmiddelkonsentrasjoner og våtavsetning av sulfat (SO₄²⁻) er vist i Tabell 5. Våtavsetning (enhet: mg S/m²) regnes ut ved at konsentrasjonen i nedbøren (enhet: mg S/liter) multipliseres med nedbøren (1mm nedbør tilsvarer 1 liter/m²). Av resultatene for 2009 og 2010 ser man at stasjonene mest relevant for Kårstø (Søgne og Vikedal) har våtavsetning mellom 430 mg S/m² og 592 mg S/m².

Tabell 5: Veide årsmiddelkonsentrasjoner og våtavsetning av svovel nedbørkomponenter for 2009 og 2010. Tallene er korrigert for sjøsalt. Kilde: Aas et al., 2009 og 2010. Enhet: mg S/l og mg S/m².

Stasjon	Veid årsmiddel nedbør SO ₄ mg S/l	Våtavsetning SO ₄ mg S/m ²
Søgne 2009*	0,36	592
Vikedal 2009	0,17	430
Vikedal 2010	0,29	529
Birkenes 2009	0,33	591
Birkenes II 2010 [¶]	0,38	421

* Søgne ble nedlagt 2009
[¶] Observatoriet på Birkenes ble flyttet høsten 2009, derav navnet Birkenes II

⁴ Merk forskjellen i tallene pga forskjellig molar masse. Massen kan angis som masse S (molar masse 32), masse SO₂ (molar masse 64) eller masse SO₄²⁻ (molar masse 96)

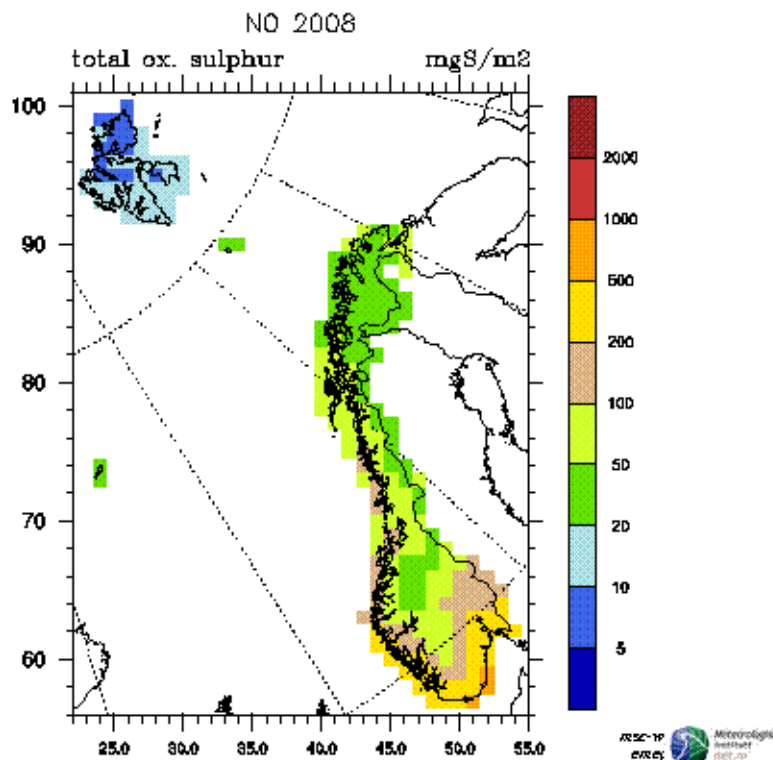
Størsteparten av sulfat vil avsettes ved våtavsetning. I overvåkingsprogrammet (Aas et al., 2011) er det beregnet total avsetning for Birkenes (ikke Søgne og Vikedal). I 2010 er det beregnet at total avsetning av svovel på Birkenes er:

Tørravsetning vinter:	11 mg S/m ²
Tørravsetning sommer:	42 mg S/m ²
Våtavsetning vinter:	137 mg S/m ²
Våtavsetning sommer:	286 mg S/m ²
Samlet beregnet avsetning:	476 mg S/m ²

Merk at sum våtavsetning (vinter + sommer) er lik 423 mg S/m² (samme tall som i Tabell 5 med høyde for unøyaktig avrunding). Beregningene viser også at på Birkenes avsettes altså omlag 10% av svovel ved tørravsetning.

EMEP

EMEP (European Monitoring and Evaluation Programme, se www.emep.int) er et vitenskapelig program under langtransportkonvensjonen (Convention on Long-range Transboundary Air Pollution) opprettet på 1970-tallet for å løse problemer knyttet til grenseoverskridende luftforurensning. EMEP utarbeider utslippsinventorier, koordinerer måleprogrammer og gjør målinger tilgjengelige samt at det gjøres modellberegninger. EMEP-modellen er en felles europeisk modell ("community model") som er utarbeidet for å beregne konsentrasjoner og avsetning av de viktigste gassene og partiklene med tanke på fotokjemi, forsuring og eutrofiering. Romlig oppløsning er 50×50 km². De mest oppdaterte modellresultatene er for 2008. Beregnet avsetning for modellruten som dekker Kårstø er 433 mg S/m². Beregnet avsetning for rutene rundt Kårstø varierer mellom 134 mg S/m² og 388 mg S/m². Resultatene for Norge er vist i Figur 9. Figuren viser også hvordan kysten av Norge fra svenskegrensen helt opp til Møre har størst avsetning av svovel (i gult og orange).



Figur 9: EMEP modellresultater, total avsetning av svovel for Norge 2008. Enhet mgS/m^2 .

5 Estimering av timemiddelkonsentrasjoner i Kårstøs nærområde

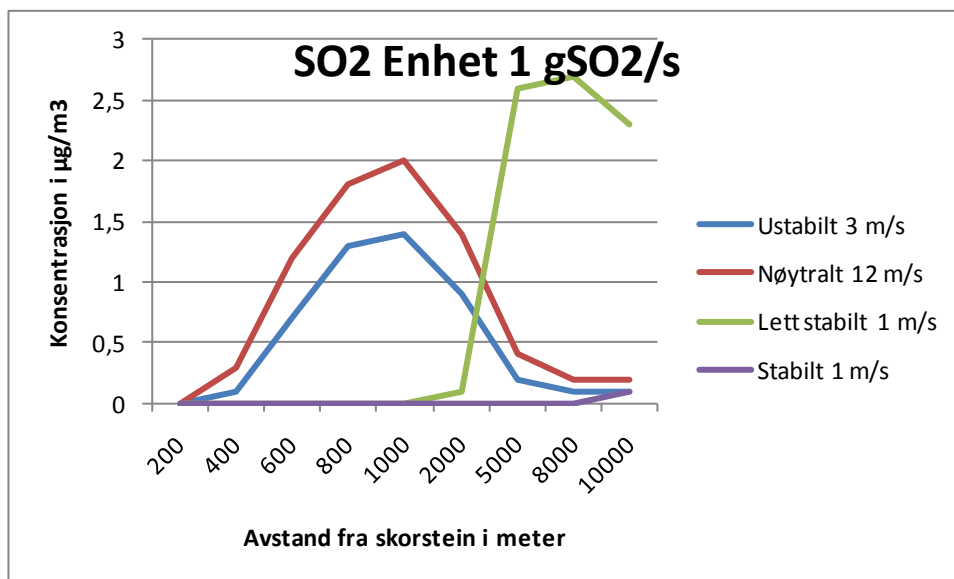
I dette kapitlet har vi beregnet maksimale timemiddelkonsentrasjoner nær utslippspunktene. Til dette har vi brukt CONCX-modellen (Bøhler, 1987). CONCX er en enkel og robust gaussisk spredningsmodell som beregner konsentrasjoner nedstrøms av et utslippspunkt ved ulike vindstyrker og ved ulike stabilitetsforhold i atmosfæren. Som input til modellen trenger vi pipehøyde, høyde på bygninger rundt (pga. bygningsturbulens), utslippshastighet og temperatur på avgassen (for å beregne termisk løft). Dette er oppgitt i kap. 3. Modellen beregner bakkekonsentrasjoner som funksjon av avstand fra kilden.

Resultatene er sammenlignet med arbeidstilsynets administrative normer, nasjonale og internasjonale luftkvalitetskriterier, samt grenseverdier. Dominerende vindretning ved Kårstø er sør/sør-øst (se beskrivelse av meteorologiske forhold i kap. 4). Utslippene fra anlegget kan derfor slå ned

innenfor prosesseringsanleggets industriområde. Her gjelder arbeidstilsynets normer, mens andre luftkvalitetskriterier gjelder utenfor.

5.1 Enhetsutslipp

Beregningene ble utført med et utslipp på 1 g/s, såkalt enhetsutslipp. Hvis utslippskomponenten ikke inngår i kjemiske reaksjoner og utslippsparmetre er de samme vil disse resultatene kunne skaleres lineært for å få resultater for andre utslippsmengder. Dette må ses på som en første tilnærming til å estimere maksimale timemiddelkonsentrasjoner. I Figur 10 viser vi resultatene for enhetsutslipp.



Figur 10: Modellresultater for enhetsutslipp 1 g/s. 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: $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Av Figur 10 går det fram at nøytral sjiktning og 12 m/s vind gir maksimumskonsentrasjon ($2,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ved 1000 m. Ustabil sjiktning og 3 m/s vind gir samme konsentrasjonsprofil som nøytralt, men lavere verdier. Ustabil sjiktning vil ikke opptre ved høyere vind enn 3-4 m/s siden sterk vind vil bryte opp instabiliteten og gi mer nøytral sjiktning. Lett stabil sjiktning gir maksimum ved 8000 m og svak vind ($2,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$), mens ved stabil sjiktning blir røykefanen transportert langt borte og fortynnet før at det treffer bakken.

Dette mønsteret, hvor nøytral og ustabil sjiktning gir maksimumskonsentrasjon nær skorsteinen, lett stabil gir maksimum litt lenger ut og til slutt stabil sjiktning som gir lavest konsentrasjon lengst ut er logisk. Ustabile/nøytrale forhold gir raskest vertikal blanding mens stabile forhold gir tregest blanding.

Det er høy temperatur i røykgassen og både stort termisk løft og høy hastighet ut av pipen bidrar til at effektiv høyde blir stor ved svak vind. Stor effektiv høyde bidrar til god fortynning av røykefanen før utslippet når bakken langt unna

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

Det er også verdt å merke at skorsteinen er tilstrekkelig dimensjonert. Dette sees ved at bakkekonsentrasjonen er null eller lav nær skorsteinen, så forekommer maksimum i en viss avstand fra utslippspunktet hvorefter konsentrasjonen avtar igjen etter hvert som avstanden øker.

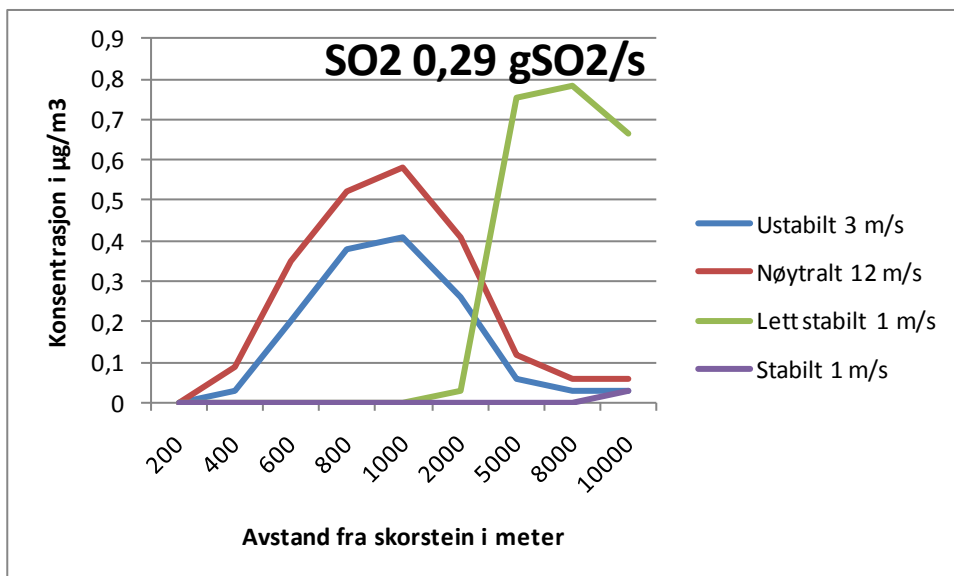
5.2 SO₂-utslipp undersøkt i denne studien

Resultatene for enhetsutslipp kan så skaleres i forhold til de aktuelle utslipp for å beregne maksimalt timemiddel for de aktuelle utslippene av SO₂. Utslippsmengdene gitt i kap 3 er brukt til å skalere beregningene for enhetsutslipp.

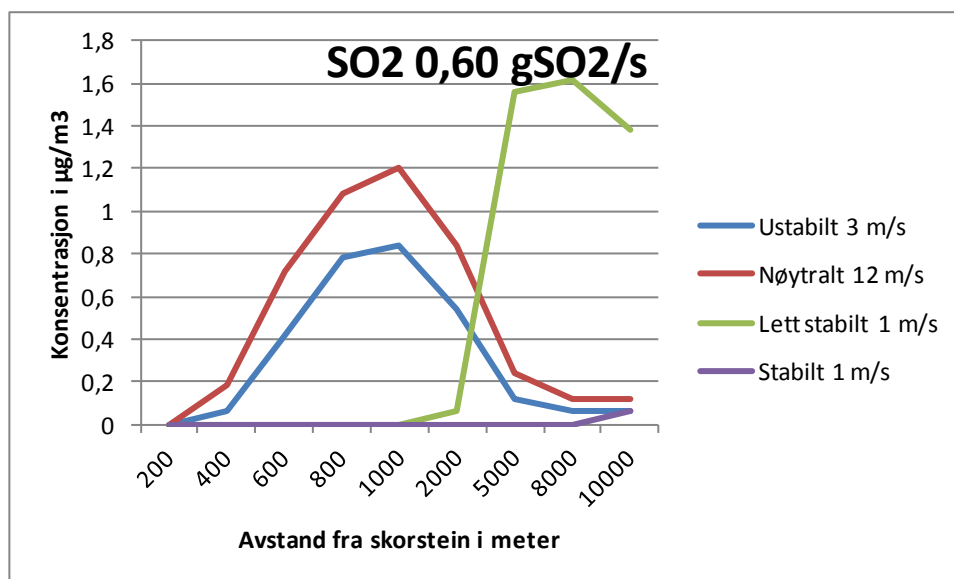
For å forklare nærmere; for SO₂ har vi regnet ut at utslippet på 9,1 tonn SO₂/år tilsvarer 0,29 gSO₂/s. Derfor er resultatene for enhetsutslippet skalert/multiplisert med en faktor 0,29.

Maksimalt timemiddel for nøytralt regime er da 0,58 µg/m³ (2,0 µg/m³ × 0,29). For ustabil regime er maksimalt timemiddel lik 0,41 µg/m³ (1,4 µg/m³ × 0,29) og så videre.

Tilsvarende er gjort for utslipp lik 19 tonn SO₂/år (dvs. 0,60 g SO₂/s) for alle fire stabilitetsklasser. Resultatene er vist i Figur 11.



Figur 11: Modellresultater for SO₂-utslipp lik 0,29 g/s og 0,60 g/s (tilsvarende hhv. 9,1 tonn/år og 19 tonn/år). 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. Enhet: µg/m³.



Figur 11: forts.

Kurvene vist i Figur 11 er lik figuren for enhetsutslippet (Figur 10), eneste forskjellen er at skaleringen er forskjellig.

De beregnede resultatene viser at høyeste forventede konsentrasjon innenfor Kårstø sitt industriområde er rundt $0,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ for utslipp lik $0,29 \text{ g/s}$ ($9,1 \text{ tonn SO}_2/\text{år}$) og $1,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ for utslipp lik $0,60 \text{ g/s}$ ($19 \text{ tonn SO}_2/\text{år}$), se resultater for Nøytral 12 m/s. Bidraget fra dette utslippet kommer i tillegg til eksisterende bakgrunnskonsentrasjoner. Men gitt at Administrativ norm (kap. 2.2) krever at konsentrasjonen i arbeidsatmosfære ikke skal overstige $2 \text{ mg}/\text{m}^3$ ($2000 \mu\text{g}/\text{m}^3$) er forventet konsentrasjon på Kårstø langt under kravene. Økte utslipp kommer derfor ikke i konflikt med Administrativ norm.

For timekonsentrasjoner utenfor Kårstø's anlegg er beregnede maksimumskonsentrasjoner hhv. rundt $0,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ og $1,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Lett stabilt 1 m/s 8 km unna utslippspunktet). Igjen kommer dette bidraget fra utslippet i tillegg til eksisterende bakgrunnskonsentrasjoner. Grenseverdi for timemiddel er $350 \mu\text{g}/\text{m}^3$ med 24 tillatte overskridelser pr kalenderår (kap. 2.3). Summen av bakgrunn og maksimalt beregnet timemiddel er langt lavere enn grenseverdien og overskrides ikke under noen meteorologiske forhold.

6 Estimering av årsmidlet konsentrasjon og avsetning i Kårstø sitt nærrområde

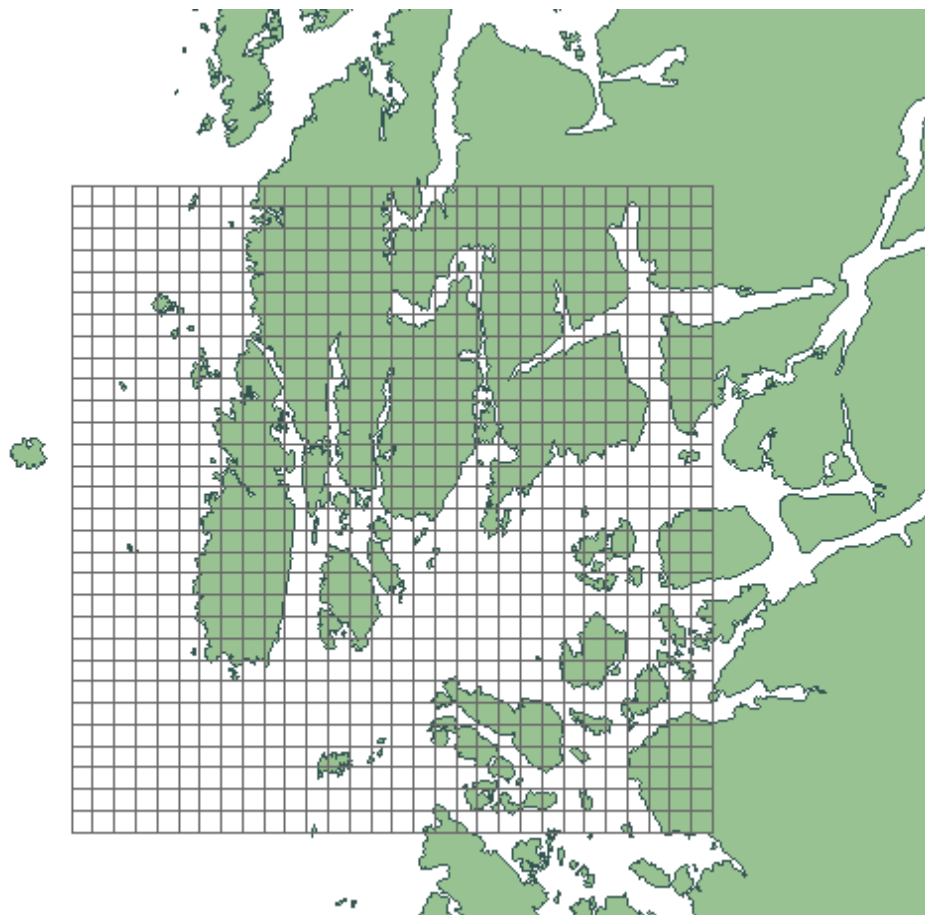
6.1 TAPM modellbeskrivelse

Det er også beregnet årsmiddelkonsentrasjon av SO₂ samt årlig avsetning av svovel rundt Kårstø. Til dette er The Air Pollution Model (TAPM) benyttet. TAPM er utviklet ved CSIRO i Australia. En detaljert beskrivelse av modellen og mulige anvendelser er gitt i Karl et al. (2010) eller TAPM (2009). TAPM er også tidligere brukt i spredningsberegninger for Kårstø (Attalla og Azzi, 2010). For enkelhets skyld en kort beskrivelse er gjengitt her.

TAPM er en integrert modell som består av en prognostisk meteorologisk modul som beregner meteorologiske data og et sett av ulike moduler for spredning, kjemi og avsetning. Til studier av punktkilder er det en mulighet for å nøste med gradvis finere oppløsning nær punktkilden/skorsteinen. I denne studien er den meteorologiske modulen nøstet tre ganger, fra et ytre domene på 600 × 600 km² (gridboksoppløsning 15 km), via et mellomdomene på 240 × 240 km² (gridboksoppløsning 6 km) ned til et domene på 60 × 60 km² (2 km oppløsning, se Figur 12), alt sentrert rundt Kårstø.

TAPM bruker synoptiske meteorologiske data⁵ som randbetingelser for å beregne meteorologiske parametre for modelldomenene. I denne studien er inngangsdata for 2010 benyttet og meteorologien er derved representative for år 2010. Som vist i kap. 4.1 er det variasjoner fra år til år av de meteorologiske forhold. Dette gjelder både vind (retning og styrke) og nedbørmengde, samt eksempelvis temperatur (som ikke er diskutert her). Dette gjør at spredning og avsetning av utslippene fra Kårstø også vil variere mellom ulike år. Resultatene fra modellkjøringen presentert her er representative for år 2010, men det bør dog nevnes at andre år med andre meteorologiske forhold ville gitt noe forskjellige resultater. Variasjon fra år til år reflekteres også i konsentrasjon og avsetning av svovel referert i Tabell 4 og Tabell 5.

⁵ innen meteorologi betegner synoptisk skala værsystemer med en størrelsesorden 1000 km eller mer



Figur 12: Indre modelldomene brukt i denne studien. Domenet dekker et område på $60 \times 60 \text{ km}^2$ med 2 km gridoppløsning, dvs. 30×30 bokser.

Initialbetingelser og grensebetingelser for det ytterste modelldomenet er hentet fra LAPS og GASP-modellene fra Bureau of Meteorology (Australia). Fysiske overflateparametre, som eksempelvis topografi, arealbruk og sjøtemperatur (overflate) er hentet fra ulike kilder (US Geological Survey, Earth Resources Observation Systems (EROS) Data Center Distributed Active Archive Center (EDC DAAC) og amerikanske National Center for Atmospheric Research NCAR).

Luftkvalitetsmodulene som brukes i simuleringene er den såkalte Lagrangian Particle Model (LPM) og Plume Rise Module (PRM). LPM er basert på PARTPUFF modellen (Hurley, 1994). PRM, som brukes til punktkildeutslipp, beregner hvordan røykfanen stiger og spres basert skorsteinsdata (kap. 3) og dynamikk. I denne studien antas SO_2 å være kjemisk inert (ingen nedbrytning), men SO_2 gjennomgår både våt- og tørravsetning (tap fra atmosfæren). Fokus i denne studien er konsentrasjoner og avsetning i Kårstø sitt nærområde, og antagelsen om ingen kjemisk nedbrytning er gyldig innenfor en radius av 30 km fra Kårstø (indre modelldomene) gitt at levetiden til SO_2 er typisk en dag (kap 2.1). Videre nedbrytning i jord / vegetasjon er ikke vurdert her.

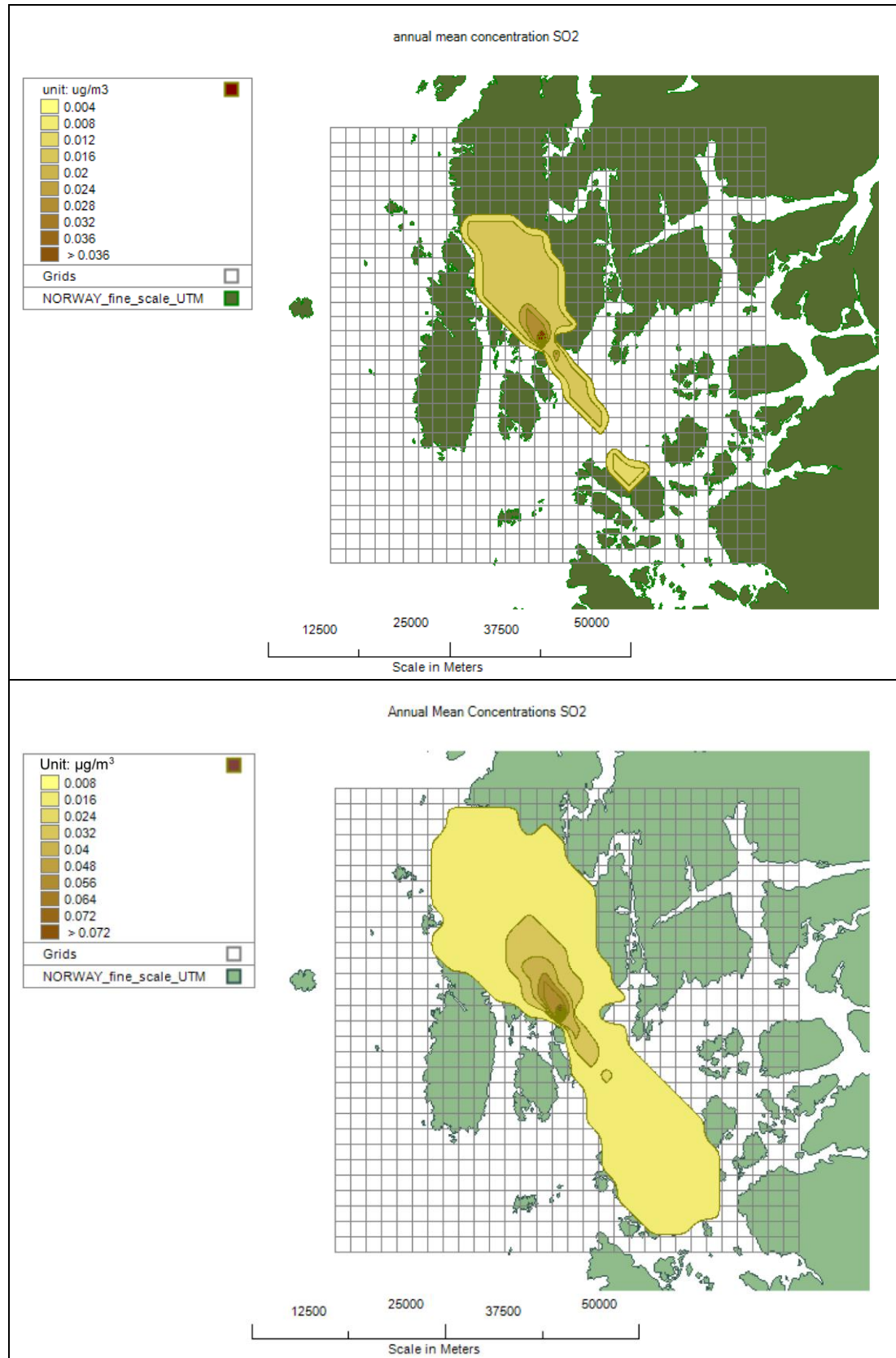
Modellen ble kjørt med to ulike utslippsmengder, 9,1 tonn SO₂/år og 19 tonn SO₂/år. Dette tilsvarer igjen 0,29 g SO₂/s og 0,60 g SO₂/s (kap. 3).

6.2 Årsmiddelkonsentrasjon og avsetning

Resultatene fra modellberegningene er vist i Figur 13 (årsmidlet SO₂), Figur 14 (årsmidlet tørravsetning) og Figur 15 (årsmidlet våtavsetning) beregnet med utslipp lik 9,1 tonn SO₂/år og 19 tonn SO₂/år. Merk at dette er resultater fra modelldomenet med høyest horisontal oppløsning (2×2 km²) sentrert rundt Kårstø.

For årsmidlet konsentrasjon er det et tydelig mønster med høyest konsentrasjon nær utslippspunktet, og så gradvis fortykning nedstrøms i dominerende vindretning. De meteorologiske data for 2010 som er benyttet i beregningene viser vind hovedsakelig fra sør-øst mot nord-vest. Dette avviker noe fra normalen for Utsira (storskala vind) som referert i Figur 6. Men det er visse variasjoner fra år til år i meteorologiske forhold ("vær og vind") og dataene som er benyttet er innenfor det som kan forventes gitt at storskala vind er kanalisert nord-sør (kap. 4.1).

Maksimum beregnet årsmiddel er hhv. 0,04 µg SO₂/m³ og 0,07 µg SO₂/m³ (for utslipp lik 9,1 tonn og 19 tonn pr år). Typisk bakgrunnskonsentrasjonene er 0,48 µgSO₂/m³ (Søgne 2009, se Tabell 4). Derfor vil summen av bidrag fra Kårstø pluss bakgrunn være godt under nasjonal grenseverdi for årsmiddel på 20 µgSO₂/m³ gitt i Tabell 1. Utslipp av SO₂ lik 9,1 tonn/år og 19 tonn/år vil derfor ikke gi konsentrasjoner som overskrider gjeldende grenseverdier for årsmiddel.



Figur 13: Beregnet årsmiddelkonsentrasjon av SO₂ for utslipp lik 9,1 tonn SO₂/år. (øvre panel) og 19 tonn SO₂/år (nedre panel). Merk forskjell i skala for de to bildene. Enhet: µg/m³.

Maksimum beregnet tørravsetning er hhv. 0,24 mgS/(m² år) og 0,51 mgS/(m² år) for utslipp lik 9,1 tonn og 19 tonn pr år (Figur 14). Tilsvarende for våtavsetning hvor maksimum beregnet verdi er hhv. 4,36 mgS/(m² år) og 9,11 mgS/(m² år) (Figur 15). Gjennomsnittlig total avsetning (tørr + våt) for hele indre modellomene (60×60 km²) de to beregningene er hhv. 0,42 mgS/(m² år) og 0,88 mgS/(m² år).

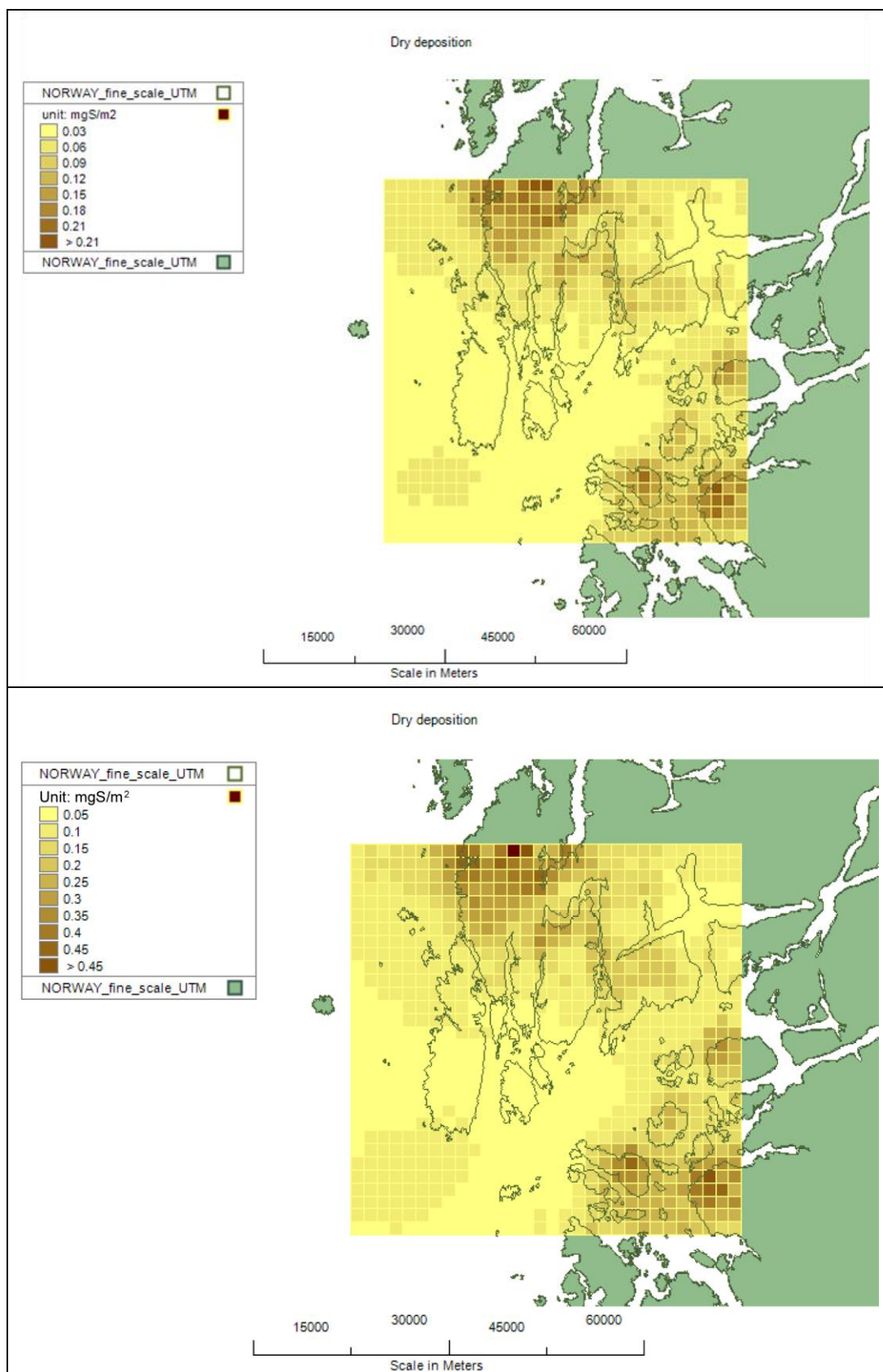
Tallene og figurene viser klart hvordan våtavsetning er større enn tørravsetning og den viktigste tapsprosessen for svovel. Dette stemmer også overens med de beregnede tallene for avsetning på Birkenes gitt i kap. 4.2 (10% tørravsettes).

Tørravsetning og våtavsetning har ikke maksimum på samme geografiske sted. Tørravsetning er styrt av bakkekonsentrasjonen, 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 (SO₂ er tyngre vannløselig, sulfat er fullt vannløselig). 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 total avsetning som også ligger til grunn for beregningene for overflatevann diskutert i kap. 7. Maksimum beregnet totalavsetning er hhv. 4,41 mgS/(m² år) og 9,20 mgS/(m² år) for utslipp lik 9,1 tonn og 19 tonn pr år (sum av Figur 14 og Figur 15).

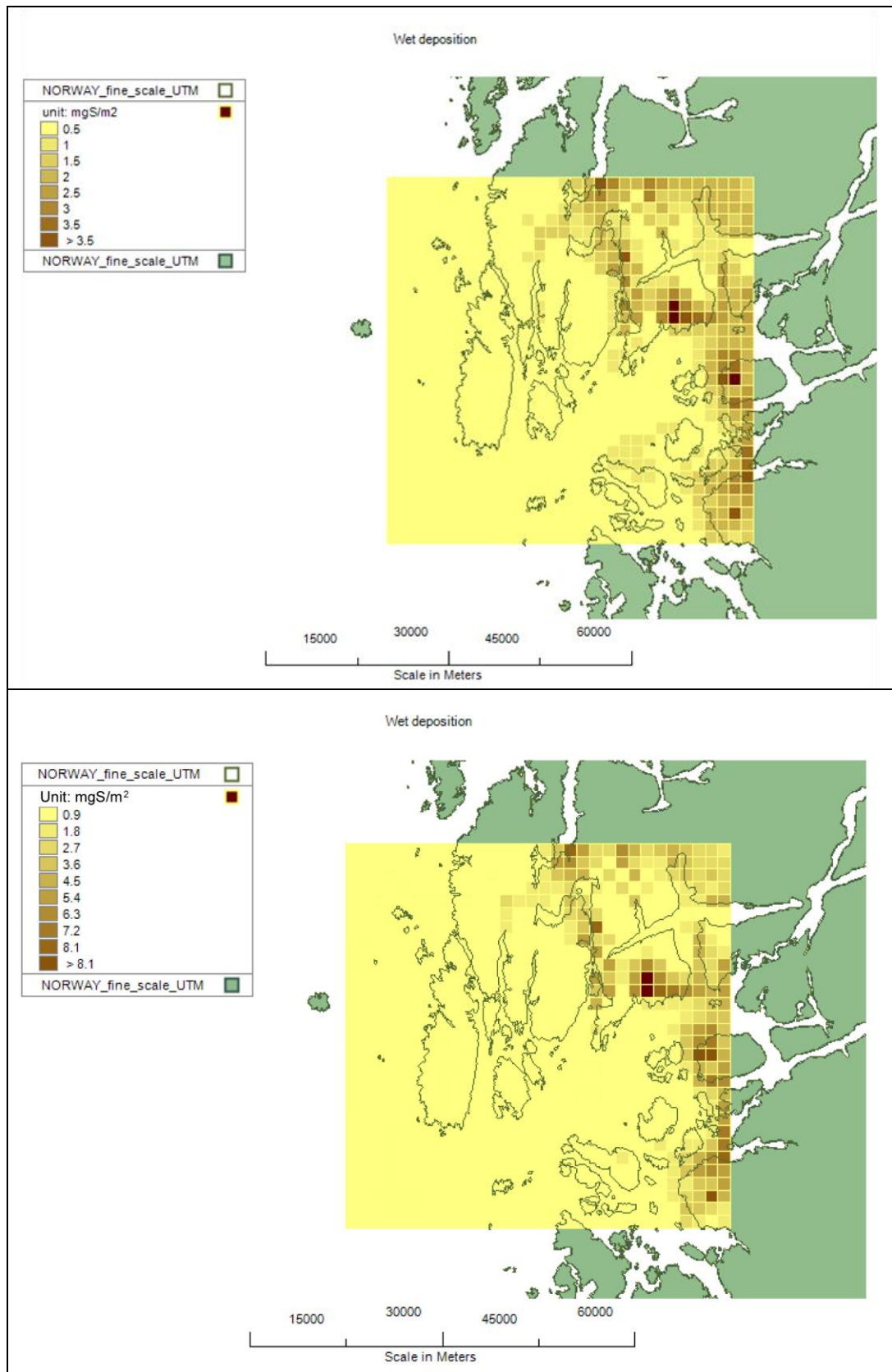
Det eksisterer ikke data for tørravsetning på stasjonene Søgne og Vikedal. Men gitt verdiene for våtavsetning som varierer mellom 430 mgS/m² og 592 mgS/m² (Tabell 5) og maksimal avsetning pga. utslippene fra Kårstø (4,36 mgS/(m² år) og 9,11 mgS/(m² år) så utgjør bidraget fra Kårstø maksimalt 1 til 2% av bakgrunnsavsetning. Maksimum gjelder for en modellrute (2×2 km²). Hvis middelverdien for hele indre modellomene vurderes (0,88 mgS/(m² år) for utslipp lik 19 tonn/år), så utgjør bidraget fra Kårstø under 2‰.

EMEP-modellen beregner total avsetning til 433 mgS/m² for 2008 (kap. 4.2), dette gjelder for en modellrute 50×50 km². Beregnet avsetning gitt dagens utslipp (19 tonn/år) er maksimalt 9,20 mgS/(m² år), igjen gjelder dette for en modellrute 2×2 km². Økte utslipp fra Kårstø vil da utgjøre maksimalt 2% av total avsetning (beregnet for et område 2×2 km²).

Uansett regnemåte blir foreløpig konklusjon at bidraget fra Kårstø vil utgjøre maksimalt 1 til 2% av eksisterende bakgrunnskonsentrasjon. Hvis midlet avsetning over et større område vurderes er bidraget fra Kårstø maksimalt 2‰. Men Kårstø ligger i et område nær eller over tålegrensen for forsurening av overflatevann (kap. 2.4.3). Ytterligere beregninger av mulige overskridelser av tålegrensene er derfor utført og blir presentert i kap. 7.



Figur 14: Beregnet årsmidlet tørravsetning av svovel for utlipp lik 9,1 tonn SO_2 /år (øvre panel) og 19 tonn SO_2 /år (nedre panel). Merk forskjell i skala for de to bildene. Enhet: mgS/m^2 .



Figur 15: Beregnet årsmidlet våtavsetning av svovel for utlipp lik 9,1 tonn SO_2 /år (øvre panel) og 19 tonn SO_2 /år (nedre panel). Enhet: mgS/m^2 .

7 Konsekvenser av økt SO₂ utslipp på Kårstø - effekter på overflatevann

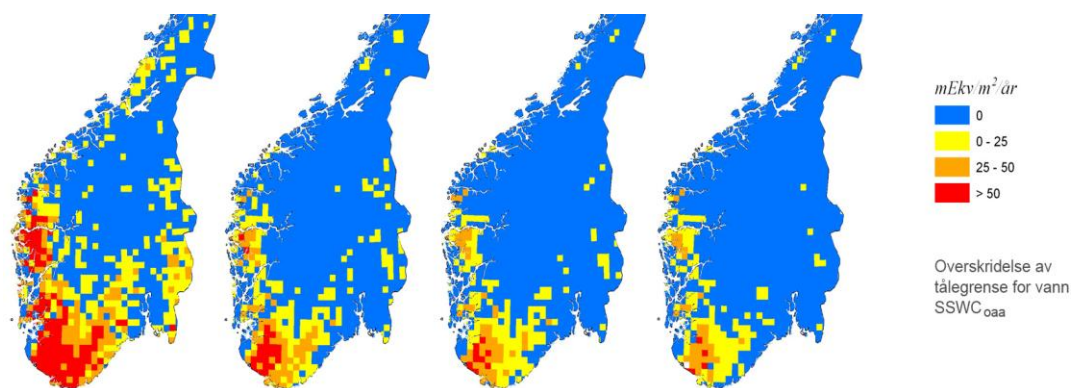
7.1 Overskridelser av tålegrenser for forsuring

Beregning av overskridelser av tålegrenser for forsuring av overflatevann er basert på dagens avsetning av svovel- og nitrogenforbindelser og tilgjengelige vannkjemiske data. NILU har beregnet avsetning av nitrogen og svovel basert på målinger av luft- og nedbørkjemi. De målte verdiene er et resultat av både lokal og langtransportert forurensing. Avsetningsberegningene er gjort for en periode på 5 år. Den siste tilgjengelige perioden er 2002-2006 (Aas, Hjellbrekke et al. 2008). Kontinuerlige avsetningsverdier fra NILU er fordelt på NIVAs rutenett. Hver rute er definert ved 1° lengde og 0,5° bredde, og er delt opp i 16 underruter.

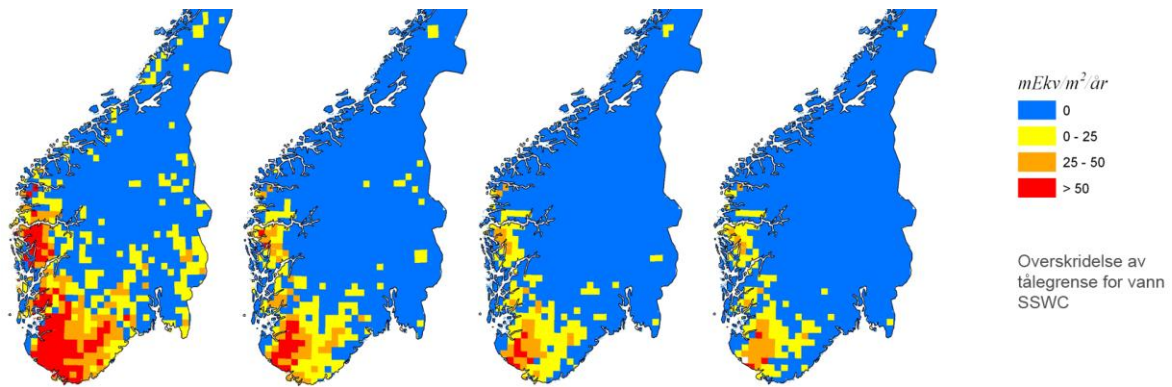
Figur 16, Figur 17 og Figur 18 nedenfor er hentet fra Larssen et al.(2008) og viser kart for periodene 1978-1982, 1992-1996, 1997-2001 og 2002-2006. Avsetningen av svovel i Europa, inkludert Norge, har avtatt betydelig siden 1970-tallet, og nedgangen har fortsatt også fra perioden 1997-2001 til perioden 2002-2006. Men endringene fra år til år er mindre i siste periode enn de var på 1970-tallet. Avsetningen av nitrogen viser ikke samme tydelige nedgang og viste i Norge i perioden 2002-2006 en liten økning i forhold til perioden 1997-2001.

Overskridelser av tålegrenser for overflatevann er beregnet med to modeller: Steady State Water Chemistry (SSWC) og First Order Acidity Balance (FAB). SSWC-modellen er benyttet i to varianter: med og uten justering for organiske syrer i grenseverdien, betegnet henholdsvis SSWC_{oaa} og SSWC.

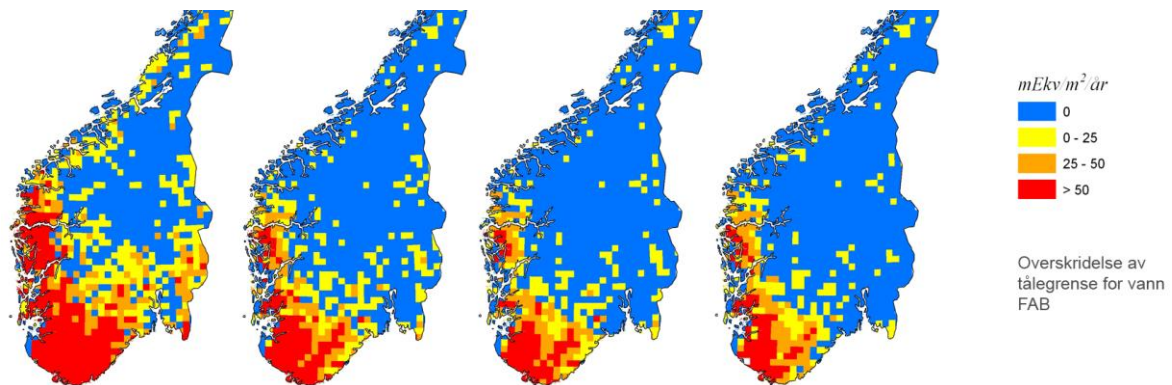
SSWC-modellene gir et "best case" estimat for overskridelsene. SSWC_{oaa} viser at 10 % av Norges areal har overskridelser av tålegrensene. Hvis man ekskluderer organiske syrer, viser SSWC at 8 % av arealet har overskridelser. FAB-modellen gir et "worst case" estimat (antar full nitrogenmetning og bidrag til forsuring fra nesten all nitrogenavsetning). Den viser at 18 % av Norges areal har overskridelser av tålegrensene.



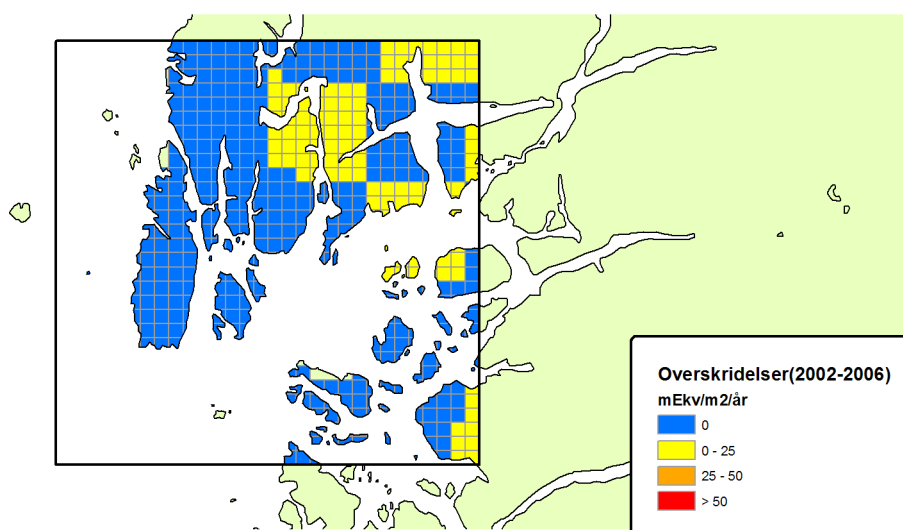
Figur 16: Beregnet overskridelse av tålegrenser for forsuring av overflatevann med bruk av SSWC_{oaa}-modellen i periodene 1978-1982, 1992-1996, 1997-2001 og 2002-2006.



Figur 17: Beregnet overskridelse av tålegrenser for forsurening av overflatevann med bruk av SSWC-modellen i periodene 1978-1982, 1992-1996, 1997-2001 og 2002-2006.



Figur 18: Beregnet overskridelser av tålegrenser for forsurening av overflatevann med bruk av FAB-modellen i periodene 1978-1982, 1992-1996, 1997-2001 og 2002-2006.



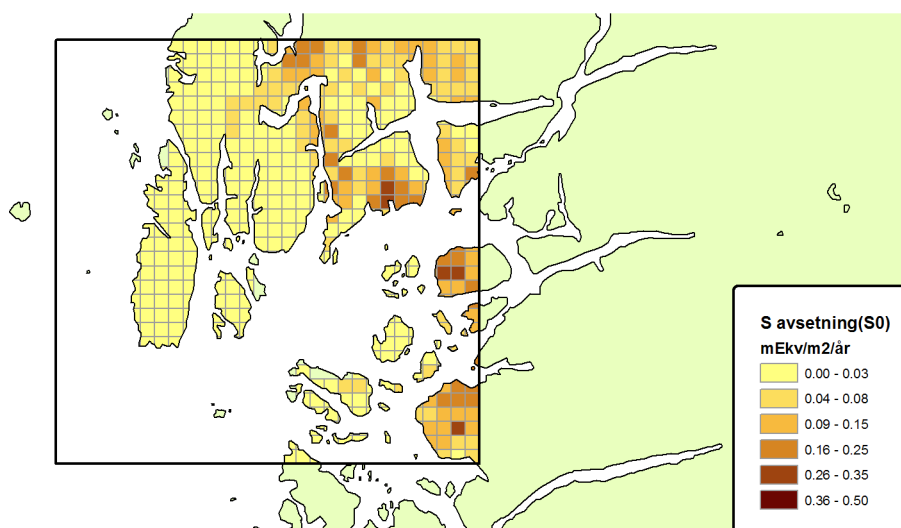
Figur 19: Beregnet overskridelse av tålegrenser for forsurening av overflatevann med bruk av SSWCoaa-modellen i influensområdet rundt Gasscos anlegg på Kårstø.

Tålegrensekartene viser at sør-vestre del av Norge, der Kårstø ligger, er mest utsatt når det gjelder forsuring av overflatevann. Det finnes også kalkede lakseførende vassdrag i nærheten av influensområdet, bl.a. Vikedalselva som ligger ca 30 km nordøst for Kårstø. Vikedalselva har vært kalket siden 1987, etter at utstrakt fiskedød pga surt vann ble observert under snøsmeltingen i flere år (<http://www.vikedalselva.no/driftsplan.php>).

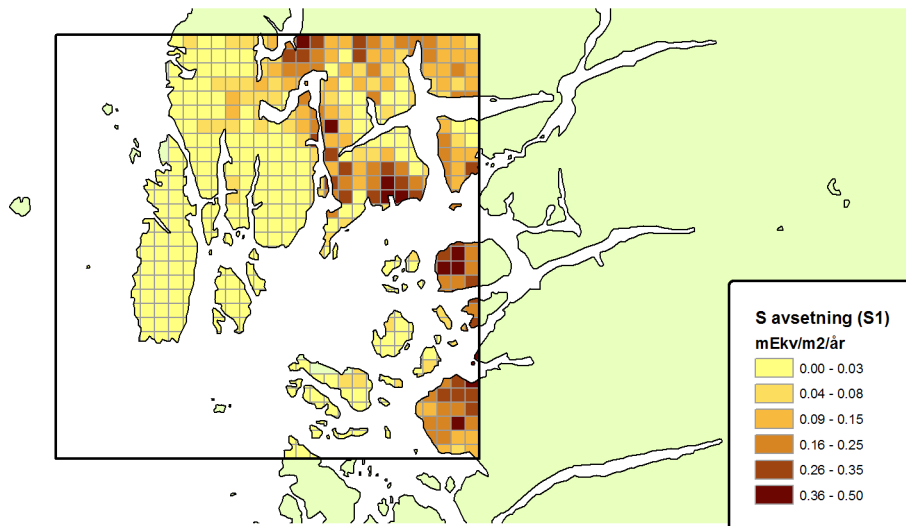
Et kartutsnitt med en mer detaljert fremstilling av overskridelsene i influensområdet rundt Gascos anlegg på Kårstø er vist i *Figur 19*. Beregningene er gjort med SSWCoaa-modellen for perioden 2002-2006.

7.2 Svovelavsetninger ved scenarier med økte utslipp

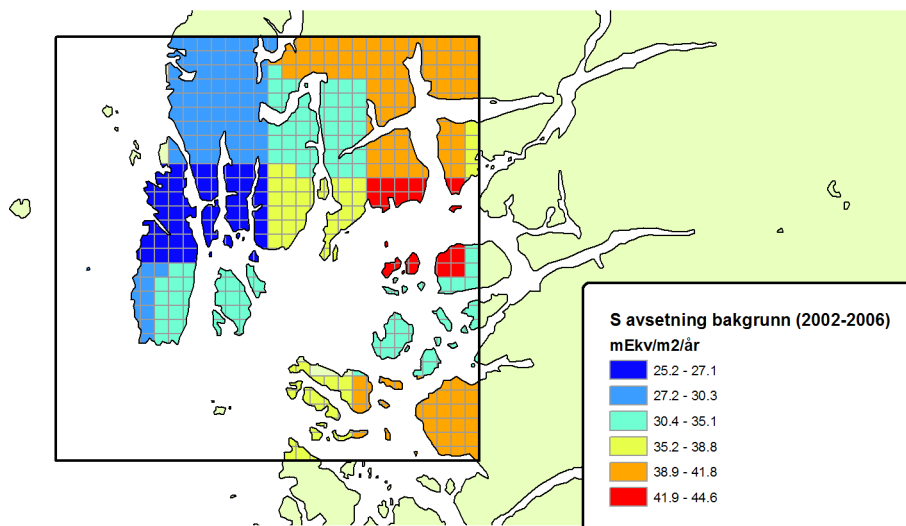
Beregnet avsetningen av svovel (S) i influensområdet rundt Gascos anlegg på Kårstø ved utslipp av h.h.v. 9,1 tonn SO_2 /år (S_0) og 19 tonn SO_2 /år (S_1) er vist i *Figur 20* og *Figur 21*.



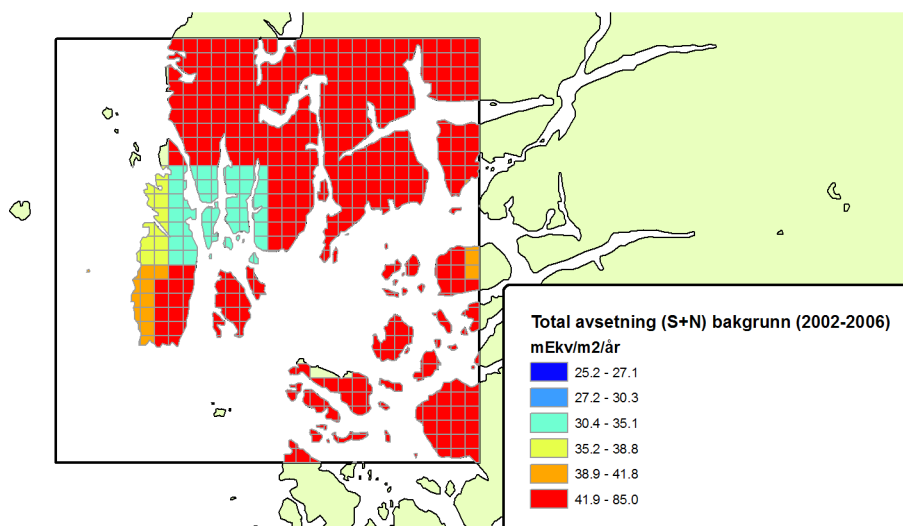
Figur 20: Avsetningen av svovel (S) i mEqv/m²/år i influensområdet rundt Gascos anlegg på Kårstø ved utslipp av 9,1 tonn SO_2 /år (S_0).



Figur 21: Avsetningen av svovel (S) i mEkv/ m²/år i influensområdet rundt Gascos anlegg på Kårstø ved utslipp av 19 tonn SO₂/år (S1).



Figur 22: Bakgrunnsavsetning av svovel (S) i mEkv/m²/år (perioden 2002 – 2006) i influensområdet rundt Gascos anlegg på Kårstø.



Figur 23: Totalavsetning av svovel og nitrogen (S+N) i mEqv/ m²/år (perioden 2002 – 2006) i influensområdet rundt Gascos anlegg på Kårstø.

8 Konklusjon

Modellberegninger for to utslippsmengder/scenarier; 9,1 tonn SO₂/år og 19 tonn SO₂/år viser at maksimalt beregnet timemiddel konsentrasjon av SO₂ innenfor Kårstø's anlegg (0,6 µg/m³ og 1,2 µg/m³) er langt lavere enn administrativ norm på 2 mg/m³, for de to utslippsscenarioer. Maksimalt beregnet timemiddel utenfor Kårstø's anlegg er 0,8 µg/m³ og 1,6 µg/m³. Gitt at bakgrunnsverdi i området også er lave (Søgne 2009) er verdiene klart under gjeldende nasjonal grenseverdi (350 µg/m³ som timeverdi).

Maksimum beregnet årsmiddel SO₂ konsentrasjon for de to utslippsscenarioer er 0,04 µg/m³ og 0,07 µg/m³. Gitt bakgrunnsverdi rundt 0,5 µg/m³ (Søgne 2009) er verdiene klart under gjeldende nasjonal grenseverdi (20 µg/m³ som årsmiddel).

Maksimum beregnet tørravsetning for de to utslippsscenarioer er 0,24 mgS/(m² år) og 0,51 mgS/(m² år). Tilsvarende for våtavsetning hvor maksimum beregnet verdi er hhv. 4,36 mgS/(m² år) og 9,11 mgS/(m² år). Gjennomsnittlig total avsetning for indre modelldomene (60×60 km²) er hhv. 0,42 mgS/(m² år) og 0,88 mgS/(m² år). Gitt at eksisterende avsetning er rundt 400-500 mgS/(m² år) vil bidraget fra Kårstø gitt utslipp 19 tonn SO₂/år utgjøre mellom 2‰ (for hele indre modelldomene nær Kårstø, 30×30 km²) og 2% (ruten der maksimumsverdien forekommer) for avsetning. Men Kårstø ligger i et område nær eller over tålegrensen for forsuring av overflatevann og ytterligere beregninger var påkrevet.

Svovelavsetning bidrar til forsuring av vegetasjon, skogsjord og overflatevann. Det er vurdert i dette studiet at det ikke er risiko for overskridelser av økosystemets tålegrenser for forsuring av vegetasjon og skogsjord på grunn av Kårstø's økte SO₂ utslipp.

Den økte avsetningen av svovel som følge av de eventuelle økte utslipp ved Gascos anlegg på Kårstø er relativt liten i forhold til totalavsetningen i området.

Det betyr at de økte utslippene ikke vil føre til målbare endringer i forsureningseffekter på overflatevann, blant annet siden variasjonen i avsetning fra år til år er betydelig større enn bidraget fra Gasscos anlegg.

Imidlertid vil endringer i avsetningen komme i et område hvor store deler av landarealet enten har overskredet tålegrensen for forsurening av overflatevann eller ligger nær overskridelse, og hvor eksisterende avsetning av svovel- og nitrogenforbindelser har ført til skader på vannkjemi og -biologi. Det finnes også lakseførende vassdrag i nærheten av influensområdet som kalkes. Den eksisterende avsetning er en sum av mange utslippskilder og effekter kan ikke tilskrives bidrag fra enkeltutslipp spesielt. I det perspektivet kan også utslipp fra Gasscos anlegg på Kårstø bidra til en ytterligere belastning, og til å opprettholde forsurening av overflatevann som et problem i influensområdet.

9 Referanser

- Aamlid, D., Røsberg, I. (2008) Overvåking av bjørkeskog på Kårstø, Tysvær, Rogaland. Ås, Norsk institutt for skog og landskap (Oppdragsrapport fra Skog og landskap 07/2008).
- Aamlid, D., Røsberg, I. (2000) Økosystemovervåking av bjørkeskog på Kårstø, Tysvær, Rogaland. Sluttrapport. Ås, Norsk institutt for skogforskning (Oppdragsrapport fra NISK 11/00).
- Aas, W., Solberg, S., Manø, S., Yttri, K.E. (2011) Overvåking av langtransportert forurenset luft og nedbør. Atmosfærisk tilførsel 2010. Kjeller, Norsk institutt for luftforskning (Statlig program for forurensningsovervåking. Rapport 1099/2011) (NILU OR 29/2011).
- Aas, W., Solberg, S., Manø, S., Yttri, K.E. (2010) Overvåking av langtransportert forurenset luft og nedbør. Atmosfærisk tilførsel 2009. Kjeller, Norsk institutt for luftforskning (Statlig program for forurensningsovervåking. Rapport 1074/2010) (NILU OR 33/2010).
- Aas, W., Hjellbrekke, A.-G., Hole, L.R., Tørseth, K. (2008) Deposition of major inorganic compounds in Norway 2002-2006. Kjeller, Norwegian Institute for Air Research (NILU OR 72/2008).
- Attalla, M., Azzi, M. (2010) Environmental impacts of emissions from CO₂ capture Oral presentation at IEAGHG conference, Oslo 16th February 2010.
- 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.
- Gjerstad, K.I., Knudsen, S. (2004) Nitrogenavsetning som følge av utslipp av NO_x og NH₃ fra gasskraftverk med rensing med SCR anlegg på Kårstø og Kollsnes. Kjeller, Norsk institutt for luftforskning (NILU OR 07/2004).

- Haugsbakk, I. (2004) Luftkvalitetsmålinger omkring gassprosesseringsanlegg på Kårstø. April 2003-mars 2004. Kjeller, Norsk institutt for luftforskning (NILU OR 48/2004).
- Henriksen, A., Buan, A.K. (2000) Tålegrenser og overskridelse av tålegrenser for overflatevann, skogsjord og vegetasjon i Norge. Oslo, Norsk institutt for vannforskning (NIVA-rapport 4179-2000).
- Henriksen, A., Lien, L., Traaen, T., Sevalrud, I., Brakke, D.F. (1988) Lake acidification in Norway - present and predicted chemical status. *Ambio*, 17, 259-266.
- Henriksen, A., Posch, M. (2001) Steady-state models for calculating critical loads of acidity for surface waters. *Water Air Soil Pollut, Focus*, 1, 375-398.
- Larssen, T., Lund, E., Høgåsen, T. (2008) Overskridelser av tålegrenser for forsurening og nitrogen for Norge - oppdatering med perioden 2002-2006. Oslo, Norsk institutt for vannforskning (NIVA-rapport 5697-2008).
- Larssen, T., Høgåsen, T. (2003) Tålegrenser og overskridelser av tålegrenser i Norge. Oslo, Norsk institutt for vannforskning (NIVA-rapport 4722-2003).
- Karl, M, Wright, R.F., Berglen, T.F. (2011) Impact of amine emissions from a CO₂ capture plant. *Int. J. Greenhouse Gas Contr.*, 5, 439-447.
- Knudsen, S., Skjelkvåle, B.L., Aarrestad, P.A. (2002) Effekter av økte nitrogenoksidutslipp til luft fra Kårstøanleggene i Rogaland. Kjeller, Norsk institutt for luftforskning (NILU OR 39/2002).
- Gassco (2011) Kårstø prosessanlegg. URL:
<http://www.gassco.no/wps/wcm/connect/gassco-no/gassco/home/var-virksomhet/prosessanlegg/karsto> [2011-07-06].
- 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).
- TAPM (2009) The Air Pollution Model (TAPM). Hobart, CSIRO. URL:
<http://www.cmar.csiro.au/research/tapm> [2011-07-07].
- Tønnesen, D. (2006) Spredningsberegninger for utslipp til luft fra et gasskraftverk med CO₂ fangstanlegg på Kårstø. Kjeller, Norsk institutt for luftforskning (NILU OR 95/2006).
- Tønnesen, D. (1995) Luftkonsentrasjoner av nitrogendioksyd på Kårstø 1986-1995. Kjeller, Norsk institutt for luftforskning (NILU OR 28/95).
- Tønnesen, D., Haugsbakk, I. (1995) Luft- og nedbørkvalitet på Kårstø: Vinteren 1994/95. Kjeller, Norsk institutt for luftforskning (NILU OR 40/95).

World Health Organization (2006) WHO air quality guidelines global update 2005. Report on a Working Group meeting, Bonn, Germany, 18-20 October 2005. Copenhagen, WHO.

RAPPORTTYPE OPPDRAGSRAPPOART	RAPPORT NR. OR 49/2011	ISBN: 978-82-425-2453-9 (trykt) 978-82-425-2454-6 (elektronisk) ISSN: 0807-7207	
DATO 24.11.2011	ANSV. SIGN. 	ANT. SIDER 40	PRIS NOK 150,-
TITTEL SO ₂ Kårstø Miljøkonsekvenser av økte utslipp		PROSJEKTLEDER Tore Flatlandsmo Berglen	
		NILU PROSJEKT NR. O-111075	
FORFATTER(E) Tore Flatlandsmo Berglen, Tore Høgåsen, Li Liu, Dag Tønnesen og Bente M. Wathne		TILGJENGELIGHET * A	
		OPPDRAGSGIVERS REF. Kirsten Louise Bolstad Halvorsen / Arild Klyve	
OPPDRAGSGIVER Gassco			
STIKKORD Spredningsberegninger	Industriutslipp	Avsetning og tålegrenser	
REFERAT Norsk Institutt for luftforskning (NILU) har gjort spredningsberegninger av utslipp til luft.			
TITLE SO ₂ Kårstø. Environmental consequences from increased emissions.			
ABSTRACT Norwegian Institute for Air Research (NILU) has performed dispersion calculations of emissions to air.			

* Kategorier

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

REFERANSE: O-111075
DATO: NOVEMBER 2011
ISBN: 978-82-425-2453-9 (trykt)
978-82-425-2454-6 (elektronisk)

NILU 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.