

Statens Forurensingstilsyn
v/ Anne-Grethe Kolstad
Postboks 8100 Dep
0032 Oslo



Deres dato / Your date

Deres ref. / Your ref.

Vår dato / Our date
24.11.2004

Vår ref. / Our ref.
NK-2004-00349

ORIENTERING OM ENDRINGER I GODKJENT VIRKSOMHET – SØKNAD OM OPPDATERING AV UTSLIPPSTILLATELSE

Det vises til møter 4 og 10 november 2004, hvor Naturkraft orienterte om den beslutning eierne av selskapet traff i september vedrørende utnyttelse av de to konsesjoner Naturkraft innehar til å bygge og drive gasskraftverk på Kårstø og Kollsnes. Disse møtene ble bl a avholdt under henvisning til kravet i Naturkrafts utslippstillatelser om at selskapet skal gi SFT en redegjørelse for virksomhetens omfang dersom tillatelsen ikke er tatt i bruk innen fire år etter at den trådte i kraft, jf kgl res 6 juli 2001 hvor klagen over Miljøverndepartementets omgjøringsvedtak ble avvist.

BAKGRUNN

Naturkraft innehar utslippstillatelser for to gasskraftverk på Kårstø og Kollsnes. Utslippstillatelsene ble gitt av SFT 6 oktober 2000 i henhold til Miljøverndepartementets vedtak om omgjøring, og endelig stadfestet etter at klagen over departementets omgjøringsvedtak ble avvist ved kgl res 6 juli 2001.

Den konsesjonsbehandlede virksomhet er to gasskraftverk med installert effekt på ca 380-390 MW hver, til sammen 760-780 MW. Leverandørene av gassturbiner har imidlertid utviklet teknologien etter at utslippstillatelsene ble tildelt. Et gasskraftverk basert på beste tilgjengelige teknologi av den type Naturkraft har fått konsesjon for leveres derfor nå med en høyere installert effekt enn tidligere. De tillatte utslippsmengder i utslippstillatelsene er basert på den virksomhetsbeskrivelse som utgjorde best tilgjengelig teknologi for denne typen gasskraftverk i 1997.

De to utslippstillatelsene gir Naturkraft rett til å etablere en virksomhet med en årlig produksjon på ca. 6 TWh som bl a vil medføre et samlet årlig utslipp av 2 240 000 tonn CO₂ og ca 300 tonn NO_x, evt ca 1350-1400 tonn NO_x dersom selskapet benytter tredjepartstiltak for reduksjon av NO_x-utslipp fra andre kilder. Beslutningen som Naturkrafts eiere nå har truffet innebærer imidlertid at det kun vil være gasskraftverket på Kårstø som realiseres. Den virksomhet selskapet har rett til å etablere på Kårstø i medhold av eksisterende utslippstillatelse, vil ha en årlig energiproduksjon på 3,0 TWh og gi et årlig utslipp av 1 120 000 tonn CO₂ og 150 tonn NO_x, evt opp til 700 tonn NO_x dersom tredjepartstiltak benyttes.

I forbindelse med saksbehandlingen av konsesjonssøknadene og de senere utslippstillatelser gjennomførte Naturkraft et omfattende konsekvensutredningsprogram. Senere er det også gjennomført utredninger av konsekvensene av å ta i bruk et renseanlegg for NO_x. Selv om utslippstillatelsene åpner for at Naturkraft kan benytte seg av tredjepartstiltak for å møte kravene til NO_x-utslipp, planlegger selskapet nå å ta i bruk et såkalt SCR-reseanlegg i eget anlegg. Dette vil redusere NO_x-utslippene fra eget anlegg betydelig, men medfører også utslipp av NH₃. Dette innebærer en endring av den tidligere

konsesjonsbehandlete virksomhet, og Naturkraft har derfor behov for en endring av utslippstillatelsen slik at SCR-renseanlegg kan benyttes, jf pkt 0 nedenfor.

Den endring av virksomheten som følger av den teknologiske utvikling, medfører også behov for en justering av den anleggskonsesjon Naturkraft har fått i henhold til energiloven. Søknad om slik justering er følgelig sendt Norges Vassdrags- og Energidirektorat (NVE) samtidig med denne søknad.

UTVIKLING AV BAT FOR GASSKRAFTER/TURBINER

Basert på opplysninger Naturkraft har mottatt fra leverandørindustrien og innhentet fra uavhengige aktører, har den teknologiske utvikling av gasturbiner nå ført til at et gasskraftverk av den type Naturkraft har fått konsesjonsbehandlet (CCGT) vil ha en installert effekt på opp mot 430 MW, dvs drøyt 10% høyere effekt enn det som var best tilgjengelig teknologi da utslippstillatelsen ble gitt og opp mot 23% høyere effekt enn da anleggskonsesjonen ble gitt.

Denne utviklingen samt økning i forventet brukstid øker produksjonsmuligheten til ca 3,5 TWh, dvs drøyt 13% mer enn da utslippstillatelsen ble gitt, og ca 22 % mer enn da anleggskonsesjonen ble gitt.

Samtidig øker gassforbruket fra 550 mill Sm³/år til ca 600 Sm³/år, dvs med 10% i forhold til utslippstillatelsen. Økningen i gassforbruk vil medføre en økning i CO₂-utslippet fra 1 120 000 mill tonn/år til 1 240 000 mill tonn/år, dvs med ca 10%. For så vidt gjelder håndteringen av dette økte CO₂-utslippet i forhold til eksisterende utslippstillatelse, vises til regjeringens forslag til klimakvotelov, jf Ot prp nr 13 (2004-2005). Gasskraftverk vil være omfattet av kvotesystemet, og dersom lovforslaget blir vedtatt, vil Naturkraft forholde seg i samsvar med dette. Søknad om tildeling av kvoter for den aktuelle periode i 2007 vil således bli innlevert innen fristen 15 januar 2005 og i henhold til de retningslinjer som vil bli utarbeidet.

Naturkraft legger til grunn at utslippstillatelsens grenseverdi på 550 mill Sm³/år er satt for å sikre at selskapet benytter best tilgjengelig teknologi for å oppnå en tilfredsstillende energieffektivitet. I den sammenheng vises det til at økningen i energiproduksjon øker mer enn gassforbruket, noe som demonstrerer at energieffektiviteten er økt i forhold til utslippstillatelsens forutsetninger. Det vises til at virkningsgraden i kraftverket øker med ca 2 prosentpoeng.

Naturkraft vil på denne bakgrunn be SFT endre grensen for tillatt årlig gassforbruk fra 550 Sm³ til ca 600 Sm³.

BRUK AV SCR-RENSEANLEGG (SELECTIVE CATALYTIC REDUCTION)

Som nevnt innledningsvis har Naturkraft utslippstillatelse på Kårstø for 150 tonn NO_x pr år, med en konsentrasjonsgrense på 5 ppm (parts per million). Da dette utslippsnivået ble fastsatt fantes det ikke kommersielt tilgjengelig teknologi som kunne tilfredsstille kravet, men ulike typer renseteknologi ble vurdert i forbindelse med behandlingen av utslippstillatelsen, bl a såkalt selektiv katalytisk reduksjon (SCR).

SCR-renseanlegg benytter ammoniakk (NH_3) som reduksjonsmiddel i renseprosessen. Denne renseteknologien gir derfor et lite restutslipp av NH_3 -molekyler, jf vedlegg 1 som gir en nærmere beskrivelse av SCR-teknologien.

Konsekvensanalysen¹ som lå til grunn for utslippstillatelsen viste at avsetningene i naturen fra ammoniakktutslipp var høye, og det ble derfor anbefalt av Norsk Institutt for Luftforskning (NILU) at SCR-rensning ikke ble tatt i bruk før utslipp av ammoniakk var redusert. SFT fulgte denne anbefalingen.

Blant annet på grunn av status for renseteknologi har myndighetene på visse betingelser åpnet for at Naturkraft kan ta i bruk tredjepartstiltak som alternativ til å rense NO_x -utslipp i eget anlegg.

Naturkraft har likevel videreført vurderingene av ulike typer renseteknologi i perioden etter at utslippstillatelsen ble endelig tildelt. SCR har utviklet seg til å bli den foretrukne teknologien for reduksjon av NO_x -utslipp de steder i verden der det er spesielt strenge krav om reduksjon av NO_x -utslipp.

Samtidig har NILU videreutviklet sine modeller for spredning og avsetning av utslipp av NO_x og NH_3 . Spesielt er de matematiske modellene for beregning av avsetning fra NH_3 betydelig oppdatert, og det er nå mulig å gi en langt mer presis beskrivelse av hvordan spredning og avsetning av NH_3 skjer. Simuleringer utført av NILU med det nye modellverktøyet viser at avsetningene av NH_3 i naturen er svært mye lavere enn tidligere antatt; mens beregningene i 1997 viste avsetninger på 203 mgN/m^2 i det punktet der avsetningene var mest konsentrert viser de beregningene at den reelle avsetningen av dette NH_3 -utslippet isolert sett er $3,8 \text{ mgN/m}^2$. NILU har derfor trukket tilbake sin tidligere anbefaling om at SCR ikke burde benyttes.

I den opprinnelige konsekvensutredningen fra 1997 vurderte NILU virkningene av et NO_x -utslipp på ca 700 tonn pr år med en konsentrasjonsgrense på 25 ppm og et utslipp på 150 tonn pr år med en konsentrasjonsgrense på 5 ppm. Dersom Naturkraft må benytte seg av den mulighet som utslippstillatelsen gir til å ta i bruk tredjepartstiltak for å møte utslippstillatelsens krav, vil NO_x -utslippet fra gasskraftverket bli i størrelsesorden 700 tonn pr år. I nærområdet for kraftverket vil dette gi årlige nitrogenavsetninger på 25 mg N/m^2 . Dersom utslippet av NO_x fra gasskraftverket holdes innenfor 150 tonn pr år, viser NILUs konsekvensutredning fra 1997 at den maksimale årlige avsetning av nitrogen blir ca 6 mg N/m^2 .

Naturkraft ønsker imidlertid å benytte SCR-renseteknologi for å redusere NO_x -utslippet i eget anlegg. Basert på tilbakemeldinger fra leverandører og Naturkrafts egne vurderinger, legger selskapet nå til grunn at dette vil gi et maksimalt årlig NH_3 -utslipp på 63 tonn, samtidig som utslippstillatelsens nåværende utslippsgrenseverdi for NO_x på 150 tonn/år kan overholdes.

Basert på NILUs oppdaterte modellapparat vil et slikt utslippsnivå gi en maksimal årlig avsetning av nitrogen på $6,5 \text{ mg N/m}^2$. En slik endring av den konsesjonsbehandlede virksomhet som bruk av SCR-renseanlegg innebærer, fører med andre ord til at de maksimale årlige nitrogenavsetninger øker fra $6,0$ til $6,5 \text{ mg N/m}^2$.

¹ ISBN: 82-425-0939-5 Konsekvenser av utslipp av NO_x og NH_3 til luft fra gasskraftverk, NILU 1997

Naturkraft har fått utredet konsekvensene av denne økningen, og det vises her til NILUs rapporter fra februar 2004 (OR 7/2004²) og til tilleggsrapport 19 november 2004 utarbeidet av NILU i samarbeid med NIVA og NINA.³ Førstnevnte rapport baserer seg på et årlig utslipp på 54 tonn NH₃ og 177 tonn NO_x mens tilleggsnotatet vurderer konsekvensene av de aktuelle utslippene på 63 tonn og 150 tonn NO_x årlig.

NILUs analyse fra februar 2004 konkluderer slik:

"Beregningene med de nye versjonene av modellen viser at avsetningsnivåene blir lave. Det er fremdeles slik at avsetning av NH₃ er større enn avsetning av NO₃. Konklusjonen fra tidligere rapporter (Knudsen et al. 1997a og Knudsen et al. 1997b) der NILU anbefalte ikke å bruke SCR-rensing vil ikke være riktige ved de nye beregningene, dels fordi de estimerte nivåene er små og dels fordi bidraget til avsatt nitrogen fra NH₃ relativt til avsatt NO₃ er mindre."

Tilleggsrapporten 19 november 2004 konkluderer slik:

Beregningene viser at bidraget fra gasskraftverkene er små i forhold til avsetningen i områdene i dag. Ved Kårstø er maksimal estimert avsetning 6,5 mg N/m² per år over et areal på 100 km². Total avsetning i området er estimert til 830-1320 mg N/m² per år. Det ekstra bidraget fra gasskraftverket utgjør maksimalt ca 0,6 % av dagens avsetning.

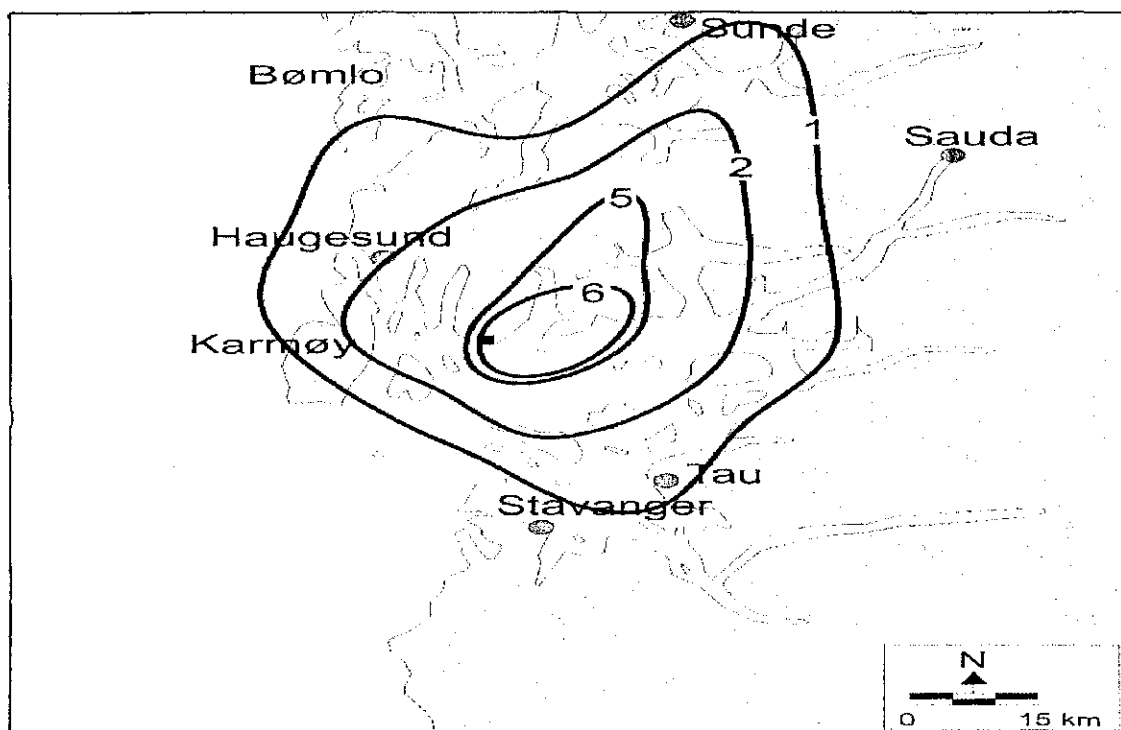
Konklusjonene fra disse utredningene av avsetningsnivåene kan kort sammenfattes slik:

- Avsetningene av NO_x er ca 40% lavere enn tidligere beregnet.
- Avsetningene av NH₃ er betydelig lavere enn tidligere beregnet.
- Samlede avsetninger av NH₃ og NO_x er 6,5 mg N/m².
- Denne avsetningen tilsvarer 0,6% av dagens belastning.
- Endringen i nitrogenavsetning fra 6,0 til 6,5 mg N/m² vil ikke føre til noen konsekvenser for natur eller overflatevann.

² ISBN: 82-425-1544-1 Nitrogenavsetning som følge av utslipp av NO_x og NH₃ fra gasskraftverk med rensing med SCR anlegg på Kårstø og Kollsnes, NILU Februar 2004.

³ Tilleggsvurdering for avsetning av NH₃ fra gasskraftverk på Kårstø, NILU 19 november 2004

Deretter viser tilleggssrapporten et kart over den totale nitrogenavsetning. Avsetningen er høyest like ved kraftverket og avtar som vist i kartet, jf rapportens s 2:



Figur 1: Total nitrogenavsetning fra et årlig utslipp på 63 tonn (5 ppm) NH_3 og 150 tonn (5 ppm) NO_x ved Kårstø (mgN/m^2 per år). Maksimal gjennomsnittlig avsetning over 10 km x 10 km er $6,5 \text{ mgN/m}^2$.

Hovedkonklusjonen i tilleggssrapporten i forhold til konsekvensene for miljøet av den endring Naturkraft nå vil søke om, er som følger:

"Tilsvarende beregninger ble gjennomført i 1997 (NILU rapport, OR 71/97, "Konsekvenser av utslipp av NO_x og NH_3 til luft fra gasskraftverk – Kårstø"). Modellverktøyet som ble benyttet i 1997 ble revidert i 2003 og resultatene fra 1997 er derfor ikke direkte sammenlignbare med resultatet fra dette notatet. I 1997 viste beregningene at et utslipp på 150 tonn NO_x per år alene ville gitt en maksimal nitrogenavsetning på ca 6 mg N/m^2 . Dagens beregninger, som er mer pålitelige, viser at dette avsetningsnivået var overestimert. En tenkt endring i nitrogenavsetning fra ca 6 mg N/m^2 til $6,5 \text{ mg N/m}^2$ vil likevel ikke føre til noen konsekvenser for natur eller overflatevann."

Selv om tilleggssrapporten nå sier at estimatet for årlige nitrogenavsetninger på $6,0 \text{ mg N/m}^2$ var overestimert, var grenseverdiene i den eksisterende utslippstillatelse bl a basert på dette estimatet. Når Naturkraft nå ønsker å rense NO_x -utslippet i eget anlegg ved bruk av SCR-teknologi, og dette gir en årlig maksimal nitrogenavsetning på $6,5 \text{ mg N/m}^2$, er det derfor denne økningen på $0,5 \text{ mg N/m}^2$ som det har vært relevant å vurdere konsekvensene av.

Selv om SCR-teknologi ennå ikke fullt ut anses som BAT i IPPC-sammenheng, er det teknisk sett mulig å ta i bruk denne teknologien for rensning av NO_x -utslippene på eget anlegg. På bakgrunn av konklusjonene fra NILUs utredninger gjengitt over, legger Naturkraft til grunn at SCR-rensning også ut fra miljøfaglige vurderinger utgjør en akseptabel og hensiktsmessig rensningsmetode for å oppfylle utslippstillatelsens krav om NO_x -utslipp på 5 ppm ved installasjon av SCR-teknologi på kraftverket. Kraftverket på Kårstø vil bli det første gasskraftverket i Europa som tar i bruk SCR-rensningsteknologi.

I henhold til ovenstående og med bakgrunn i NILUs utredninger av virkningene av et NH₃-utslipp på henholdsvis 54 tonn/år og 67 tonn/år, søker Naturkraft om tillatelse til å slippe ut inntil 63 tonn NH₃ pr år med en konsentrasjonsgrense på 5 ppm.

AVSLUTTENDE BEMERKNINGER

Av hensyn til de frister som er fastsatt for driftsstart, og under henvisning til den redegjørelse for selskapets fremdriftsplan som ble gitt i møtene 4 og 10 november 2004, ber Naturkraft om at de endringer av utslippstillatelsen som er beskrevet i pkt 2 og 3 ovenfor gjennomføres så snart som mulig.

Selskapet ber også om at SFT snarest mulig tilkjennegir eventuelle ønsker om ytterligere informasjon dersom det skulle være aktuelt.

Med vennlig hilsen


Ole Rønning
Adm dir Naturkraft AS

- VEDLEGG:
1. Beskrivelse av SCR-teknologi
 2. ISBN: 82-425-1544-1 Nitrogenavsetning som følge av utslipp av NO_x og NH₃ fra gasskraftverk med rensing med SCR anlegg på Kårstø og Kollsnes, NILU Februar 2004.
 3. Tilleggsrapport fra NILU, NIVA og NINA 19 nov 2004

VEDLEGG TIL SØKNAD OM UTSLIPP AV NH3 GRUNNET
BRUK AV RENSETEKNOLOGI I EGET ANLEGG

—

BESKRIVELSE
AV
SCR-TEKNOLOGI

Kontoradr./Office:	Postadr./Address:	Telefon/Telephone:	Telefax:	Internett:
Vollsveien 13 E N-1366 Lysaker NORWAY	Postboks 358 N-1326 LYSAKER NORWAY	+ 47 67 10 37 00	+ 47 67 10 37 90	www.naturkraft.no

Naturkraft AS Foretaksnummer/Reg.no 971 073 780 MVA

INNHold:

SCR – BESKRIVELSE	9
Historikk	9
Kjemiprosess.....	9
Katalyst	9
Ammonia slip.....	9
Plassering i HRSG - Hovedelementer.....	9
SCR - DESIGN, INSTALLASJON OG DRIFT	11
NOx – rense effektivitet.....	11
Ammonia slip - Ammonia Injection Grid (AIG):	11
Valg mellom 100% ren vs vannløst ammoniakk	12
Drift.....	12
RISIKO OG USIKKERHETER	13
Tekniske spesifikasjoner – ny teknologi.....	13

Kontoradr./Office:	Postadr./Address:	Telefon/Telephone:	Telefax:	Internett:
Vollsveien 13 E	Postboks 358	+ 47 67 10 37 00	+ 47 67 10 37 90	www.naturkraft.no
N-1366 Lysaker	N-1326 LYSAKER			
NORWAY	NORWAY	Naturkraft AS. Foretaksnummer/Reg.no. 971 073 780 MVA		

1 SCR – KORTFATTET BESKRIVELSE ¹

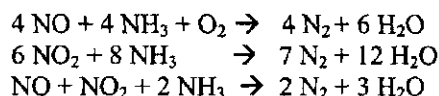
1.1 Historikk

SCR ble først patentert som NO_x reduksjonsteknologi i USA i 1959. Teknologien ble videre utviklet for og først tatt i bruk i fossil brensel baserte kraftverk i Japan på 1970-tallet. Teknologien er senere utviklet også for andre applikasjoner, og er i dag den mest benyttede NO_x-renseteknologi for de fleste forbrenningsprosesser; kull-, olje- og gassfyrte kjeler, gasskraftverk (Combined Cycle Gas Turbine ("CCGT")) samt marine dieselmotorer. Det første anlegget ombord i et skip ble installert i 1989.

1.2 Kjemiprosess

Selective Catalytic Reduction - SCR - er en renseteknologi hvor NO_x reduseres til elementær N₂ og vann ved en kjemisk reaksjon med tilført ammoniakk (NH₃) eller urea over en katalyst. Prosessen skjer vanligvis i temperaturområdet 320–420 °C. Katalysten reduserer den nødvendige energien for å aktivisere reaksjonen mellom NH₃ og NO_x, og øker derved reaksjonshastighet og effektivitet.

Med ammoniakk beskrives reaksjonene som følger:



I større anlegg benyttes NH₃ enten flytende (100% ren NH₃ (anhydrous), lagres ved ca 10 bar ved 20 °C), eller som en 20-30% vannløsning.

Urea benyttes i mindre anlegg, og må da løses i vann før injeksjon. Marine SCR-anlegg benytter som regel urea.

1.3 Katalyst

Katalysten produseres i form av monolittiske og kvadratiske eller heksagonale kanaler av keramiske materialer. Den keramiske overflaten dekkes deretter med et katalytisk aktivt materiale. For CCGT-applikasjoner benyttes som regel keramen TiO₂ som dekkes med Vanadium, V₂O₅, og Wolfram, WO₃.

1.4 Ammonia slip

Det er ikke mulig å oppnå et ideelt NH₃/NO_x blandingsforhold over hele katalystens tverrsnitt, og noe av den tilførte NH₃ som ikke reagerer med NO_x vil derved slippes direkte ut i atmosfæren. Dette benevnes "ammonia slip". NH₃ bidrar til forsurening av mark og vassdrag, og slike utslipp er derfor regulert.

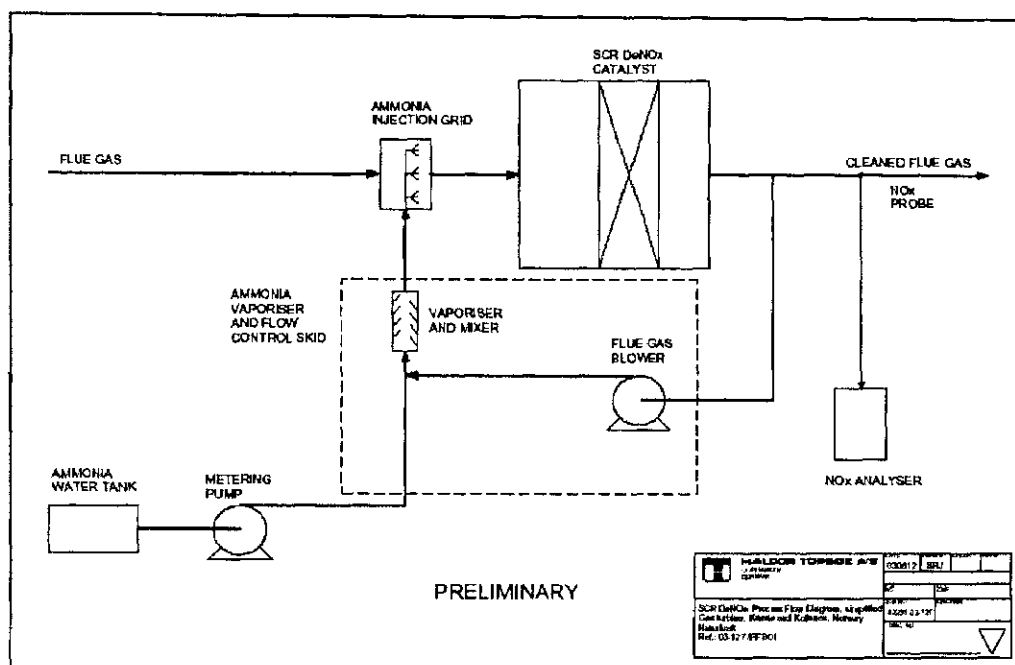
1.5 Plassering i dampkjelen - Hovedelementer

I et kombinert kraftverk plasseres SCR-anlegget integrert i dampkjelen. Eksakt lokalisering bestemmes ut fra kravet om at katalysten fungerer best i temperaturområdet 320–420 °C.

¹ Vi henviser også til nærmere beskrivelse i søknad om utslippstillatelse, 1999, vedlegg.

Kontoradr./Office:	Postadr./Address:	Telefon/Telephone:	Telefax:	Internett:
Vollsvien 13 E N-1366 Lysaker NORWAY	Postboks 358 N-1326 LYSAKER NORWAY	+47 67 10 37 00	+47 67 10 37 90	www.naturkraft.no
Naturkraft AS Foretaksnummer/Reg.no 071 071 780 MVA				

Kontoradr./Office:	Postadr./Address:	Telefon/Telephone:	Telefax:	Internet:
Vollsvæien 13 E N-1366 Lysaker NORWAY	Postboks 358 N-1326 LYSAKER NORWAY	+ 47 67 10 37 00	+ 47 67 10 37 90	www.naturkraft.no
Naturkraft AS Foretaksnummer/Reg.no. 971 073 780 MVA				



Figurer fra Haldor Topsøe

SCR - DESIGN, INSTALLASJON OG DRIFT

1.6 NO_x – rense effektivitet

Et SCR anleggs renseeffektivitet er først og fremst avhengig av de to innsatsfaktorene:

- Katalyst volum, uttrykt ved "Net Hourly Space Velocity", NHSV = Exhaust flow rate/catalyst volume (Nm³/m³/h, eller 1/h).
- Mengde injisert ammoniakk (NH₃/NO_x forholdet).

Økt mengde injisert NH₃ har som "pris" økt NH₃ slip, mens økt katalyst volum vil medføre høyere investeringer, økt trykk tap over katalysten med derav følgende redusert el-produksjon.

Hvor strenge krav man kan stille til et SCR-anleggs renseeffektivitet vil også være avhengig av hvilket NO_x konsentrasjonsområde anlegget skal fungere i. Det vil stilles adskillig strengere krav til god design, spesielt av injeksjonssystemet (AIG), for et anlegg som skal møte NO_x inn lik 20–25 ppm, sammenlignet med et som skal møte NO_x inn lik 500 ppm.

1.7 Ammonia slip - Ammonia Injection Grid (AIG):

Ammonia slip er avhengig av følgende forhold:

- Effektiv miksing av NH₃ og eksosgassen.

NO_x distribusjonen over strømningsverrsnittet inn på katalysten er som oftest ikke uniform. Dette krever at injisert NH₃ må fordeles over tverrsnittet i samme forhold som NO_x.

Kontoradr./Office:	Postadr./Address:	Telefon/Telephone:	Telefax:	Internett:
Vollisveien 13 E	Postboks 358	+ 47 67 10 37 90	+ 47 67 10 37 90	www.naturkraft.no
N-1366 Lysaker	N-1326 LYSAKER			
NORWAY	NORWAY			

Naturkraft AS. Foretaksnummer/Reg no. 971 073 780 MVA

konsentrasjonen. Dette krever at AIG'en må være utstyrt med individuelt justerbare injeksjonsdyser, som erfaringsmessig må justeres hvert år.

Design av "Ammonia Injection Grid" er avgjørende for å oppnå et godt fungerende SCR-anlegg, spesielt for et anlegg hvor NO_x inn på anlegget er i området 20–25 ppm.

- Dosering av NH_3 (NH_3/NO_x forholdet).

Økt dosering av NH_3 vil isolert sett øke katalystens NO_x effektivitet, men "prisen" er økt NH_3 slip.

- Design rensekrav (% NO_x fjerning).

Høye rensekrav vil kreve høyere NH_3/NO_x forhold, som igjen vil tendere til høyere NH_3 slip.

- Katalystens drifts- / levetid.

Strenge krav til NH_3 slip kan medføre at operatøren må korte ned intervallene mellom hver utskiftning av katalysten.

Når katalysten er ny, er bare en mindre del av katalysten aktiv. Etterhvert som katalysten blir eldre og mere tilsmusset ("fouling") vil en stadig større del av katalystens totale overflate benyttes. Til slutt vil man få en form for gjennombrudd hvor hele katalystens volum er aktivisert for å oppnå den nødvendige NO_x reduksjon. Denne prosessen kan man observere indirekte som en eksponensiell økning av NH_3 slip.

1.8 Valg mellom 100% ren vs vannløst ammoniakk

Ren NH_3 (100%) er billigere i innkjøp enn vannløst NH_3 , men krever mer omfattende og kostbare transport- og lagringstekniske løsninger på grunn av den strenge fareklassifiseringen.

Vannløst NH_3 vil typisk kreve mer tilført fordampningsvarme, noe som vil ha en negativ virkningsgradeffekt. Valg av optimal løsning er derfor gjenstand for ytterligere studier.

1.9 Drift

Sentrale elementer knyttet til drift av SCR-anlegg er:

- Måling av NO_x og NH_3 .

For NH_3 slip verdier i området 5 ppm vil skorsteinsmålinger være lite pålitelige. Slike målinger bør av den grunn understøttes av indirekte metoder, f.eks kontinuerlig overvåkning av ammoniakkforbruket.

- Overvåking av grad av degradering av katalysten.

I praksis innebærer dette at man med jevne mellomrom, f.eks en gang pr år, borer ut en liten del av selve katalysten ("test coupon") som sendes inn til katalyst- leverandøren for nærmere analyse.

Kontoradr./Office:	Postadr./Address:	Telefon/Telephone:	Telefax:	Internett:
Vollsveien 13 E N-1366 Lysaker NORWAY	Postboks 358 N-1326 LYSAKER NORWAY	+ 47 67 10 37 00	+ 47 67 10 37 90	www.naturkraft.no
Naturkraft AS Foretaksnummer/Reg.no 971 073 780 MVA				

- Rutiner for drift og vedlikehold, bl a
 - Jevnlig rengjøring av katalysten
 - Måling av NO_x over katalystens tverrsnitt.

RISIKO OG USIKKERHETER

1.10 Tekniske spesifikasjoner – ny teknologi

Et SCR anlegg for Naturkrafts planlagte kraftverk vil være designet for NO_x inn på anlegget i området 20–25 ppm. Dette vil være det første gasskraftverket i Europa som utstyres med et NO_x-renseteknologi av denne type.

Europeiske kjeleleverandører har begrenset erfaring knyttet til design og bygging av SCR- anlegg integrert i sine kjeler. Design av SCR-anlegg er også i betydelig grad skreddersøm, spesielt for anlegg for NO_x inn i området 20–25 ppm. For Naturkraft representerer derfor valget å rense NO_x-utslippene med SCR teknologi av den grunn en betydelig utfordring, både hva gjelder initiell design av SCR-anlegget, og ikke minst senere drift.

De gasskraftverk som er i drift i dag med NO_x-rensing ved hjelp av SCR-teknologi er alle lokalisert i USA. Den generasjon gassturbiner som Naturkraft ønsker å benytte vil ha over 40% større avgassmengde enn tilsvarende 60Hz maskiner i USA. Dette medfører at Naturkrafts anlegg vil være det første i verden som håndterer en så høy avgassmengde.

Sammenlignet med Naturkrafts planlagte gasskraftverk er disse amerikanske verkene ikke representative eller sammenlignbare med hensyn til kjelestørrelse og avgassvolum, noe som blant annet betyr at et SCR-anlegg for Naturkrafts verk vil ha et betydelig større katalystvolum.

Kontoradr./Office:	Postadr./Address:	Telefon/Telephone:	Telefax:	Internett:
Vollsvæien 13 E N-1366 Lysaker NORWAY	Postboks 358 N-1326 LYSAKER NORWAY	+ 47 67 10 37 00 Naturkraft AS. Foretaksnummer/Reg no 071 073 780 MVA	+ 47 67 10 37 90	www.naturkraft.no



NVE Norges Vassdrags og Energidirektorat
Postboks 5091 Majorstua
0301 OSLO

Att: Arne Olsen

Deres dato / Your date

Deres ref. / Your ref.

Vår dato / Our date
24.11.2004

Vår ref. / Our ref.
NK-2004-00348

ORIENTERING OM UTNYTTELSE OG ENDRING AV KONSESJONER FOR BYGGING OG DRIFT AV GASSSKRAFTVERK PÅ KÅRSTØ OG KOLLSNES

Naturkrafts eiere har besluttet å gå videre med å realisere et gasskraftverk på Kårstø. Vedlagt følger en orientering om de videre planer og en beskrivelse av behov for endringer knyttet til dette. Videre er det besluttet å ikke benytte konsesjonen som er gitt for et gasskraftverk på Kollsnes, denne vil derfor bli tilbakeleveret med endelig virkning.

Med vennlig hilsen
for Naturkraft AS



Ole Rønning

Kontoradr./Office:	Postadr./Address:	Telefon/Telephone:	Telefax:	Internett:
Vollsveien 13 E N-1366 Lysaker	Postboks 358 N-1326 LYSAKER	+ 47 67 10 37 00	+ 47 67 10 37 90	www.naturkraft.no



NVE Norges Vassdrags og Energidirektorat
Postboks 5091 Majorstua
0301 OSLO

Att: Arne Olsen

Deres dato / Your date

Deres ref. / Your ref.

Vår dato / Our date

24.11.2004

Vår ref. / Our ref.

NK-2004-00348

ORIENTERING OM ENDRINGER I GODKJENT VIRKSOMHET - SØKNAD OM OPPDATERING AV ANLEGGSKONSESJON

Det vises til møte 29 oktober 2004, hvor Naturkraft orienterte om den beslutning eierne av selskapet traff i september d.å. vedrørende utnyttelse av de to konsesjoner Naturkraft innehar til å bygge og drive gasskraftverk på Kårstø og Kollsnes. Naturkraft har i møter med Statens forurensningstilsyn 4 og 10 november også orientert forurensningsmyndighetene om denne beslutningen.

Beslutningen vil innebære at Naturkraft etablerer et gasskraftverk på Kårstø, og at konsesjonen til å bygge og drive gasskraftverk på Kollsnes ikke utnyttes.

1. BAKGRUNN

Etter at Kongen i Statsråd 6 juli 2001 avviste klagen over Miljøverndepartementets omgjøringsvedtak, innehar Naturkraft nødvendige tillatelser til å etablere en virksomhet bestående av to gasskraftverk, lokalisert på Kårstø i Rogaland og på Kollsnes i Hordaland.

Den virksomhet som har blitt konsesjonsbehandlet etter energiloven er to gasskraftverk med en installert effekt på 350 MW, til sammen 700 MW, mens den konsesjonsbehandlede virksomhet etter forurensningsloven er to gasskraftverk med en installert effekt på 380-390 MW hver, til sammen 760-780 MW.

I forbindelse med konsesjonsbehandlingen i henhold til energiloven og forurensningsloven gjennomførte Naturkraft et omfattende konsekvensutredningsprogram. Senere er det også gjennomført utredninger av konsekvensene av å ta i bruk et renseanlegg for NO_x, jf søknad 24.11.2004 til SFT om endring av utslippstillatelsen.

2. UTVIKLING AV BAT FOR GASSKRAFTVERK/-TURBINER

Basert på opplysninger Naturkraft har mottatt fra leverandørindustrien og innhentet fra uavhengige aktører, har den teknologiske utvikling av gassturbiner nå ført til at et gasskraftverk av den type Naturkraft har fått konsesjonsbehandlet (CCGT) vil ha en installert effekt på opp mot 430 MW, dvs opp mot 23% høyere effekt enn det som var best tilgjengelig teknologi da anleggskonsesjonene ble gitt og 10% høyere effekt enn da utslippstillatelsene ble gitt.

Kontoradr./Office:	Postadr./Address:	Telefon/Telephone:	Telefax:	Internett:
Vollsveien 13 E N-1366 Lysaker	Postboks 358 N-1326 LYSAKER	+ 47 67 10 37 00	+ 47 67 10 37 90	www.naturkraft.no

Denne utviklingen samt økning i forventet brukstid øker også produksjonsmuligheten til 3,5 TWh, dvs ca 22% mer enn da anleggskonsesjonene ble gitt og drøyt 13% mer enn da utslippstillatelsene ble gitt.

Samtidig øker gassforbruket fra 550 mill Sm³/år til ca 600 Sm³/år, dvs med 10% i forhold til da utslippstillatelsen ble gitt. Naturkraft har derfor søkt SFT om en endring av utslippstillatelsen grense for tillatt gassforbruk, jf søknad 24.11.2004 til SFT. I søknaden er det vist til at økningen i energiproduksjon er høyere enn økningen i gassforbruket, noe som demonstrerer at energieffektiviteten er økt i forhold til så vel anleggskonsesjonene som utslippstillatelsenes forutsetninger. Virkningsgraden i kraftverket øker med ca 2 prosentpoeng.

3. BEHOV FOR OPPDATERING

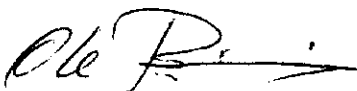
Naturkraft ønsker som nevnt å utnytte den foreliggende anleggskonsesjon og utslippstillatelse til å etablere et gasskraftverk på Kårstø. Dersom Naturkrafts målsetning om at etableringen skal skje med bruk av den beste tilgjengelige teknologi, noe som er en forutsetning også fra konsesjonsmyndighetenes side, må enkelte parametre i anleggskonsesjonen endres.

De miljømessige konsekvenser av de endringer i den konsesjonsbehandlede virksomhet som er nødvendige dersom denne målsetningen skal oppfylles, er utredet i vedlegg til søknad 24.11.2004 til SFT om endring av utslippstillatelsen.

Naturkraft ber om at NVE endrer disse punktene i konsesjonen, slik at Naturkraft kan bygge og drive ett gasskraftverk på ca 430 MW med en antatt el-produksjon på ca 3,5 TWh.

Av hensyn til de frister som er fastsatt for driftsstart, og under henvisning til den redegjørelse for selskapets fremdriftsplan som ble gitt i møtet 29 oktober 2004, ber Naturkraft om at denne endringen gjennomføres så snart som mulig

Med vennlig hilsen
for Naturkraft AS



Ole Rønning

Vedlegg

Kontoradr./Office:	Postadr./Address:	Telefon/Telephone:	Telefax:	Internett:
Vollsvæien 13 E N-1366 Lysaker NORWAY	Postboks 358 N-1326 Lysaker NORWAY	+ 47 67 10 37 00	+ 47 67 10 37 90	www.naturkraft.no
Naturkraft AS Foretaksnummer/Reg.no 971 073 780 MVA				

NILU: OR../2004
REFERANSE: O-103107
DATO: FEBRUAR 2004
ISBN: 82-425-[Skriv ISBN-nr]

Nitrogenavsetning som følge av utslipp av NO_x og NH₃ fra gasskraftverk med rensing med SCR anlegg på Kårstø og Kollsnes

Karl Idar Gjerstad og Svein Knudsen

Innhold

	Side
Sammendrag.....	3
1 Innledning.....	5
2 Dagens situasjon for luftkvalitet og nitrogenavsetning.....	5
3 Meteorologi.....	10
3.1 Vindretning og vindstyrke ved Kårstø.....	10
3.2 Vindretning og vindstyrke ved Kollsnes	11
3.3 Nedbør ved Kårstø og Kollsnes.....	12
3.4 Stabilitet og spredningsforhold.....	13
4 Utslippsmengder og utslippsbetingelser	14
5 Modellverktøy og oppdatering av metoden.....	15
6 Spredningsberegninger	16
6.1 Kårstø 16	
6.2 Kollsnes	20
6.3 Oppsummering av maksimal avsetning.....	22
7 Kvalitetssikring og usikkerhet.....	23
7.1 Meteorologi.....	23
7.2 Evaluering av modellresultater	24
7.3 Sammenligning med litteraturen.....	25
Vedlegg A Meteorologiske forhold	31
Vedlegg B Vurderingskriterier for vegetasjon.....	35

Sammendrag

Naturkraft AS har bedt Norsk institutt for luftforskning (NILU) vurdere nivå av nitrogenavsetning som følge av utslipp til luft fra gasskraftverk på Kårstø og Kollsnes. Gasskraftverkene som er utredet her kan som et alternativ benytte SCR-renseteknologi der utslippet av NO_x reduseres, men der det slippes ut NH_3 fra renseprosessen. Det er gjort modellberegninger for utslipp av 5ppm NO_x og 5ppm NH_3 .

For å vurdere virkningene av avsatt nitrogen på økosystemer er det nødvendig å vurdere virkningene på forsuring av overflatevann og vegetasjon. Virkningene på vegetasjon er først og fremst forandringer i konkurranseforhold mellom arter og forandring i artssammensetningen, der planter som kan nyttiggjøre seg det ekstra tilførte nitrogenet kan fortrenge planter som ikke kan nyttiggjøre seg dette nitrogenet. Denne rapporten beregner bare avsetningen av nitrogen og ikke virkningene av dette på forsuring og vegetasjon.

Det er tidligere blitt gjennomført målinger av total årlig våtavsetning av nitrogen både ved Kårstø og Kollsnes. Ved Kårstø er det blitt gjort målinger ved flere lokale stasjoner i 1996 og 1997. Målingene på disse stasjonene viser en våtavsetning mellom 686 og 1169 mgN/m^2 . Ved Kollsnes ble det målt nitrogenavsetning på en stasjon i et år, 1991/1992. Nitrogenavsetningen med nedbøren var 890 mgN/m^2 i måleperioden. I tillegg til våtavsetning vil det også være tørravsetning. Det er ikke gjort målinger av tørravsetning ved Kårstø eller Kollsnes. De nærmeste regionale målestasjoner for tørravsetning er Kårvatn i Møre og Romsdal og Skreådalen i Vest-Agder. Ut i fra disse målestasjonene blir tørravsetning ved Kårstø og Kollsnes vurdert til 150 mgN/m^2 . Sum av våt- og tørravsetning gir en total avsetning av nitrogen ved Kårstø på 830-1320 mgN/m^2 per år og ved Kollsnes på 1040 mgN/m^2 per år.

Modellberegningene benytter meteorologidata både fra Kårstø og Kollsnes. Det er gjort timevise målinger av meteorologi i et år ved Kårstø, 1994/1995, og i et år ved Kollsnes, 1991/1992. Resultatene fra modellberegningene blir ikke umiddelbart sammenlignbare ettersom meteorologiske målinger er fra forskjellige år. For å vurdere representativiteten på målingene er samtidige målinger ved henholdsvis Utsira og Hellsøy vurdert opp mot sine respektive langtidsmiddel. Det er høyere vindstyrke og mer nedbør i måleperioden enn det som er tilfelle for langtidsmiddelet, men måleseriene regnes likevel som representative for vær-situasjonen på Kårstø og Kollsnes. En nærmere analyse av nedbørsstatistikk ved de to stasjonene viser at det kan forventes mer nitrogenavsetning ved Kårstø enn ved Kollsnes.

Modellverktøyet som er benyttet til denne studien har blitt revidert og utbedret siden tidligere beregninger. Den nye avsetningsmodellen er utviklet i to versjoner, en for NH_3 og en for avsetning av nitrat (NO_3) som følge av utslipp av NO_x . NO_3 dannes i atmosfæren fra kjemiske reaksjoner mellom NO_x , ozon (O_3) og sollys. Resultater fra sammenligningen av de nye og gamle versjoner av modellen viser at den estimerte avsetningen av nitrogen blir redusert. Dette gjelder spesielt for NH_3 .

For hver utslippspunkt er det gjort spredningsberegning og beregning av nitrogenavsetning for 5 ppm NO_x og 5 ppm NH₃. Det er like utslippsbetingelser ved Kårstø og Kollsnes og driftstiden er beregnet til 8150 timer per år.

Beregning av nitrogenavsetning ved Kårstø viser at maksimal avsetning innenfor et areal på 10 km x 10 km blir 6,2 mgN/m² for 5 ppm NO_x og 5 ppm NH₃. Her utgjør bidraget av avsatt nitrogen til naturen 0,6% av den nitrogenmengden som avsettes i dag.

Beregning av nitrogenavsetning ved Kollsnes viser at maksimal avsetning innenfor et areal på 10 km x 10 km blir 3,3 mgN/m² for 5 ppm NO_x og 5 ppm NH₃. Her utgjør bidraget av avsatt nitrogen til naturen 0,3% av den nitrogenmengden som avsettes i dag.

Resultatene over er analysert i forhold til hva som kan forventes. Til tross for like utslippsbetingelser er det ca halvparten så stor avsetning, som følge av utslipp til luft, fra Kollsnes som fra Kårstø. Dette kan forklares ut fra nedbørsforhold i måleperiodene som ligger til grunn for modellberegningene. I disse måleseriene er det mer nedbør og flere dager med nedbør over en- og to millimeter ved Kårstø enn ved Kollsnes. Ved Kollsnes er det flere perioder med sammenhengende regn og sammenhengende opphold over flere timer enn ved Kårstø. Slike forhold forklarer at det avsettes mer nitrogen ved Kårstø enn ved Kollsnes. En litteraturstudie viser også at de resultatene som er beregnet ved Kårstø og Kollsnes er i samsvar med tilsvarende resultater fra andre modeller og andre steder i verden. I dette tilfelle har vi sammenlignet resultatene med resultater fra EMEP modellen for tre små land i Europa, Luxemburg, Latvia og Litauen.

Beregningene med de nye versjonene av modellen viser at avsetningsnivåene blir lave. Det er fremdeles slik at total avsetning av NH₃ er større enn total avsetning av NO₃, men for maksimal avsetning innenfor et begrenset området (10 km x 10 km) er det bare marginale forskjeller. Konklusjonen fra tidligere rapporter der NILU anbefalte ikke å bruke SCR-rensing vil ikke være riktige ved de nye beregningene, dels fordi de estimerte nivåene er små og dels fordi bidraget til avsatt nitrogen fra NH₃ relativt til avsatt NO₃ er mindre.

Nitrogenavsetning som følge av utslipp av NO_x og NH₃ fra gasskraftverk med rensing med SCR anlegg på Kårstø og Kollsnes

1 Innledning

Naturkraft AS har bedt Norsk institutt for luftforskning (NILU) vurdere nivå av nitrogenavsetning som følge av utslipp til luft fra gasskraftverk på Kårstø og Kollsnes. Gasskraftverkene som er utredet kan som et alternativ til 3. partsløsninger benytte SCR-renseteknologi for å tilfredsstille NO_x kravene i utslippstillatelsen. Denne teknologien innebærer imidlertid et mindre utslipp av NH₃. Utredning av utslippene fra gasskraftverkene er utført tidligere (Knudsen et al. 1997a og Knudsen et al. 1997b), men videre utvikling av NILUs modellverktøy har nødvendiggjort en oppdatering av disse utredningene.

For å vurdere virkningene av avsatt nitrogen på økosystemer er det nødvendig å vurdere virkningene på forsyning av overflatevann og vegetasjon. Virkningene på vegetasjon er først og fremst forandringer i konkurranseforhold mellom arter og forandring i artssammensetningen, der planter som kan nyttiggjøre seg det ekstra tilførte nitrogenet kan fortrenge planter som ikke kan nyttiggjøre seg dette nitrogenet. Denne rapporten beregner bare avsetningen av nitrogen og ikke virkningene av dette på forsyning og vegetasjon.

2 Dagens situasjon for luftkvalitet og nitrogenavsetning

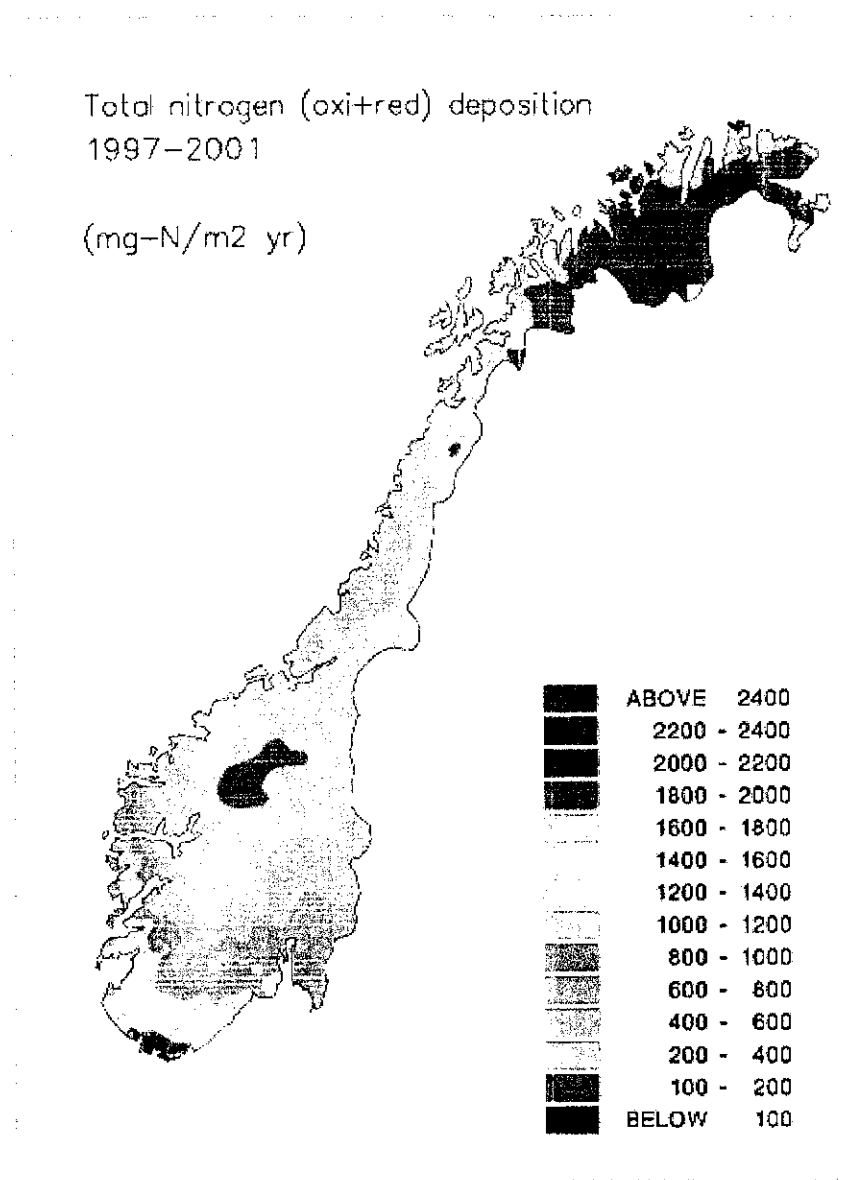
Tabell 1 viser våtavsetning av nitrogen i Norge i perioden 1996-2002 (Aas et al., 2002). Tabell 2 viser tørravsetning av nitrogen ved Kårvatn i Møre og Romsdal og Skreådalen i Vest-Agder for perioden 1996-2002 (Aas et al., 2002). Det er Skreådalen, Haukeland og Kårvatn som er mest representativt for Kårstø og Kollsnes. Figur 1 viser total avsetning av nitrogen i Norge i perioden 1996-2001. Ut fra Tabell 1, Tabell 2 og Figur 1 ses at avsetning av nitrogen varierer mye fra år til år og avsetningen varierer også mye geografisk. Det er størst avsetning på sørlandet og sør i Rogaland, dette avtar oppover langs kysten og innover i landet.

Tabell 1: Våtavsetning av nitrogen (nitrat og ammonium) ved nasjonale målestasjoner i 1996-2002 (Data fra SFT/NILU og NISK). Enhet for nitrogenavsetning er mgN/m^2 per år.

Nedbør-stasjon	Fylke	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
Regionale stasjoner								
Vikedal	Rogaland	929	1 188	1 324	1 364	1 276	1 181	1 452
Ualand	Rogaland	871	1 270	1 345	1 245	1 404	-	-
Lista	Vest-Agder	1 280	1 348	1 428	1 376	1 872	1 634	1 436
Skreådalen	Vest-Agder	859	1 081	1 146	1 189	1 455	1 054	1 159
Birkenes	Aust-Agder	1 193	1 177	1 359	1 453	1 906	1 309	1 013
Haukeland	Hordaland	982	1 394	1 162	1 384	1 096	1 079	1 072
Treungen	Telemark	647	612	783	833	1 049	638	513
Gulsvik	Buskerud	576	457	-	-	-	-	-
Kårvatn	Møre og Romsdal	194	317	250	193	167	184	220
Osen	Hedmark	353	306	245	281	-	-	319
Høylandet	Nord-Trøndelag	251	453	439	467	343	421	324
Lokale stasjoner								
Austre Bokn	Rogaland	790	1169	-	-	-	-	-
Gismark	Rogaland	719	944	-	-	-	-	-
Sandvik	Rogaland	686	1 024	-	-	-	-	-
Årvik	Rogaland	848	1 068	-	-	-	-	-
Nedstrand	Rogaland	697	795	-	-	-	-	-

Tabell 2: Tørravsetning av nitrogen ved nasjonale målestasjoner i 1996-2002 (Data fra SFT/NILU og NISK). Enhet for nitrogenavsetning er mgN/m^2 per år.

Nedbør-stasjon	Fylke	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
Skreådalen	Vest-Agder	329	280	254	229	225	260	270
Kårvatn	Møre og Romsdal	126	129	90	107	135	108	185



Figur 1: Årlig gjennomsnittlig våt- og tørravsetning av nitrogen (nitrogen + ammonium) på norske bakgrunnsstasjoner i perioden 1997-2001.

Kårstø

Den eksisterende luftforurensningssituasjonen i området rundt Kårstø er både influert av langtransportert og lokal luftforurensning (Knudsen et al., 2002). Målingene av innholdet av nitrose gasser i luft utført i 1994/95 viser at det midlere nivået ved Kårstøterminalen er lavt og sammenlignbart med konsentrasjonsnivået på lite forurensede steder i Norge. Årsmiddelkonsentrasjonen av nitrogendioksid målt på en stasjon nær anleggene var 4,6 µg/m³. Det er anslått at utslippene fra Kårstøanlegget forårsaker ca. 2 µg/m³ av dette (Tønnesen, 1995).

Den høyeste målte timemiddelkonsentrasjonen av NO₂ på Sandvik (nær industrianlegget) var 50 µg/m³ og ble målt ved vind fra terminalen mot

målestasjonen. Denne belastningen skyldes både langtransportert forurensning og bidraget fra industrianleggene.

Middelbelastningen på stasjonen Bokn som er belastet med biltrafikk fra Europavei 39 ble registrert med høyere verdier enn belastningen på Sandvik. Bidraget fra Kårstø terminalen til NO₂-konsentrasjonen på Sandvik utgjør ca. 50% av totalbelastningen på målestasjonen. Mens det er bidraget fra trafikken til NO₂-konsentrasjonen som utgjør ca 50% av totalbelastningen på målestasjonen på Bokn.

Måleresultatene for SO₂ og sot indikerer at konsentrasjon av disse komponentene på målestasjonene hovedsakelig skyldes langtransportert luftforurensning. Gassanleggenes bidrag er for lite til at det lar seg kvantifisere fra målingene.

Det er målt ozonkonsentrasjoner på Sandve på Karmøy i regi av SFT i årene 1997-2002. Disse målingene antas å være representative for Kårstø området. Ozon konsentrasjonen på Kårstø skyldes langtransporterte forurensninger fra kontinentet og Storbritannia.

Ozonkonsentrasjonene varierer sterkt fra år til år. Hvert år er det målt konsentrasjoner over SFTs anbefalte luftkvalitetskriterium på 100 µg/m³, og i 2002 er det målt konsentrasjoner over 100 µg/m³ i 435 timer per år. Maksimumsverdien i 2002 var 151 µg/m³. AOT40-verdien var i 2002 over grensen der det kan forventes en 10% vekstreduksjon for 3-månedersperioden 15. mai til 15. august. AOT40-verdien ble i 2002 målt til 3544 ppbh. Verdien der en kan forvente 10% vekstreduksjon i vekstsesongen over en 3-måneders periode er 3000 ppbh. AOT40-verdien vil variere fra år til år, og AOT40-verdien på Sandve var over 8000 ppbh i 2002 og 1997.

Våtavsetning av nitrogen målt på regionale stasjoner vist i Tabell 1 varierte mellom 167 og 1872 mgN/m² per år i tidsrommet 1996-2002. Målinger på stasjonene som er lokale rundt Kårstøanleggene varierte mellom 686 og 1169 mgN/m² i tidsrommet 1996-1997. Dette er noe mindre enn de regionale stasjonene på Sørvestlandet (Vikedal, Ualand, Skreådalen, Lista) som varierte mellom 859-1348 mgN/m² i det samme tidsrommet. De regionale stasjonene var i gjennomsnitt 230 mgN/m² høyere enn de lokale. De lokale målingene er utført av NISK. Samtidige måleserier har vist at konsentrasjonene i nedbør målt av NISK ligger ca 10% under målingene fra NILU. Målingene viser at både de lokale og de regionale stasjonene ligger innenfor det generelle bildet vist i Figur 1 for avsetning av nitrogen som middel for perioden 1997-2001. I tillegg til dette kommer bidraget fra opptak av nitrose gasser i planter og på overflater, såkalt tørravsetning. Tabell 2 viser tørravsetning ved to regionale målestasjoner i Norge i 1996-2002. Gjennomsnittlig tørravsetning ved Skreådalen er 264 mgN/m², mens gjennomsnittlig tørravsetning ved Kårvatn er 126 mgN/m². Et anslag på tørravsetning ved Kårstø vil være 150 mgN/m² siden Kårstø er mer sammenlignbart med Kårvatn enn med Skreådalen. Den totale avsetningen av nitrogen i måleperioden på Kårstø vil da være 830-1320 mgN/m² per år. I 1997 ble den totale avsetningen av nitrogen på Kårstø vurdert til 1200-1600 mgN/m² per år.

Kollsnes

Det ble utført kontinuerlige målinger av meteorologi, svoveldioksyd (SO_2), nitrogenoksider (NO_x) og ozon (O_3) på Rossnes, ca. 2 km øst for Kollsnes, i perioden 20. juni 1991 til 30. juni 1992. Kontinuerlige målinger av innholdet av nitrose gasser i luft ble også utført mellom oktober 1997 og mars 1998.

Målingene viser at luftkvaliteten på Kollsnes er god. Konsentrasjoner i luft og avsetning av nitrogen og svovel er dominert av langtransportert luftforurensning og er svært lik et lite forurenset sted på Vestlandet. Konsentrasjonene av svovelforbindelser og nitrogenforbindelser er lavere enn anbefalte luftkvalitetskriterier.

Konsentrasjonene av ozon var høye sammenlignet med gjeldende luftkvalitetskriterier, men normale for kysten av Vest-Norge. Det ble målt timemiddelverdier av ozon over anbefalt luftkvalitetskriterium ($100 \mu\text{g}/\text{m}^3$) i 506 timer i 2002 på Voss. Den høyeste målte timeverdien for ozon var $135 \mu\text{g}/\text{m}^3$. De høye ozonkonsentrasjonene er hovedsakelig forårsaket av langtransportert luftforurensning (Guerreiro, 1998).

Nitrogenavsetningen med nedbøren var $890 \text{ mgN}/\text{m}^2$ i måleperioden. Den nærmeste stasjonen i statlig program for luftkvalitetsovervåking, Haukeland i Hordaland, hadde i 1992 en nitrogen avsetning ved nedbør på $1500 \text{ mgN}/\text{m}^2$. Avsetningen er sterkt avhengig av nedbørmengden, som varierer fra år til år. Avsetningen på Haukeland har variert mellom 982 og $1394 \text{ mgN}/\text{m}^2$ per år i perioden 1996-2002, Tabell 1. Nedbørmengden øker også innover i landet fra Kollsnes fordi topografien i hovedtrekk stiger og dette medfører større nedbørmengder og dermed større avsetning av nitrogen.

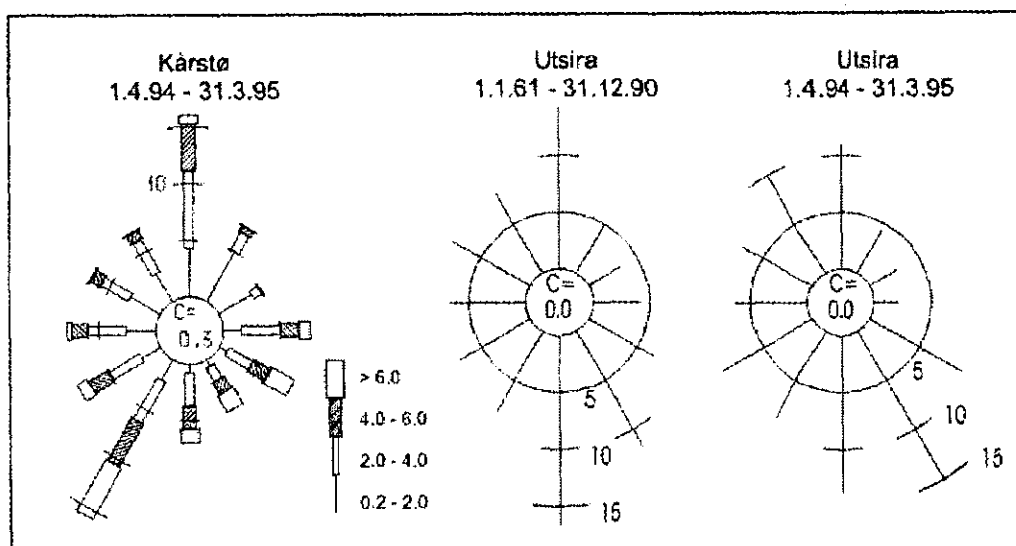
I tillegg til våtavsetningen vil det bli avsatt nitrogenforbindelser ved opptak av planter og på overflater (tørravsetning). Det er ikke grunnlag i målingene for å beregne tørravsetningen nær Kollsnes. De nærmeste stasjonene der tørravsetning er målt er på Kårvatn på Nordmøre og Skreådalen på Sørvestlandet. Tørravsetningen av nitrogenforbindelser for disse stasjonene er vist i Tabell 2. Tabellen viser tørravsetning ved to regionale målestasjoner i Norge i 1996-2002. Gjennomsnittlig tørravsetning ved Skreådalen er $264 \text{ mgN}/\text{m}^2$, mens gjennomsnittlig tørravsetning ved Kårvatn er $126 \text{ mgN}/\text{m}^2$. Et anslag på tørravsetning ved Kollsnes vil være $150 \text{ mgN}/\text{m}^2$ siden Kollsnes er mer sammenlignbart med Kårvatn enn med Skreådalen. Den totale avsetningen av nitrogen i måleperioden på Kollsnes vil da være $1040 \text{ mgN}/\text{m}^2$ per år. I 1997 ble den totale avsetningen av nitrogen på Kollsnes vurdert til $1000\text{-}1350 \text{ mgN}/\text{m}^2$ per år.

3 Meteorologi

3.1 Vindretning og vindstyrke ved Kårstø

Det er målt meteorologi på Kårstø fra 1. april 1994 til 31. mars 1995 (Tønnesen og Haugsbakk, 1995). Målingene ble gjort for timeverdier og dekker 90% av alle timer dette året.

Vindmålingene på Kårstø er sammenholdt med samtidige målinger på Utsira og normalen på Utsira fra perioden 1961-90, Figur 2. En sammenligning mellom frekvensfordeling av vindretning på Utsira for måleperioden og 30-årsperioden viser at vindretningsfordelingen under måleperioden var nær vindretningsfordelingen i 30-årsperioden. Under måleperioden 1994/95 var det litt høyere frekvens av vind fra nordvest og sørøst, og litt lavere frekvens av vind fra nord enn i 30-års-perioden.



Figur 2: Frekvensfordeling av vindretning fordelt på tolv 30°-sektorer fra Kårstø i måleperioden og fra Utsira både i måleperioden og fra årene 1961-1990.

Sammenligning av vindstyrke fra måleperiodene og langtidsmiddel er vist i Tabell 3. Vindstyrken var noe høyere enn normalt for den aktuelle måleperioden. Dette medfører at spredningsforholdene under måleperiodene var noe bedre enn de vil være i gjennomsnitt over en lengre periode. Måleseriene vurderes likevel som representative for områdene.

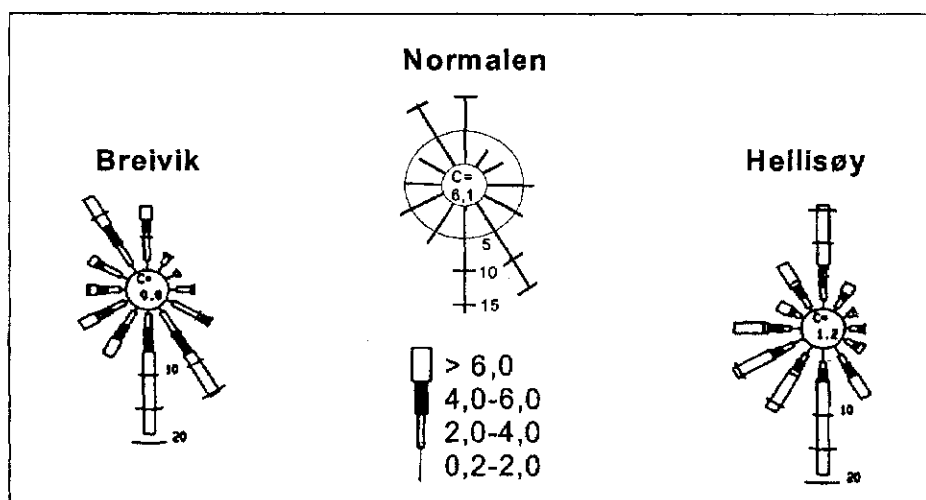
Tabell 3: Midlere vindstyrke på Kårstø og Utsira for hver årstid i måleperiodene samt gjennomsnitt for langtidsperioder (30 år på Utsira).

Sted og tid	Vår	Sommer	Høst	Vinter
Kårstø 1994 - 1995	3,8	2,9	3,2	4,3
Utsira 1994-1995	9,2	7,0	8,8	11,2
Utsira 1961-1990	5,6	5,1	6,4	7,5

3.2 Vindretning og vindstyrke ved Kollsnes

Det er utført målinger av meteorologi og nedbørskvalitet i perioden fra 1. juli 1991 til 30. juni på Kollsnes. Målingene av meteorologi ble utført på Breivik og Rossnes som ligger henholdsvis 2 og 1,5 kilometer fra kraftverket. Målingene ble gjort for timeverdier og dekker 89% av alle timer dette året.

Vindmålingene på Breivik er sammenholdt med samtidige målinger på Hellisøy fyr og normalen på Hellisøy fra perioden 1961-75 i Figur 3. Vindmålingene på Breivik viser at vindretningsfordelingen i 1991/92 er i samsvar med normalen 1961-75 på Hellisøy. Samtidige målinger på Hellisøy fyr gir mer kanalisering fra nord og sør på Hellisøy sammenlignet med Breivik. Forekomst av vind fra hovedvindretningene nord-nordvest-nord (330° - 360°) og sør-sørøst og sør (150° - 180°) er imidlertid av samme størrelse både på Hellisøy og Breivik.



Figur 3: Frekvensfordeling av vindretning fordelt på tolv 30° -sektorer fra Breivik (ved Kollsnes) i måleperioden 1991/1992 og fra Hellisøy både i måleperioden og normalen fra årene 1961-75.

Tabell 4: *Midlere vindstyrke på Breivik og Hellisøy for hver årstid i måleperiodene samt gjennomsnitt for langtidsperioden, 15 år på Hellisøy.*

Sted og tid	Vår	Sommer	Høst	Vinter
Breivik 1991 - 1992	5,1	4,0	5,6	6,0 ¹
Hellisøy fyr 1991 - 1992	7,9	6,1	9,1	10,2
Hellisøy fyr 1961-75	5,7	5,0	7,0	7,6

1) Manglende data 19. desember-6. januar er erstattet med samtidige observasjoner av vind på Hellisøy som ved regresjonsanalyse er tilpasset Breivik.

3.3 Nedbør ved Kårstø og Kollsnes

I måleprogrammet ble det registrert nedbørintensitet hver time og nedbørmengde i millimeter per uke på henholdsvis Kårstø og Rossnes (for Kollsnes). Nitrogenavsetning er avhengig av både nedbørmengde, antall timer med høyt nedbørsnivå og hvorvidt nedbøren kommer i form av byger eller kontinuerlig nedbør. I algoritmen fra Inpuff har vi at:

- Det avsettes ikke nitrogen ved opphold.
- Økt nedbørmengde gir økt nitrogenavsetning.
- Med nedbørmengde over en millimeter for NH_3 og over to millimeter for NO_3 vil all nitrogen fra disse komponentene avsettes.
- Ved lengre oppholdsperioder blir mer av utslippet transportert ut av modellområdet og derfor ikke avsatt.
- Ved samme nedbørmengde vasker sporadiske nedbørsbyger ut mer nitrogen enn kontinuerlig regn.

Månedsvise nedbørmengde fra Kårstø og Rossnes/Kollsnes er i Tabell 5 sammenlignet med normalen fra henholdsvis Utsira (1961-1990) og Hellisøy (1961-1975). Nedbørmengden var høyere enn normalt for måleperioden 1994-1995. Når denne måleserien blir brukt i modellkjøringene vil nitrogenavsetningen av den grunn bli noe høyere enn den vil være i gjennom en lengre periode. Det er noe mer nedbør på Kårstø enn på Kollsnes.

Tabell 5: *Nedbørmengde i millimeter på Kårstø, Utsira, Rossnes (ved Kollsnes) og Hellisøy. Målingen er delt opp i hver årstid.*

Sted og tid	Vår	Sommer	Høst	Vinter	Sum
Kårstø 1994 - 1995	213	376	308	594	1 492
Utsira 1994-1995	334	264	314	505	1 417
Utsira 1961-1990	200	249	238	292	979
Rossnes 1991-1992 (ved Kollsnes)	320	206	567	288	1 380
Hellisøy 1991-1992	-	-	-	-	-
Hellisøy 1961-1975	216	255	417	333	1 221

Utvasking av NH_3 og NO_3 er avhengig av nedbørsmengde per time. I algoritmen vil nedbør på en millimeter eller mer forårsaker utvasking av all tilgjengelig NH_3 , mens nedbør på to millimeter eller mer forårsaker utvasking av all tilgjengelig NO_3 . Tabell 6 viser antall timer hvor det forekommer nedbør over forskjellige terskler. På Kollsnes er det flere timer med nedbør og flere timer med nedbørmengder over 0,1 og 0,2 millimeter, men det er flere timer med nedbørmengder over en millimeter og over to millimeter ved Kårstø.

Tabell 6: Antall timer med nedbør og antall timer med nedbørmengde over gitte terskler.

Sted	Kårstø	Kollsnes
Timer totalt i måleprog.	7 852	7 802
Timer med nedbør	1 703	2 235
Timer med > 0,1 mm nedbør	1 312	1 738
Timer med > 0,2 mm nedbør	1 109	1 590
Timer med > 1 mm nedbør	433	328
Timer med > 2 mm nedbør	180	101

Fordeling av avsetningen er også avhengig av antall sammenhengende timer med nedbør og antall sammenhengende timer med opphold. Tabell 7 gir oversikt på antall episoder med sammenhengende nedbør i 4, 6 og 8 timer og antall episoder med sammenhengende opphold på 24 timer ved både Kårstø og Kollsnes. På Kollsnes er det en tendens til at det er lengre perioder med nedbør og lengre perioder med opphold enn på Kårstø.

Tabell 7: Perioder med kontinuerlig nedbør og kontinuerlig opphold.

Sted	Kontinuerlig nedbør			Kontinuerlig opphold 24 timer
	4 timer	6 timer	8 timer	
Kårstø	635	373	219	2 489
Kollsnes	1 313	1 019	827	2 802

Resultatene i Tabell 5, Tabell 6 og Tabell 7 indikerer alle at det kan forventes høyere nitrogenavsetning ved Kårstø enn ved Kollsnes.

3.4 Stabilitet og spredningsforhold

Vurdering av stabilitetsforholdene er basert på timevise målinger av temperatur-differansen (dT) mellom 10 m og 2 m over bakken. Fire stabilitetsklasser er definert på følgende måte:

Ustabil sjiktning (I)	:	$dT < -0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$
Nøytral sjiktning (II)	:	$-0,5 < dT < 0,0\text{ }^{\circ}\text{C}$
Lett stabil sjiktning (III)	:	$0,0 < dT < 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$
Stabil sjiktning (IV)	:	$0,5 < dT\text{ }^{\circ}\text{C}$

Typiske trekk for de ulike stabilitetsklassene kan kort sammenfattes slik:

Ustabile atmosfæriske forhold (U) forekommer oftest om dagen og sommeren ved klarvær og lave vindstyrker og når kald luft transporteres over varm sjø/land. Da vil bakken/sjøen varme opp det nederste luftlaget og det dannes vertikale turbulente luftstrømmer som gir god vertikal spredning av utslippet.

Nøytrale atmosfæriske forhold (N) forekommer ved høye og moderate vindstyrker, og oftest ved overskyet vær. Høy vindstyrke og mindre oppvarming av bakken gir god horisontal og vertikal spredning. Høye vindstyrker danner turbulens ved friksjon med bakken, slik at luftlaget vil bli godt blandet.

Stabile atmosfæriske forhold (LS, S) er typiske for stille, klare netter og vintersituasjoner med avkjøling av bakken og det nederste luftlaget eller når atmosfæren avkjøles nedenfra på grunn av kald sjø. Temperaturen øker med høyden over bakken og det blir dårlig vertikalspredning i det stabile luftlaget.

På Kårstø var det ustabile atmosfæriske forhold i 15,5% av tiden, nøytrale forhold i 57,8% av tiden, lett stabile forhold i 19,8% av tiden og stabile forhold i 6,9% av tiden.

I Tabell A1 i Vedlegg A er frekvensfordeling av vind og stabilitet gitt for hele måleperioden for Kårstø. Av tabellen framgår at stabile situasjoner oftest forekom ved vind fra omkring 360° (nordlig vind), mens ustabile forhold forekom oftest ved vind fra sørvest og vest (210-270°). De dominerende vindretningene var fra sørsørvest (210°) og nord (360°). Forholdsvis lav forekomst av stabil sjiktning (lett stabil og stabil) på totalt 26,7% av tiden gjør at spredningsforholdene i måleperioden må karakteriseres som gode.

På Kollsnes var det ustabile atmosfæriske forhold i 1,2% av tiden, nøytrale forhold i 75,0% av tiden, lett stabile forhold i 18,5% av tiden og stabile forhold i 5,3% av tiden.

I Tabell A1 i Vedlegg A er frekvensfordeling av vind og stabilitet gitt for vinterhalvåret for Kollsnes. Av tabellen framgår at stabile situasjoner oftest forekom ved vind fra omkring 120° (vind fra øst-sørøst), mens ustabile forhold forekom svært sjeldent. De dominerende vindretningene var fra sør-sørøst (150°). Forholdsvis lav forekomst av stabil sjiktning (lett stabil og stabil) på totalt 23,8% av tiden gjør at spredningsforholdene i måleperioden må karakteriseres som gode.

4 Utslippsmengder og utslippsbetingelser

Forbrenning av hydrokarboner forårsaker utslipp til luft av blant annet karbondioksid (CO₂), karbonmonoksid (CO), nitrogenoksider (NO_x), partikler og uforbrente hydrokarboner.

Gass fra Norsk sokkel inneholder normalt lite svovel og tungmetaller. Utslippene av svovel og tungmetaller fra gasskraftverket er bestemt ut fra innholdet av disse stoffene i gassen som blir forbrent.

Ved Kårstø og Kollsnes er det planlagt gasskraftverk der utslipp til luft som et alternativ kan renses med SCR-teknologi. Dette fører til at utslipp av NO_x reduseres, men at det slippes ut ammoniakk (NH_3) fra renseprosessen.

I denne studien er det vurdert avsetning av nitrogen (N). I den sammenheng er det bare utslippene av NO_x og NH_3 som er bidragsytere. Det har blitt gjort beregninger for begge de to aktuelle lokasjonene, Kårstø og Kollsnes. For hvert utslippspunkt er det gjort spredningsberegning og beregning av nitrogenavsetning for 5 ppm NO_x og 5 ppm NH_3 . Utslppsparametre er gitt i Tabell 8. Det er like utslippsbetingelser for Kårstø og Kollsnes og driftstiden er av Naturkraft estimert til 8150 timer per år. På grunn av teknisk status for prosjektet er skorsteinshøyde for gasskraftanleggene per dags dato (januar 2004) noe usikkert. Modellkjøringer med skorsteinshøyder på 50 m, 70 m, og 100 m og ellers identiske utslippsbetingelser og meteorologi viser imidlertid marginalt innbyrdes avvik på nitrogenavsetning. Dette viser at skorsteinshøyde ikke er en viktig parameter for avsetning av nitrogen.

Tabell 8: Utslippsbetingelser for gasskraftverk på Kårstø og Kollsnes.

Parameter	Enhet	Kvantum
Utslipp NO_x *	t/år	177,5
	ppm	5
Utslipp NH_3 **	t/år	54,0
	ppm	5
Skorsteinshøyde	m	70
Skorsteinsdiameter	m	8,0
Røykgasstemperatur	°C	90
Utslippshastighet	m/s	24

* For utslipp av NO_x er det beregnet 5% NO_2 og 95% NO . NO_x er gitt som NO_2 . Ved 15% O_2 .

** For NH_3 er vekten av NH_3 angitt.

Likt ppm-nivå gir likt utslipp av nitrogenatomer.

5 Modellverktøy og oppdatering av metoden

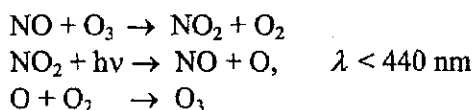
Det har blitt utført spredningsberegninger for å kartlegge bidrag til våtavsetning av nitrogen fra planlagte gasskraftverk på Kårstø og Kollsnes. Våtavsetningen er beregnet med en trajektoriemodell som regner utslipp, kjemiske reaksjoner og avsetning fra time til time. Modellen tar hensyn til nedbør og nedbørintensitet.

Avsetningsmodellen i spredningsmodellen har gjennomgått en revisjon. Den nye versjonen av avsetningsmodellen er utviklet i to versjoner, en for NH_3 og en for avsetning av NO_3 som følge av utslipp av NO_x . Videreutvikling av modellen viser at den estimerte avsetningen av nitrogen blir redusert. Dette gjelder spesielt for

NH₃. De nye versjonene av modellen er basert på de samme typer antagelser, men enkelte elementer er forbedret slik at modellen kommer nærmere virkeligheten.

Når ammoniakk blir sluppet ut, er all ammoniakk tilgjengelig for våtavsetning. NH₃ er løselig i vann og avsetningen er derfor avhengig av nedbørsmengde og intensitet. I algoritmen antas det at ved nedbør er avsetning av tilgjengelig ammoniakk proporsjonal med nedbørmengde opp til en millimeter nedbør per time. Ved nedbør på- eller over en millimeter per time er det antatt at all tilgjengelig ammoniakk blir vasket ut.

NO_x er ikke løselig i vann og vil derfor ikke avsettes ved nedbør. For å få avsatt nitrogen fra NO_x-utslippene må NO_x omdannes kjemisk til vannløselige komponenter. Når NO_x blir sluppet ut dannes NO₃⁻ gjennom kjemiske prosesser mellom flere komponenter og sollys. De viktigste reaksjonene er:



Disse tre prosessene gir likevekt mellom NO, NO₂ og O₃. Målte månedsmiddelkonsentrasjoner av ozon ved Kårstø og Kollsnes er 50-80 µg/m³ (25-40 ppb). Nitrat dannes hovedsakelig av følgende reaksjon:



Denne reaksjonen er aktiv i mørket. Hvor effektive de kjemiske reaksjonene er, avhenger blant annet av konsentrasjonen i røykfanen. Hvis det er dårlig spredning skjer reaksjonene raskere.

Når det ikke er nedbør blir ikke noe nitrat avsatt. Når det er nedbør er avsetningen av tilgjengelig nitrat proporsjonal med nedbørmengden opp til to millimeter nedbør per time. Ved nedbør på- eller over to millimeter per time blir all tilgjengelig nitrat avsatt.

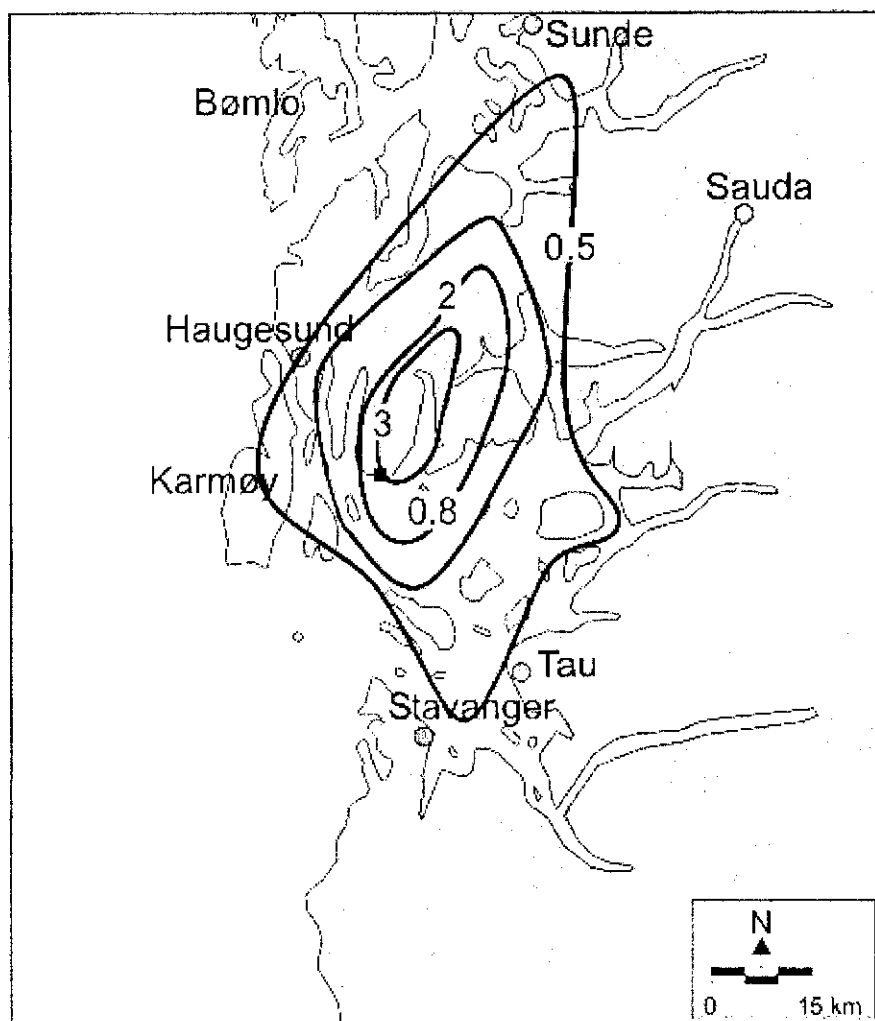
Området som det skal beregnes nitrogenavsetning for deles opp i et grid (rutenett). I disse beregningene er det valgt en størrelse på 10 km x 10 km for hver gridrute. Modellen simulerer utslipp av NH₃ og NO_x sekundvis i hele simuleringsperioden. Hvert sekund slippes et puff som inneholder gitt mengde NH₃ og NO_x. Ved nedbør vil NH₃ og NO₃ vaskes ut fra hvert enkelt puff og avsettes. Når puffene transporteres utenfor modellområdet som er bestemt av gridet forsvinner denne massen ut av beregningene.

6 Spredningsberegninger

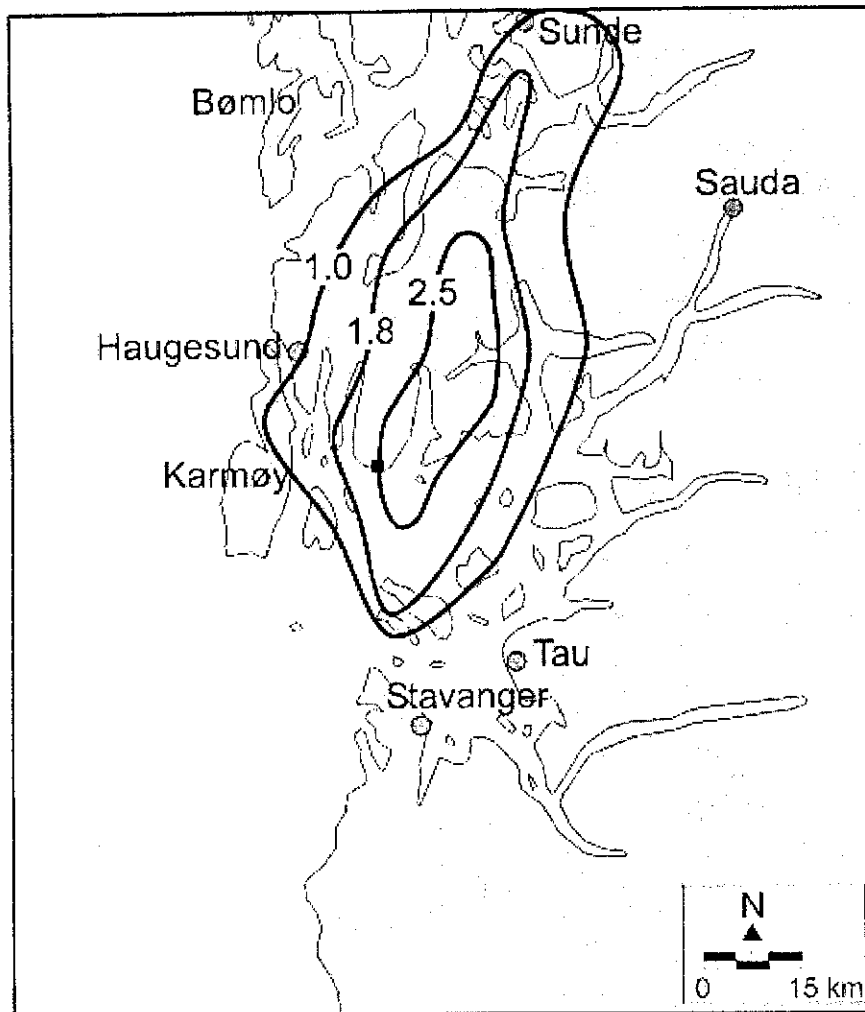
6.1 Kårstø

Figur 4, Figur 5 og Figur 6 viser nitrogenavsetning ved Kårstø for 5 ppm NO_x, 5 ppm NH₃ og summen av disse. Våtavsetningen fra planlagte utslipp på Kårstø er beregnet fra time til time for perioden 1. april 1994 til 31. mars 1995, hvor data for meteorologi, spredningsparametere og nedbør er tilgjengelige. Disse dataene

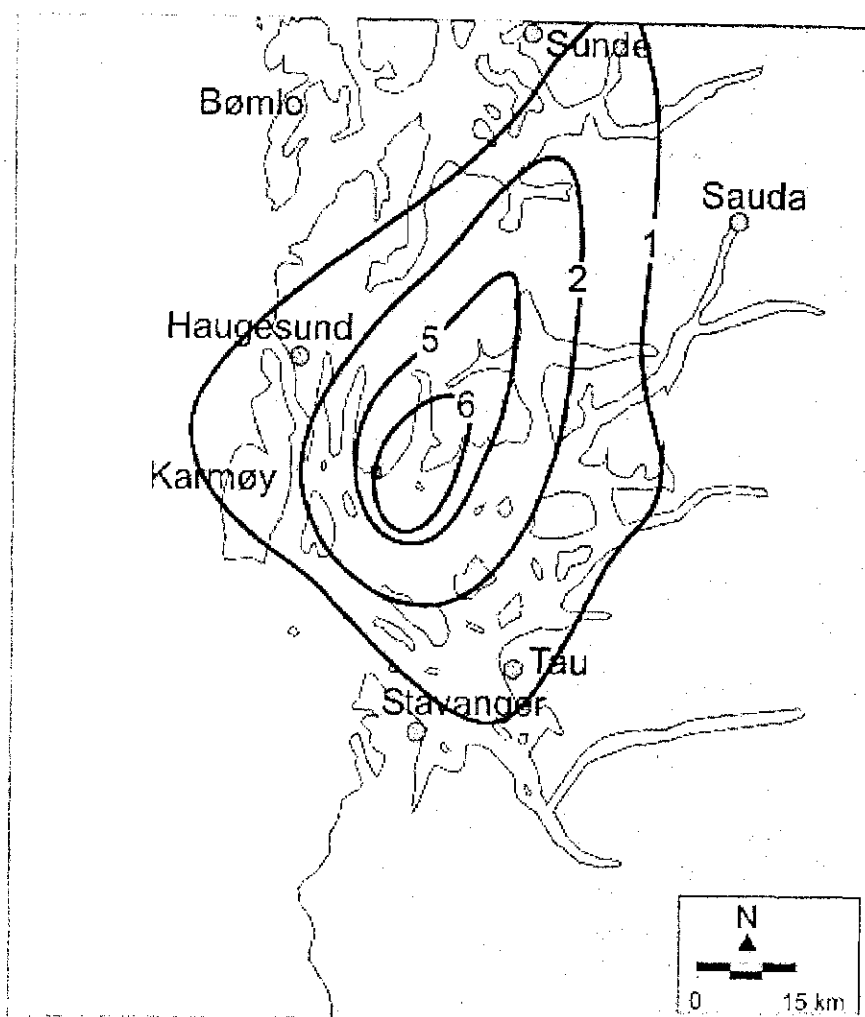
utgjør 7852 timer mot en estimert årlig driftstid på 8150 timer. Resultatet fra beregningene er ikke skalert i forhold til manglende timer, da avsetningens størrelse vil variere fra år til år avhengig av nedbørmengde. Avsetning er gitt i milligram nitrogen slik at nitrogen fra NH_3 og nitrogen fra NO_3^- kan summeres og sammenlignes direkte.



Figur 4: Nitrogenavsetning fra 5 ppm NO_x utslipp ved Kårstø (mg N/m^2 per år). Maksimal gjennomsnittlig avsetning over 10 km x 10 km er 3,5 mgN/m^2 per år.



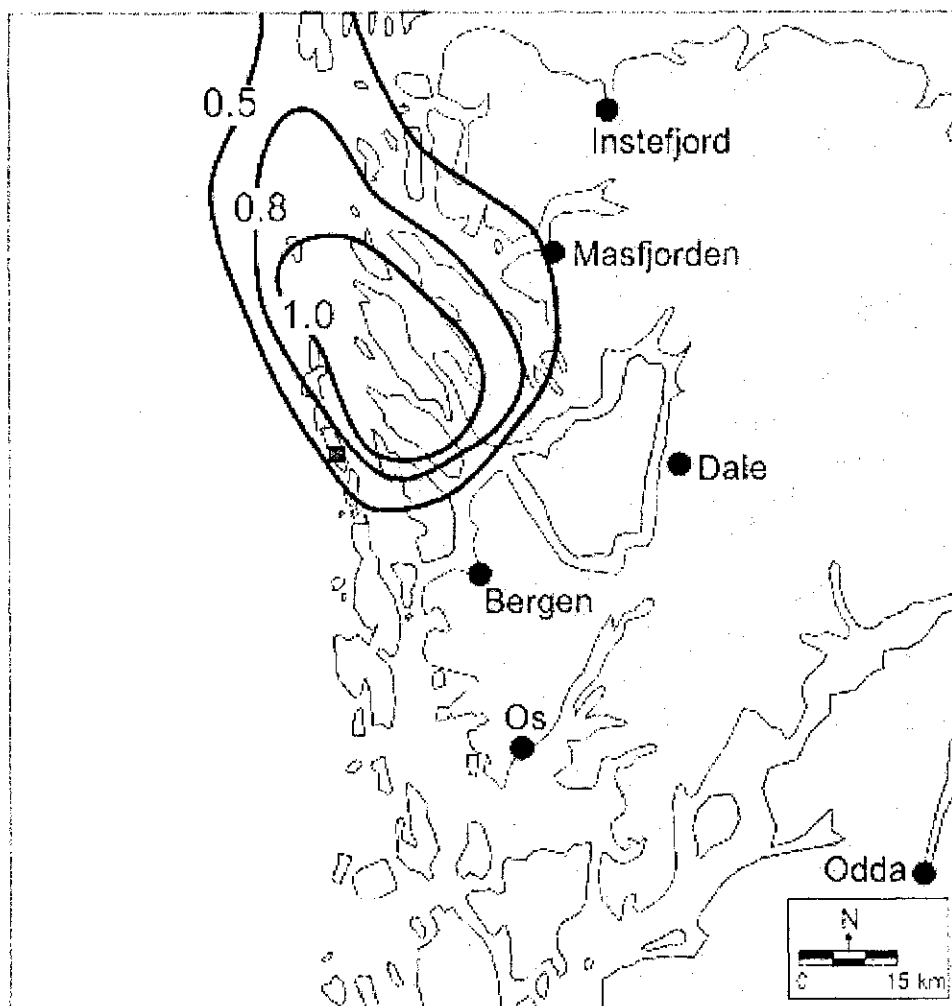
Figur 5: Nitrogenavsetning fra 5 ppm NH_3 utslipp ved Kårstø ($\text{mg N} / \text{m}^2$ per år). Maksimal gjennomsnittlig avsetning over 10 km x 10 km er 3,8 mgN/m^2 per år.



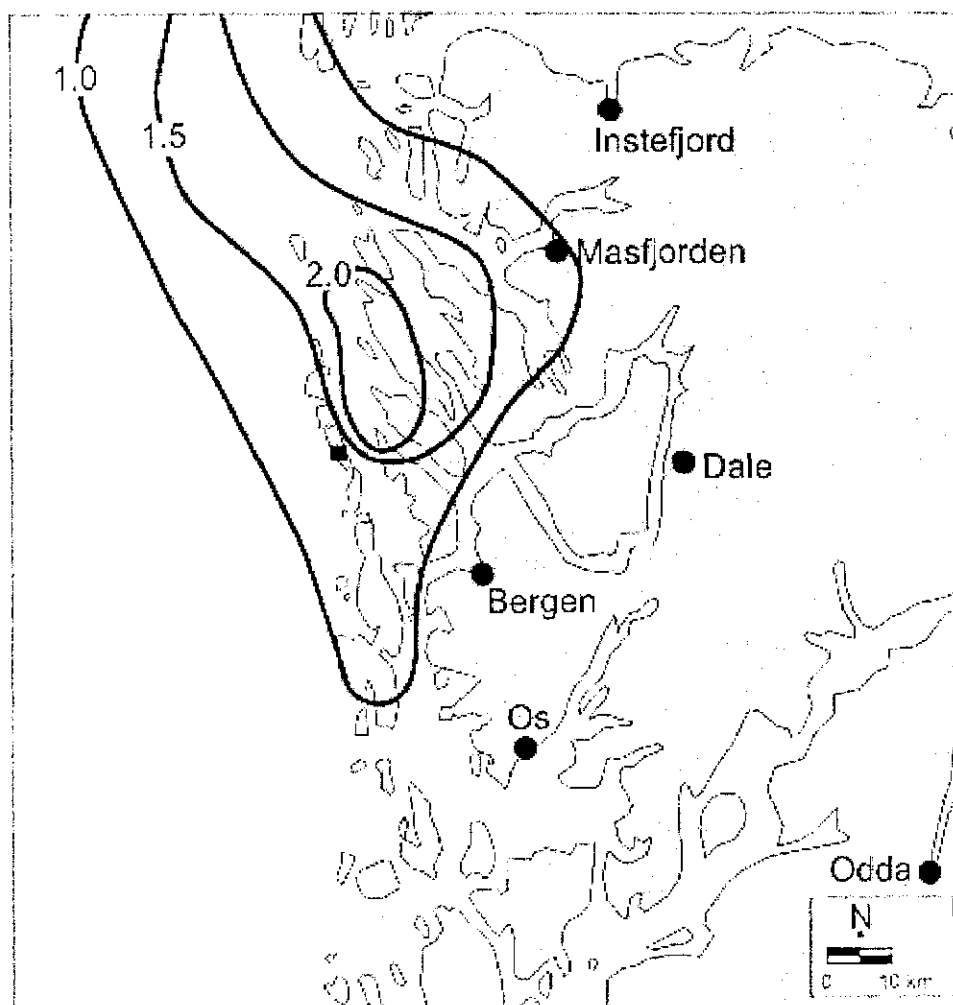
Figur 6: Total nitrogenavsetning fra 5 ppm NH_3 og 5 ppm NO_x -utslipp ved Kårstø ($\text{mg N} / \text{m}^2$ per år). Maksimal gjennomsnittlig avsetning over 10 km x 10 km er 6,2 mgN/m^2 per år.

6.2 Kollsnes

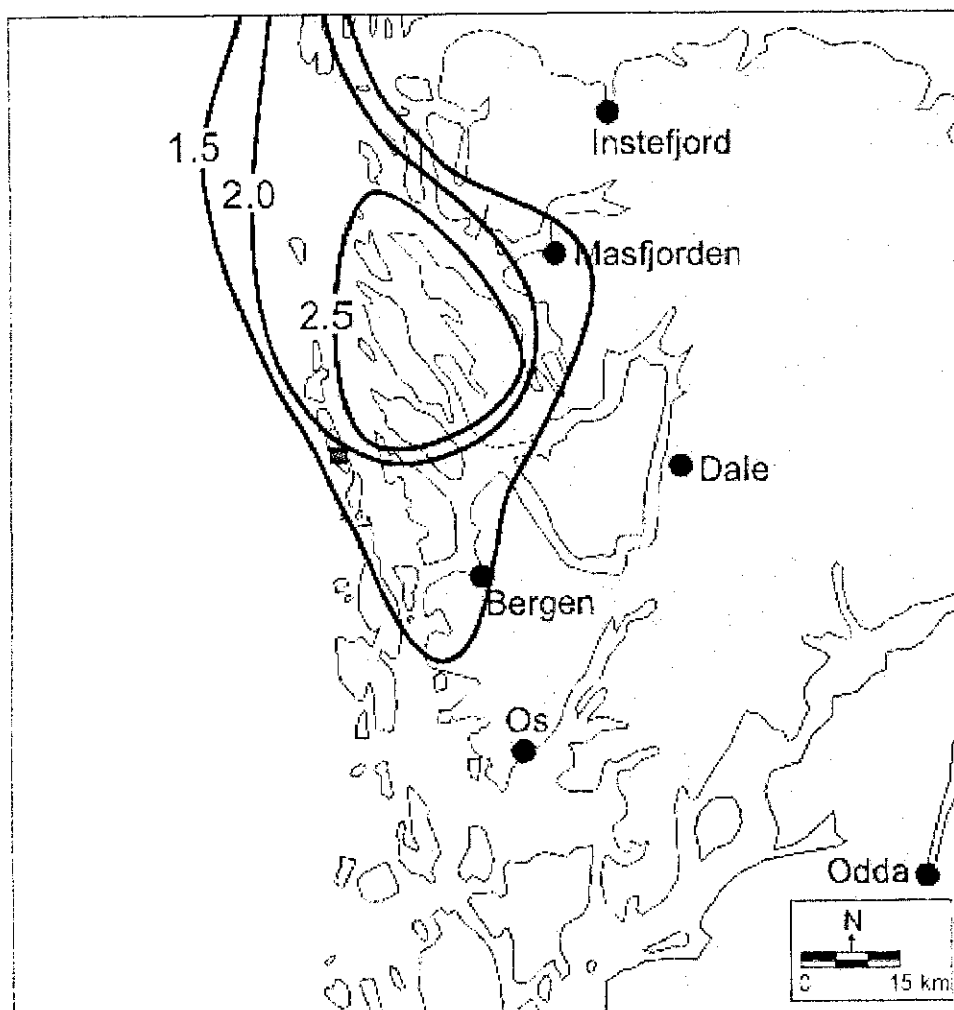
Figur 7, Figur 8 og Figur 9 viser nitrogenavsetning ved Kollsnes for 5 ppm NO_x , 5 ppm NH_3 og summen av disse. Våtavsetningen fra planlagte utslipp på Kollsnes er beregnet fra time til time for perioden 1. juli 1991 til 30. juni 1992. Det er beregnet for timer der data for meteorologi, spredningsparametere og nedbør er tilgjengelige. Disse dataene utgjør 7802 timer mot en estimert årlig driftstid på 8150 timer. Resultatet fra beregningene er ikke skalert i forhold til manglende timer, da avsetningens størrelse vil variere fra år til år avhengig av nedbørmengde. Avsetning er gitt i milligram nitrogen slik at nitrogen fra NH_3 og nitrogen fra NO_3^- kan summeres og sammenlignes direkte.



Figur 7: Nitrogenavsetning fra 5 ppm NO_x utslipp ved Kollsnes ($\text{mg N} / \text{m}^2$ per år). Maksimal gjennomsnittlig avsetning over $10 \text{ km} \times 10 \text{ km}$ er $1,8 \text{ mgN/m}^2$ per år.



Figur 8: Nitrogenavsetning fra 5 ppm NH_3 utslipp ved Kollsnes (mg N/m^2 per år). Maksimal gjennomsnittlig avsetning over 10 km x 10 km er 2,2 mgN/m^2 per år.



Figur 9: Total nitrogenavsetning fra 5 ppm NH_3 og 5 ppm NO_x -utslipp ved Kollsnes (mg N/m^2 per år). Maksimal gjennomsnittlig avsetning over 10 km x 10 km er 3,3 mgN/m^2 per år.

6.3 Oppsummering av maksimal avsetning

Tabell 9 er en oppsummering av maksimalt avsetningsnivå som er beskrevet ved både Kårstø og Kollsnes. Tabellen viser at det avsettes mer nitrogen ved Kårstø enn ved Kollsnes. Dette skyldes at det er mer nedbør ved Kårstø og måten nedbøren er fordelt over tid. Dette er utdypet i kapittel 3.3. Beregningene viser at bidraget fra gasskraftverkene er små i forhold til avsetningen i områdene i dag. Ved Kårstø er maksimal estimert avsetning 6,2 mgN/m^2 per år over et areal på 100 km^2 . Total avsetning i området er estimert til 830-1320 mgN/m^2 per år. Det ekstra bidraget fra gasskraftverket utgjør maksimalt ca 0,6% av dagens avsetning. Den estimerte maksimale avsetning ved Kollsnes er 3,3 mgN/m^2 per år, litt over halvparten av avsetningen ved Kårstø. Det er her viktig å være klar over at beregningene er gjort for to forskjellige år og er derfor ikke umiddelbart sammenlignbare. Avsetning i dag på Kollsnes er estimert til 1040 mgN/m^2 per år. Den maksimale tilleggsavsetningen som følge av utslippet fra gasskraftverket er ca 0,3% av dagens avsetning.

Tabell 9 : Maksimal årlig avsetning innenfor 10 km x 10 km. Enhet er mgN/m² per år. Likt ppm nivå gir likt antall nitrogenatomer.

Utslipp				Kårstø	Kollsnes
NO _x		NH ₃			
ppm	t/år	ppm	t/år		
5	177	-	-	3,5	1,8
-	-	5	53	3,8	2,2
5	177	5	53	6,2	3,3

Beregningene med de nye versjonene av modellen viser at avsetningsnivåene blir lave. Det er fremdeles slik at avsetning av NH₃ er større enn avsetning av NO_x. Konklusjonen fra tidligere rapporter (Knudsen et al. 1997a og Knudsen et al. 1997b) der NILU anbefalte ikke å bruke SCR-rensing vil ikke være riktige ved de nye beregningene, dels fordi de estimerte nivåene er små og dels fordi bidraget til avsatt nitrogen fra NH₃ relativt til avsatt NO_x er mindre.

7 Kvalitetssikring og usikkerhet

Det er alltid knyttet usikkerheter til modellberegninger. Usikkerheter kommer av at enhver modell er en tilnærming av virkeligheten. Samtidig er det ofte usikkerheter i forbindelse med inngangsdata til modellene og kvaliteten på utgangsdata kan aldri bli bedre enn kvaliteten på inngangsdata. I dette kapittelet vil vi drøfte de usikkerhetene som er involvert.

7.1 Meteorologi

Meteorologidata som blir benyttet i modellkjøringene kommer fra ett års målte verdier. Den aktuelle perioden avvek fra det langsiktige gjennomsnittet. De viktigste meteorologiske parameterene for nitrogenavsetning er vindretning, vindstyrke og nedbørmengde. De statistiske sammenhenger mellom disse variablene er også viktige.

Fra Tabell 3 og Tabell 4 har vi sett at de måleseriene som er benyttet har noe høyere vindstyrke enn langtidsmiddelet. Dette gir noe bedre spredningsforhold enn det som er tilfelle over en lengre periode. Total avsetning av nitrogen over modellområdet vil likevel ikke bli betydelig redusert av dette avviket.

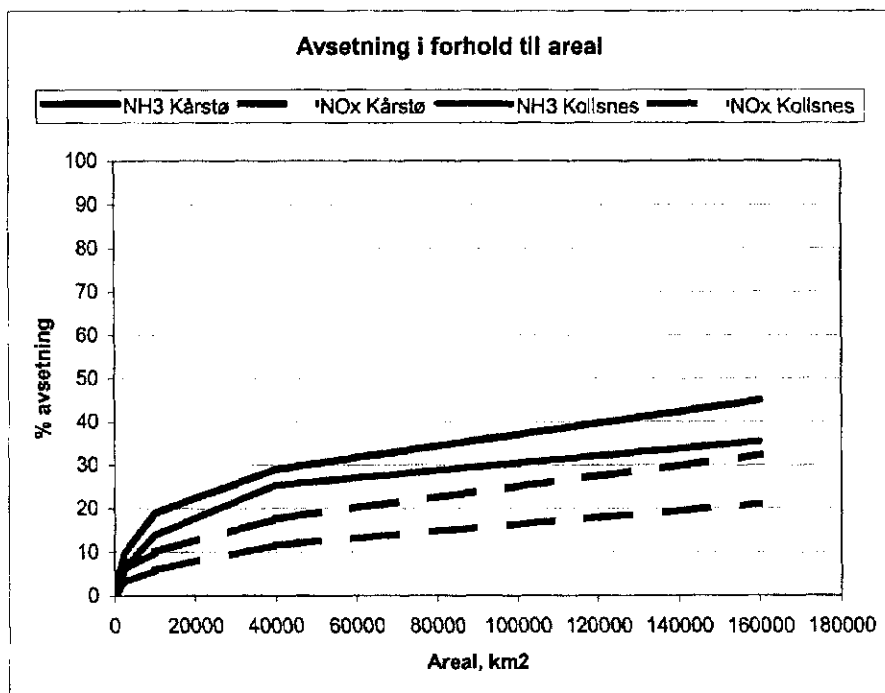
Fra Tabell 5 ser vi at nedbørmengden fra måleperioden er større enn det som er tilfelle for langtidsmiddelet. Både NH₃ og NO_x blir vasket ut av luften ved nedbør og dette gir våtavsetning av nitrogen. Nedbørmengden på Utsira er 45% høyere for måleperioden enn for langtidsmiddelet. Dette vil gi høyere avsetning av nitrogen for modellberegningene enn hva som er tilfelle for et gjennomsnittså.

Selv om det er noe avvik mellom den meteorologien som er benyttet i modellen og langtidsgjennomsnittet vurderes likevel periodene som representative for henholdsvis Kårstø og Kollsnes. Avviket med for høy vind gir noe lavere avsetning enn gjennomsnittet mens avviket med for mye nedbør gir mer avsetning

enn gjennomsnittet. Beregningene er mer sensitive ovenfor nedbørsmengde enn vindstyrke. For et gjennomsnittså vil nitrogenavsetningen derfor være noe lavere enn resultatene i denne studien.

7.2 Evaluering av modellresultater

Modellberegningene er gjort over områder på 400 km x 400 km med kilden i sentrum. Figur 10 viser hvordan prosentandel av nitrogenutslippet avsettes som en funksjon av areal. Figuren viser høyere nitrogenavsetning fra NH_3 -utslippene enn fra NO_x -utslippene, dette er som forventet, se diskusjon i kapittel 5. Det er også høyere nitrogenavsetning ved Kårstø enn ved Kollsnes. En grundig gjennomgang av nedbørsdata fra disse stedene, kapittel 3.3, viser at dette kan forklares ut fra mengde nedbør, og fordeling av nedbør over tid.



Figur 10: Prosentandel av nitrogenutslipp som avsettes som funksjon av areal omkring kildene ved Kårstø og Kollsnes.

Kurvene i Figur 10 illustrerer også en grense for hvor stor usikkerheten kan være. Det kan aldri avsettes mer nitrogen enn det som blir sluppet ut. Et ytterst hypotetisk scenario vil være å skalere kurvene opp til 100% avsetning ved 160 000 km², dvs. innenfor et område på 400 km x 400 km. Dette må ikke betraktes som en usikkerhet eller et intervall for resultatet da denne situasjonen ikke realistisk, det illustrerer bare et absolutt teoretisk tak på avsetningsnivået. Tabell 10 viser hvilke faktorer som avsetningskartene må skaleres med for å få full avsetning innen 400 km x 400 km. Tabell 11 viser hypotetisk maksimal nitrogenavsetning innenfor et område på 10 km x 10 km med gasskraftverkene i sentrum dersom denne skaleringen blir utført.

Tabell 10: Skaleringsfaktorer for å beregne maksimal tenkelig nitrogenavsetning.

Komponent	Kårstø	Kollsnes
NO _x	3,1	4,8
NH ₃	2,2	2,9

Tabell 11: Hypotetisk maksimal nitrogenavsetning innenfor 10 km x 10 km, dersom all nitrogen avsettes innenfor 400 km x 400 km. Enhet er mgN/m² per år.

Utslipp		Kårstø	Kollsnes
ppm NO _x	ppm NH ₃		
5	-	11,8	8,2
-	5	8,3	6,5
5	5	20,1	14,7

7.3 Sammenligning med litteraturen

Fra litteraturen er det eksempler på lignende beregninger som er gjort for andre steder med andre modeller og andre scenarier. Sammenligning med slike resultater er en god indikator på holdbarheten av de beregninger som er gjort i denne studien.

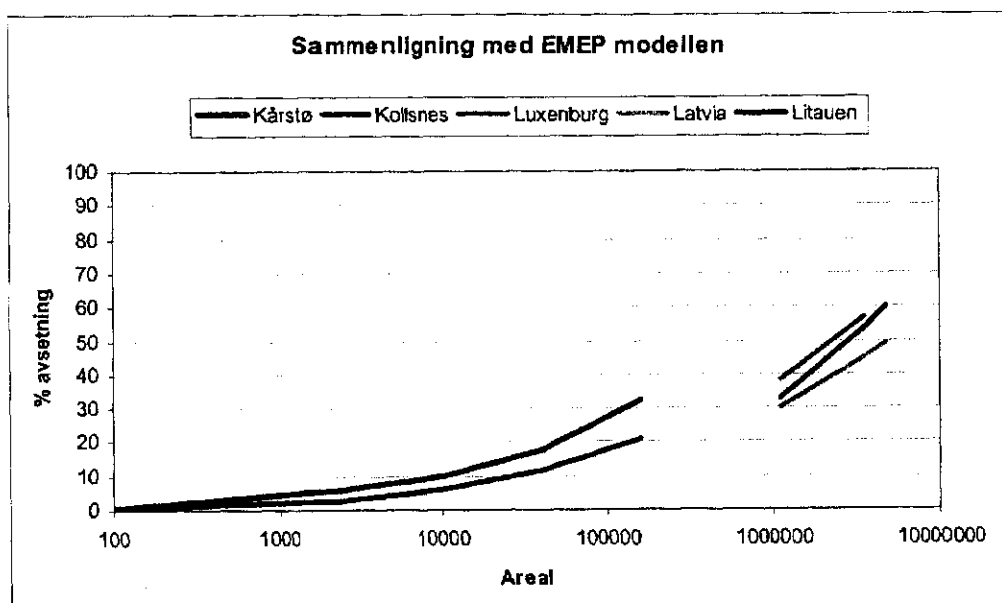
Det er tatt utgangspunkt i avsetningen fra NO_x-utslipp beregnet i EMEP-modellen fra litteraturen. Denne modellen brukes til å beregne bidraget til avsetning fra ett land i andre land. For å få en best mulig sammenligning mellom punktkilder er det tatt utgangspunkt i små land som Luxemburg, Litauen, og Latvia. Det er her beregnet avsetningen innenfor områder som er adskillig større enn det som er beregnet for ved Kårstø og Kollsnes. Det er beregnet prosentandelen av utslippet som avsettes til disse områdene og det er sammenholdt med prosentandelen av NO_x-utslippet som avsettes ved Kårstø og Kollsnes i Tabell 12. En grafisk fremstilling er gitt i Figur 11.

Tabell 12: Prosentandel nitrogen som er avsatt ved Kårstø og Kollsnes der Inpuff er benyttet og fra Luxemburg, Litauen og Latvia der EMEP-modellen er benyttet.

Areal (km ²)	Inpuff		EMEP-modellen		
	Kårstø	Kollsnes	Luxemburg	Litauen	Latvia
160 000	32 %	21 %	-	-	-
1 102 500	-	-	38 %	33 %	30 %
3 465 000	-	-	57 %	-	-
4 725 000	-	-	-	60 %	49 %

Tabell 12 viser at for de beregninger som er gjort i denne studien blir 20 – 30% av all nitrogen avsatt innenfor 160 000 km², mens for EMEP-modellen blir 30 – 40% av all nitrogen avsatt innenfor 1 102 500 km². Tabellen viser at beregningene fra Kårstø og Kollsnes gir noe raskere avsetning av nitrogen enn beregningene fra

Luxemburg, Latvia og Litauen, men at avsetningen er i samme størrelsesorden ved alle tilfellene. Dette er som forventet ettersom det er grunn til å anta at det er mer nedbør på Vestlandet enn ved disse tre landene. Sammenligningen gir ikke svar på om beregningene ved Kårstø og Kollsnes er korrekte, men den viser at resultatene er i samsvar med etablerte resultater fra den internasjonale litteraturen.



Figur 11: Grafisk fremstilling av Tabell 12.

8 Referanser

- Knudsen, S., Aarrestad, P. A., Skjelkvåle, B. L. (1997a) Konsekvenser av utslipp av NO_x og NH_3 til luft fra gasskraftverk, Kollsnes. Kjeller (NILU OR 70/97).
- Knudsen, S., Aarrestad, P. A., Skjelkvåle, B. L. (1997b) Konsekvenser av utslipp av NO_x og NH_3 til luft fra gasskraftverk, Kårstø. Kjeller (NILU OR 71/97).
- Knudsen, S., Skjelkvåle, B. L., Aarrestad, P. A. (2002) Effekter av økte nitrogenoksidutslipp til luft fra Kårstøanleggene i Rogaland. Kjeller (NILU OR 39/2002).
- Guerreiro, C. (1998) Konsekvenser av økte NO_x utslipp til luft ved behandling av gass fra Kvitebjørn og Haltenbanken Sør på Kollsnes. Kjeller (NILU OR 72/98).
- Aas, W., Tørseth, K., Solberg, S., Berg, T., Manø, S., Yttri, K. E. (2002) Overvåking av langtransportert forurenset luft og nedbør. Kjeller (NILU OR 21/2002).

- Dahl, E., Elven, R., Moen, A. og Skogen, A. (1986) Vegetasjonsregionkart over Norge 1:1 500 000. Nasjonalatlas for Norge. Statens Kartverk.
- Dise, N. og Wright, R.F. (1995) Nitrogen leaching from European forests in relation to nitrogen deposition. *For. Ecol. Manage.*, 71, 153-161.
- Fremstad, E., Aarrestad, P.A. og Skogen, A. (1991) Kystlynghei på Vestlandet og i Trøndelag. Naturtype og vegetasjon i fare. Trondheim (NINA Utredning 029).
- Gjershaug, J.O., Thingstad, P.G., Eldøy, S. og Byrkjeland, S. (red.) (1994) Norsk fugleatlas. Klæbu, Norsk Onitologisk Forening.
- Gustad, J.R. (1992) Fugler i Norge 1991. *Vår Fuglefauna*, 15, 209-226.
- Gustad, J.R. (1993) Fugler i Norge 1992. *Vår Fuglefauna*, 16, 227-248.
- Hornung, M., Sutton, M.A. and Wilson, R.B. (1995) Mapping and modelling of critical loads for nitrogen. A workshop report. Edinburgh, Institute of Terrestrial Ecology, Edinburgh Research station.
- Håland, A. (1981) Våtmark i Hordaland. *Vår Fuglefauna*, 4, 33-36.
- Håland, A. (1982) Høsttrekket av vadeugl på Herdla, Hordaland, 1979. *Vår Fuglefauna*, 5, 3-12.
- Lundberg, A. og Hansen, K.F. (1992) Fra lynghei til gassterminal. Flora og vegetasjon på Kollsnes i Øygarden før Troll-utbyggingen. Bergen, Inst. for geografi, NHH og UiB. s. 1-53.
- Sigmond, E.M.O., Gustavson, M. og Roberts, D. (1984) Berggrunnskart over Norge. M. 1: 1 million. Trondheim, Norges geologiske undersøkelser.
- Statoil (1995) Konsekvensutredning for gassbehandlingsanlegg på Kollsnes/Kårstø samt tilhørende landrørledninger. Åsgard, Statoil & Saga Petroleum.
- Tamm, C.O. (1991) Nitrogen in terrestrial ecosystems. Questions of productivity, vegetational changes and ecosystem stability. Berlin, Springer Verlag (Ecological Studies 81).
- Åbro, A. (1988) Sangsvaner i Øygarden nordvest for Bergen. *Vår Fuglefauna*, 11, 150-151.
- Aerts, R., Wallén, B. og Malmer, N. (1992) Growth-limiting nutrients in *Spagnum*-dominated bogs subject to low and high atmospheric nitrogen supply. *J. Ecol.*, 80, 131-140.

- Bakken, S. og Flatberg, K.I. (1995) Effekter av økt nitrogen-avsetning på ombrotrof myrvegetasjon. En litteraturstudie. Dragvoll (ALLFORSK Rapport 3).
- Blom, H.H., Røsberg, I. og Skjolddal, L.H. (1982) Vegetasjon og flora på Kårstø, Tysvær kommune, Rogaland. Bergen (Univ. i Bergen, Botanisk institutt. Rapport 2).
- Bobbink, R., Heil, G. W. and Raessen, M.B.A.G. (1992) Atmospheric deposition and canopy exchange in heathland ecosystems. *Environ. Poll.*, 75, 29-37.
- Brandrud, T. E. (1995) The effects of experimental nitrogen addition on the ectomycorrhizal fungus flora in an oligotrophic spruce forest at Gårdsjön, Sweden. *For. Ecol. Manage.*, 71, 111-122.
- Bruteig, I. E. (1996) Terrestrisk naturovervåkning. Vekstrater hos vanleg kvistlav 1993 - 1994. Dragvoll (ALLFORSK Rapport 5).
- de Bakker, A.J. (1989) Effects of ammonia emission on epiphytic lichen vegetation. *Acta Bot. Neerl.*, 38, 337-342.
- Fremstad, E. (1992) Virkninger av nitrogen på heivegetasjon. En litteraturstudie. Trondheim (NINA Oppdragsmelding 124).
- Gimingham, C. H. (1972) Ecology of heathlands. London, Chapman and Hall.
- Heil, G.W. and Diemont, W.H. (1983) Raised nutrient levels change heathlands into grasslands. *Vegetatio*, 53, 113-120.
- Hjeltnes, A. (1994 a) Overvåkning av kystlynghei. Årsrapport 1994. Bø, Telemarksforskning (Arbeidsrapport 7/94).
- Hjeltnes, A. (1994 b) Overvåkning av kystlynghei. Rapport fra feltarbeidet i 1994. Tysvær kommune. Bø, Telemarksforskning. (Arbeidsrapport 17/94).
- Holopainen, T. and Kärenlampi, L. (1985) Characteristic ultrastructural symptoms caused in lichens by experimental exposure to nitrogen compounds and fluorides. *Ann. Bot. Fenn.*, 22, 333-342.
- Kaland, P.E. (1979) Landskapsutvikling og bosetningshistorie i Nordhordalands lyngheiområder. I: *På leiting etter den eldste garden*. Red. av R. Fladby & J. Sandnes. Oslo, Universitetsforlaget. s. 41-70.
- Kauppi, M. (1980) The influence of nitrogen-rich pollution components on lichens. Oulu. (Acta Universitatis Oulensis, A101) (Biologica, 9).
- Lundberg, A. (1998) Karmøys flora. Biologisk mangfold i eit kystlandskap. Bergen, Fagbokforlaget.

- Malmer, N. (1993) Mineral nutrients in vegetation and surface layers of *Sphagnum* dominated peat-forming systems. *Adv. Bryol.*, 5, 223-248.
- Marrs, R.H. (1986) The role of catastrophic death of *Calluna* in heathland dynamics. *Vegetatio*, 66, 109-115.
- Moen, A. (1998) Nasjonalatlas for Norge: vegetasjon. Hønefoss, Statens kartverk.
- Nygaard, P.H. og Ødegaard, T. (1993) Langsiktige effekter av nitrogengjødsling på vegetasjon og jord i barskog. Ås (Rapport fra Skogforsk 26/93).
- Thomassen, J. red. (1992) MTBE-anlegg Kårstø. Konsekvensutredninger for miljø, naturressurser og samfunn. Trondheim (NINA oppdragsmelding 142).
- Tønnesen, D. og Haugsbakk, I. (1995) Luft- og nedbørkvalitet på Kårstø vinteren 1994/95. Kjeller (NILU OR 40/95).
- Tønnesen, D. (1995) Luftkonsentrasjoner av nitrogendioksyd på Kårstø 1986-1995. Kjeller (NILU OR 28/95).
- van Dobben, H. (1991) Effects on heathlands In: *Acidification research in the Netherlands*. Final report of the Dutch Priority Programme on Acidification. Ed. by Heij, G.J. & Schneider, T. Amsterdam, Elsevier (Studies in environmental science 46) s. 139-145.
- von Arb, C. (1987) Photosynthesis and chlorophyll content of lichen *Parmelia sulcata* Taylor from locations with different levels of air pollution. In: *Progress and Problems in Lichenology in the eighties*. Ed.: Peveling, E. Berlin, J. Cramer. (Bibliotheca Lichenologica 25). pp. 343-345.
- Jauhiainen, J., Vasander, H. and Silvola, J. (1992/93) Differences in response of two *Sphagnum* species to elevated CO₂ and nitrogen input. *Suo*, 43, 211-215.
- Lütke Twenöven, F. (1992) Competition between two *Shagnum* species under different deposition level. *J. Bryol.*, 17, 71-80.
- Press, M.C., Woodin, S.J. and Lee, J.A. (1986) The potential importance of an increased atmospheric nitrogen supply to the growth of ombrotrophic *Sphagnum* species. *New Phytol.*, 103, 45-55.
- Greven, H.C. (1992) Changes in the moss flora of the Netherlands. *Biol. Conserv.*, 59, 133-137.
- Tybirk, K., Bak, J. and Henriksen, L.H. (1995) Basis for Mapping of Critical Loads. Copenhagen, Nordic Council of Ministers. (TemaNord 1995:510).
- Pedersen, F. H. (1982) Ornitologiske og viltbiologiske undersøkelser på Kårstø i Rogaland. Bergen (Laboratorium for ferskvannsökologi og innlandsfiske, Zoologisk Museum, Univ. i Bergen Rapport 44).

Vedlegg A

Meteorologiske forhold

Tabell A1: Forekomst av vindretning, vindstyrke og stabilitet under måleperioden 1994-95 på Kårstø.

Vind- retning	0,0-2,0 m/s				2,0-4,0 m/s				4,0-6,0 m/s				Over 6 m/s				Rose	
	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV		
30	0,1	1,2	1,8	1,4	0,1	0,6	0,6	0,0	0,2	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,4	
60	0,0	1,2	1,6	0,7	0,0	0,4	0,5	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,6	
90	0,1	0,9	0,4	0,1	0,4	2,2	0,7	0,0	0,2	0,8	0,1	0,0	0,0	0,6	0,3	0,0	6,8	
120	0,3	0,4	0,2	0,0	1,0	1,2	0,2	0,0	0,0	0,7	0,1	0,0	0,0	0,9	0,1	0,0	5,2	
150	0,1	0,3	0,2	0,0	0,2	0,9	0,1	0,0	0,0	1,2	0,2	0,0	0,0	1,5	0,1	0,0	5,0	
180	0,1	0,5	0,1	0,0	0,6	2,0	0,2	0,0	0,0	2,0	0,1	0,0	0,0	1,3	0,0	0,0	7,0	
210	0,5	1,3	0,3	0,0	1,2	2,8	0,3	0,0	0,7	3,7	0,4	0,0	0,4	5,4	0,5	0,0	17,6	
240	0,0	1,4	0,4	0,1	1,1	1,8	0,6	0,0	0,3	1,4	0,6	0,0	0,0	0,7	0,4	0,0	9,1	
270	0,1	1,2	0,6	0,5	1,4	2,1	0,5	0,0	0,3	1,0	0,2	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	8,3	
300	0,1	1,2	1,3	0,6	1,1	1,6	0,5	0,0	0,5	0,3	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,3	
330	0,0	0,8	0,8	1,2	1,3	1,5	0,6	0,1	0,4	0,5	0,2	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	7,7	
360	0,0	1,4	1,0	1,5	0,9	3,3	1,2	0,3	1,3	2,4	0,9	0,0	0,1	0,6	0,2	0,0	15,1	
Stille	0,0	0,0	0,0	0,0													0,0	
Totalt	1,6	11,7	8,8	6,3	9,3	20,0	6,1	0,6	4,0	14,3	3,1	0,0	0,5	11,4	1,8	0,0	100,0	
Forekomst	28,5%				36,3%				21,6%				13,7%				100,0%	
Vindstyrke	1,2 m/s				3,0 m/s				4,9 m/s				7,8 m/s				3,5 m/s	
Forekomst	Fordeling på stabilitetsklasser																	
	Ustabil 15,5%				Nøytral 57,8%				Lett stabil 19,8%				Stabil 6,9%				100,0%	

Tabell A2: Vind- og stabilitetsfordeling for vinterhalvåret på Kollsnes fordelt på 12 vindsektorer, 4 vindstyrkeklasser og 4 stabilitetsklasser.

Vind- retning	0-3,0 m/s				3,0-5,0 m/s				5,0-7,0 m/s				over 7,0 m/s				Rose
	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	
30	0,1	1,0	1,4	0,3	0,0	0,5	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	3,7
60	0,1	0,7	1,0	0,7	0,0	0,2	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,9
90	0,0	1,3	0,8	0,6	0,0	0,4	0,3	0,2	0,0	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,2
120	0,0	1,9	1,1	1,4	0,0	2,0	1,9	0,8	0,0	0,4	0,1	0,0	0,0	0,2	0,1	0,0	9,9
150	0,0	1,5	0,5	0,4	0,1	3,5	1,8	0,4	0,1	3,1	0,8	0,0	0,0	8,1	1,1	0,0	21,4
180	0,0	0,5	0,2	0,1	0,1	1,5	0,2	0,1	0,0	1,9	0,1	0,0	0,0	11,1	0,1	0,0	16,4
210	0,0	0,6	0,3	0,1	0,1	1,5	0,3	0,0	0,0	1,8	0,1	0,0	0,0	2,5	0,4	0,0	7,6
240	0,1	0,4	0,3	0,1	0,0	1,4	0,2	0,0	0,0	2,1	0,4	0,0	0,0	2,5	0,3	0,0	7,9
270	0,0	0,6	0,3	0,0	0,0	0,9	0,1	0,0	0,0	0,8	0,1	0,0	0,0	1,7	0,1	0,0	4,7
300	0,0	0,5	0,1	0,0	0,1	1,1	0,1	0,0	0,0	0,7	0,1	0,0	0,0	1,5	0,1	0,0	4,3
330	0,0	0,5	0,3	0,1	0,1	1,5	0,5	0,0	0,0	2,0	0,3	0,0	0,0	2,6	0,8	0,0	8,7
360	0,1	2,5	1,1	0,0	0,1	2,2	0,2	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	1,4	0,1	0,0	8,7
Stille	0,0	0,1	0,1	0,0													0,2
Forekomst	23,9%				24,8%				16,5%				34,8%				100%
	Fordeling på stabilitetsklasser																
	Ustabil				Nøytral				Lett stabil				Stabil				
Forekomst	1,2%				75,0%				18,5%				5,3%				

Vedlegg B

Vurderingskriterier for vegetasjon

Total nitrogenavsetning fra atmosfæren regnes som summen av tørravsatt nitrogen og våtavsatt nitrogen.

Planter og mikroorganismer tar opp tilført nitrogen og inkorporerer dette i organisk materiale. Økt nitrogen tilgang kan således gi gjødselseffekter og føre til økt biomasseproduksjon, endringer i konkurranseforhold mellom arter og endringer av artssammensetningen mot mer nitrogenkrevende vegetasjon (Tamm, 1991).

Grensen for hvor mye nitrogen naturen kan nyttiggjøre seg, avhenger sterkt av jordsmonn og hva slags vegetasjon som finnes i området. Tålegrensen for vegetasjon, der det kan skje endringer i artssammensetninger og mengdeforhold av arter, varierer mellom 500 og 3500 mgN/m² per år (UN ECE Task Force on Mapping, 1995; Hornung et al., 1995). For nedbørmir er den satt til 500-1000 mgN/m² per år, for kystlyngheier 1500-2000 mgN/m² per år, for næringsfattig barskog 700-2000 mgN/m² per år og næringsfattig løvskog 1000-2000 mgN/m² per år (tabell 2). Tålegrensene er satt opp med en nedre og øvre grense innen hver vegetasjonstype, da de er svært avhengige av variasjoner i lokale økologiske forhold som lokalklima, jordsmonn og berggrunnsforhold.

Tabell 13: Tålegrenser for avsetning av nitrogen (UN ECE, 1995).

Vegetasjon	mgN/m ² per år
Nedbørmir	500-1000
Kystlynghei	1500-2000
Næringsfattig barskog	700-2000
Næringsfattig løvskog	1000-2000

Det er vist gjennom empiriske studier av skogøkosystemer i Europa (Dise og Wright, 1995) at for N-avsetning opp til 900 mgN/m² per år kan økosystemet ta opp all tilført N. For avsetning mellom 900-2500 mgN/m² per år kan 0-100% av N lekke ut i avrenningen avhengig av nedbørfeltets karakter, mens for avsetninger over 2500 mgN/m² per år vil 50-100% av N lekke ut i avrenningen. Det er ikke gjort tilsvarende undersøkelser for økosystemer uten skog.

Kystlyngheiene på Vestlandet er et resultat av generasjoners påvirkning på miljøet gjennom avskogning, brenning, vinterbeite og lyngslått (Gimingham, 1972; Kaland, 1979; Fremstad et al., 1991). De er generelt tilpasset liten tilgang på nitrogen og ansees som følsomme for økt nitrogentilførsel. En litteraturstudie utført av Fremstad (1992) oppsummerer virkninger av nitrogen tilførsel på lynghei. Gjødsling med nitrogen har vist at løvfellende arter som blåbær, blokkebær, gressene blåtopp og smyle har et større vekstpotensiale og er mer effektiv i sin utnyttelse av nitrogenressurser enn eviggrønne arter som røsslyng, tyttebær og krekling. I nederlandske, tyske og britiske lyngheier presses røsslyng og klokkeling ut av gressarter, først og fremst blåtopp (Heil & Diemont, 1983; van Dobben, 1991; Bobbink et al., 1992; Marrs, 1986). I de siste tiårene har kystlyngheier i Rogaland og Sunnhordland vist den samme utviklingstendensen, samtidig som de vokser til med busker og trær (Fremstad, 1992; Hjeltne, 1994 a, 1994b). Disse vegetasjonsendringene skyldes en kombinasjon av økt nitrogennedfall,

svekkelse av røsslyng gjennom angrep av røsslyngbillen, frost- og tørkeskader og endringer i jordbruksdrift.

Nedbørmyrer er avhengig av tilførsel av næringsstoffer fra nedbøren og ansees som et av de mest følsomme systemene overfor økt nitrogen avsetning. Artsinventaret på disse myrene er tilpasset lav nitrogentilførsel, og nitrogen er normalt ansett å være en vekstbegrensende faktor (Malmer, 1993; Aerts et al., 1992). En litteraturstudie utført av Bakken & Flatberg (1995) om effekter av økt nitrogenavsetning på nedbørsmyr, og en kunnskapsoppsummering av Tybirk et al. (1995), viser at det i Nordvest-Europa er observert endringer i produksjon og konkurranseforhold mellom torvmoser og en økning av middels næringskrevende karplanter som blåtopp og duskull. Disse endringene settes i sammenheng med økt nitrogen avsetning. I områder med lav nitrogentilførsel har mosedekket på nedbørsmyr evne til å ta opp og holde på atmosfærisk tilført nitrogen. Ved høy nitrogenavsetning vil imidlertid evnen til å immobilisere nitrogen avta. Mer nitrogen tilføres rotsonen og blir tilgjengelig for karplanter som således kan få økt vekst. Endringer i konkurranseforholdet mellom torvmoser og karplanter, kan også skyldes endringer i nedbrytningshastighet av strø og økt mineralisering av akkumulert organisk materiale ved økt nitrogen tilførsel.

I Nederland har artssammensetningen i mosesjiktet endret seg fra de karakteristiske torvmoseartene til mer nitrogenkrevende arter (Greven, 1992; Lütke Twenhöven, 1992). I Storbritannia har svært høy nitrogenbelastning vist vekstreduksjon og nedgang i populasjoner av torvmoser (Press et al., 1986). I Sør-Sverige har nedbørmyrer blitt mettet med nitrogen ved dagens avsetning på 1000-1300 mgN/m² per år og resultert i økt torvmosevekst. Fosfor er nå blitt den begrensede faktor og ikke nitrogen (Aerts et al., 1992). Slike strukturelle endringer kan skje allerede rundt 700 mgN/m² per år. I Finland har Jauhiainen et al. (1992/93) vist at arter som rusttorvmose og rosetorvmose reagerer negativt på høye nitrogenbelastninger, mens klubbetorvmose viser større toleranse ovenfor nitrogen. I Norge er det ikke publisert undersøkelser som viser effekter av nitrogenpåvirkning på myrvegetasjon, men det er nærliggende å anta at endringer også skjer i norske nedbørmyrer med høy nitrogenbelastning.

Næringsfattig barskog og løvskog har en høyere øvre tålegrense enn nedbørmyrer og kan således tåle mer nitrogentilførsel før det oppstår endringer i økosystemet. Likevel er den nedre grensen lavere, noe som gjelder for de aller fattigste skogstypene. For undervegetasjonen i skog kan økt nitrogenavsetning føre til endringer i artssammensetningen mot mer nitrofile arter (Nygaard & Ødegaard, 1993) og til nedsatt dannelse av fruktlegemer til mykorrhiza sopp (Branderud, 1995).

Epifyttiske lav og moser tar opp nitrogen både i tørr og våtavsetning. Moderate økninger i tilgjengelig nitrogen har ført til økt vekst av enkelte lavararter på trær. (Bruteig, 1996; de Bakker, 1989; Holopainen og Kärenlampi, 1985; Kauppi, 1980; von Arb, 1987).

Kårstø

Kårstø ligger i Tysvær kommune i Rogaland. Landskapet er kupert og fjellene når opp i 300 m. Landskapet omkring utbyggingsstedet var opprinnelig dekt av myr i en 3 km bred strandflate. I dag er myrområdene stort sett drenert, og disponeres til jordbruksformål. De tykkeste moreneavsetningene finnes i forsenkningene i de flateste områdene. De konvekse landskapsformene mangler eller har meget tynt morenedekke. På grunn av det fuktige klimaet er berget ofte dekt av sur lynghumus.

Berggrunnen i nærområdet til Kårstøanleggene består av omdannet og nokså skifrig kambrosilur bergarter (Sigmond et al., 1984). Ved forvitring gir dette et middels bra substrat for planteproduksjon. I områdene nord og vest for Kårstø er det imidlertid surere og hardere gneissbergarter, som gir opphav til mer næringsfattig jordsmonn og mindre næringskrevende vegetasjon. Sure gneiser, granitt og gabbro er de vanligste bergartene i Sveio og Ølen, mens områdene øst for Kårstø i Vindafjord kommune har rikere bergarter. Kalkrike bergarter finnes også på søre Bømlo og på Stord.

Influensområdet ligger hovedsakelig i "sterkt oseanisk vegetasjonsseksjon" (Moen, 1998). Seksjonen er karakterisert av åpen kystlynghei med stor dominans av røsslyng, og ellers forekommer mange vestlige arter. Seksjonen mangler stort sett skog, noe som hovedsakelig skyldes menneskelig aktivitet gjennom hogst, brenning, slått og beite, mens myrer og kulturpåvirkede enger danner mosaikk i landskapet. De østligste delene av influensområdet ligger i klart "oseanisk vegetasjonsseksjon", der epifytttrike, oseaniske skoger er mer vanlig.

Vegetasjon og flora på Kårstø ble undersøkt av Blom et al. (1982). Det undersøkte området strekker seg et par kilometer ut fra det regulerte industriområdet og omfatter også øyene Ogn, Ognakalven og Kjøyne. Totalt ble ca. 6 km² vegetasjonskartlagt (kun fastlandet rundt industriområdet og Ognøy). Innen dette området er det beskrevet forekomster av kystlynghei, beitemarker/enger, strandvegetasjon, myr og skog (Thomassen, 1992). Kystlyngheia er helt dominerende og dekker hele 73% av det kartlagte arealet. Det skilles mellom røsslyng-tørrheier (1/3 av alle heiene), røsslyng-våtheier og gressheier. Blant røsslyng-tørrheiene finnes en varmekjær og sterkt oseanisk undertype av hei med forekomst av purpurlyng. Denne heitypen opptar bare små arealer i området. Røsslyng-våtheiene har større utbredelse. Denne heitypen karakteriseres av stor forekomst av fuktarter, blant annet klokkeling, blåtopp og torvmosearter. Gressheiene har oftest sin opprinnelse i røsslyngheier, og er mer artsrike og mer verdifulle beiter. Røsslyng- og gressheiene særmerker landskapet på Kårstø og Ognøy.

Myrtypene innen det samme kartlagte området dekker 5% av området. Her finnes både nedbørmyrer og næringsfattige sigevannsmyrer. Skogbestander finnes i hovedsak mellom Kleivå og Sandvik, og består for det meste artsfattige eikeskoger og bjørkeskoger. En mindre rik askeskog med hassel i busksjiktet ble registrert på Slettå.

Artsrikdommen for karplanter i det kartlagte området er høyere enn normalt så nær kyststripen, noe som trolig skyldes rik berggrunn og stor variasjon i

lokalklimatiske forhold. Thomassen (1992) registrerte totalt 325 karplantearter innenfor det 6 km² store området. Antall moser i samme området var 263, mens antall lavararter var 313, fordelt på 116 arter makrolav, 197 arter mikrolav. Blom et al. (1982) konkluderer at selv om floraen ved Kårstø er artsrik, er det få arter som kan benevnes sjeldne.

De kartlagte vegetasjonstypene innen nærområdet til Kårstøanleggene er også vanlig ellers i influensområdet, dvs. at kystlynghei, beitemarker/enger, strandvegetasjon, myr og skog er de vanligste vegetasjonstypene. Åpent kulturlandskap med kystlyngheier, enger og havstrand er også rikt representert på Karmøy (Lundberg 1998). I følge kartlegginger av kystlyngheier utført av Fremstad et al. (1991) i Sveio kommune finnes det her større areal av kystlyngheier, vekselvis med myr og beitemarker. Myrrealene, der nedbørmyster er en viktig type, utgjør her omlag 20% av de kartlagte arealene.

Et stort antall fuglearter hekker eller overvintrer ved Kårstø, og mange av bestandene er viktige i regional sammenheng (Thomassen, 1992). Viktige områder for fugl er holmene og øyene i fjorden, og edellauvskog ved Sandviksfjellet. Oterforekomst ved Kårstø er spesielt interessant fordi bestanden i sørlige områder er sterkt redusert. Hjort og hare er tallrike i området (Thomassen, 1992). Sammensetning av fuglesamfunnene og bestandsstørrelser for både pattedyr og fugler er nærmere beskrevet av Pedersen (1982) og Thomassen (1992).

Kollsnes

Kollsnes ligger i Øygarden kommune i Hordaland. Landskapet er småkupert, med større, svakt skrånende arealer mellom bratte fjellhamrer og små ferskvann. Berggrunnen består hovedsakelig av sure gneiser (Sigmond et al., 1984) og det er generelt lite løsmasser i området. Løsmassene finnes i skråninger og søkk mellom koller og er hovedsakelig av organisk opprinnelse eller morenemateriale. Et sterkt oseanisk klima med mye nedbør fører til utvasking av næringsemner i jordsmonnet, og sammen med den harde, sent forvitrende berggrunnen gir dette næringsfattige jordsmonn. På dypere løsmasser er det utviklet podsolprofiler, mens jordsmonnet ellers består av lynghumus og torv dannet på bart berg eller i myr (Fremstad et al., 1991). (Knudsen et al., 1997).

Vegetasjonen er typisk for kystseksjonen (Dahl et al., 1986) med tørr og fuktig kystlynghei, myr, våtmark, eng- og strandvegetasjon. Lundberg og Hansen (1992) har registrert 216 karplanter på Kollsnes, der kystplantene utgjør et hovedelement i floraen, mens varmekjære arter og fjellarter er nesten fraværende. (Knudsen et al., 1997).

Kystlyngheiene i Øygarden og nærliggende kommuner er et resultat av generasjoners påvirkning av miljøet gjennom avskogning, brenning, vinterbeite og lyngslått. Tørrheier finnes på koller og i skråninger. I følge Lundberg og Hansen (1992) domineres de av lyngarter som røsslyng, melbær, krekling, klokkelyg med innslag av gress og urter som smyle, gulaks, hundekvein, bråtestarr, knegras, tepperot, tiriltunge, fagerperikum, blåknapp, skrubbær, fjellmarikåpe, harerug, kvitkløver og kvitveis. I bunnsjiktet er mosen heiflette dominerende. I tillegg inngår furumose, heigråmose, kystkransmose og engmose, samt lys reinlav og kystreinlav. Fuktheier i flatere terreng er mer dominert av graminider som

bjønnskjegg, starr, duskull og blåtopp. Av lyngartene er røsslyng og klokkelýng viktigst, og enkelte steder er pors dominerende. Andre viktige arter her er rome, torvmoser og heiflette. (Knudsen et al., 1997).

Lyngheilandskapet i Øygarden skjøttes i dag ikke like aktivt som tidligere. Lyngen er ofte gammel, sterkt forvedet og relativt høyvokst, og mangel på skjøtsel medfører også at lyngheiene gror sakte igjen med busker og trær. (Knudsen et al., 1997).

Myrvegetasjonen er av både ombrotrof og fattig, minerotrof karakter. Karakteristiske arter i myrene er torvmoser, klokkelýng, røsslyng, bjønnskjegg, torvull, duskull, flaskestarr, blåtopp, rome, bukkeblad og rund soldogg. (Knudsen et al., 1997).

I følge Lundberg og Hansen (1992) har strandbergene sparsomt med vegetasjon. Artene som hovedsakelig er konsentrert til sprekker er bl.a. fjærekoll, følblom, hundekvein, kystbergknapp, smyle og kystarve. Strandengene innerst i bukter og viker inneholder artene engrapp, gåsemure, rødsvingel, slåttestarr, tunarve og fjæresivaks. Ferskvannene i Øygarden er næringsfattige med arter som vanlig tjønnaks, stor nøkkerose, soleienøkkerose, elvesnelle, bukkeblad og trådstarr. (Knudsen et al., 1997).

Generelt foreligger beskrivelser av faunaen rundt Kollsnes i en oppstykket og lite sammenstillet form. Regionen inneholder både øyer, fjordområder, gruntområder, mange små våtmarker, kystlyngheier og myrområder. Gruntområdene inneholder mye sjøfugler og vadefugler, og flere viktige sjøfuglområder ligger nær Kollsnes. Viktigst er Herdla, øst for Kollsnes, som både er et viktig hekkeområde for flere arter og et viktig rasteområde for mange arter på trekk, samt et viktig overvintringsområde for sjøfugl (Håland, 1981, 1982). Det foregår et omfattende trekk av fugler forbi Kollsnes (Håland, 1982). Mellom Kollsneset og Ljøsneset skal det være et viktig trekkområde for fugler, samt for hjort (Statoil, 1995). Rotavatn ved Tjeldstø, 6 km nord for Kollsnes, er et viktig område for overvintrende sangsvaner (Åbro, 1988). Faunistiske rapporter tyder også på at et stort antall mer fåtallige fuglearter påtreffes i områdene rundt Kollsnes, til dels også i større antall samtidig, og i alle fall både sjøfugler og spurvefugler er representert (Gustad, 1992, 1993). Hekkefuglfaunaen er representert ved alle arter som normalt finnes i distriktet (Gjershaug et al., 1994). Av pattedyr er relativt få arter representert, men med alle arter som normalt finnes i kystregionen i Hordaland. Arter som jaktes og med bestander i nærområdene, er bl.a. hjort, hare og orrfugl. (Knudsen et al., 1997).



Norsk institutt for luftforskning (NILU)

Postboks 100, N-2027 Kjeller

RAPPORTTYPE OPPDRAKS RAPPORT	RAPPORT NR. OR .../2004	ISBN 82-425- ISSN 0807-7207	
DATO	ANSV. SIGN.	ANT. SIDER 40	PRIS NOK 150,-
TITTEL Nitrogenavsetning i utslipp av NO _x og NH ₃ fra gasskraftverk med og uten rensing på Kårstø og Kollsnes.		PROSJEKTLEDER Karl Idar Gjerstad	
		NILU PROSJEKT NR. O-103107	
FORFATTER(E) Karl Idar Gjerstad og Svein Knudsen		TILGJENGELIGHET * A	
		OPPDRAKSGIVERS REF. Svein Arild Hildrum	
OPPDRAKSGIVER Naturkraft AS PB 358 1366 Lysaker			
STIKKORD Gasskraftverk	Nitrogenavsetning	SCR-renseteknologi	
REFERAT Det er beregnet avsetning av nitrogenforbindelser som følge av utslipp av NO _x og NH ₃ fra gasskraftverk på Kollsnes og Kårstø. Beregningene viser at bidraget fra gasskraftverket blir lavt, og under 1% av avsetningen i dag.			
TITLE Deposition of nitrogen from emissions of NO _x and NH ₃ from a gas power plant with and without SCR at Kårstø and Kollsnes.			
ABSTRACT Dispersion modelling of emissions of NO _x and NH ₃ to air from gas power plants at Kårstø and Kollsnes show that the impact to the deposition is below 1% of the deposition from long range transport and local sources in the area today.			

* Kategorier: A Åpen - kan bestilles fra NILU
B Begrenset distribusjon
C Kan ikke utleveres

NOTAT

Til: Naturkraft AS ved Henning Villanger
Kopi:
Fra: NILU ved Karl Idar Gjerstad, Per Arild Aarrestad (NINA) og Thorjörn Larssen (NIVA)
Dato: Kjeller, 19. november 2004
Ref.: KIG/BKa/O-103107

Supplement til NILUs rapport OR 7/2004

Nivå av nitrogenavsetning

På oppdrag av Naturkraft AS, gjennomførte NILU høsten 2003 en studie for å vurdere nivå av nitrogenavsetning som følge av utslipp til luft fra gasskraftverk på Kårstø og Kollsnes. I denne studien (rapport, OR 7/2004) ble det vurdert et årlig utslipp av 177 tonn (5 ppm) nitrogenoksider (NO_x) og 54 tonn (5 ppm) ammoniakk (NH_3). På grunn av større effekt på maskinene og mulig lenger brukstid i enkelte år har det vært ønskelig med en ny studie der utslipp av NH_3 justeres fra 54 tonn til 63 tonn årlig samtidig som utslipp for NO_x reduseres fra 177 tonn til 150 tonn årlig. Denne nye studien blir bare utført for et eventuelt gasskraftverk på Kårstø. Nitrogenavsetning som følge av utslipp, fra en spesifikk kilde, til luft av NH_3 er lineær med utslippsmengde. Det er derfor faglig korrekt å gjøre en slik studie ved å skalere eksisterende resultater. Nitrogenavsetning som følge av utslipp til luft av NO_x er ikke lineær med utslippsmengde. Dette skyldes at NO_x reagerer kjemisk med ozon (O_3) og avsettes som NO_3 . Justeringen fra 177 tonn til 150 tonn er imidlertid så liten (15%) at en lineær skalering av dette utslippet er faglig forsvarlig. Det er ikke nødvendig med modellberegninger. Norsk institutt for vannforskning (NIVA) har vurdert effekter på overflatevann og Norsk institutt for naturforskning (NINA) har vurdert effekter på naturmiljøet.

Dette notatet må ses i sammenheng med rapporten "Nitrogenavsetning som følge av utslipp av NO_x og NH_3 fra gasskraftverk med rensing med SCR-anlegg på Kårstø og Kollsnes" (OR 7/2004), hvor utslippsbetingelser, meteorologi og bakgrunnskonsentrasjoner er beskrevet.

Figur 1 viser nitrogenavsetning ved Kårstø ved et årlig utslipp på 63 tonn NH_3 og 150 tonn NO_x . Våtavsetningen fra planlagt utslipp ved Kårstø er beregnet fra time til time for perioden 1. april 1994 til 31 mars 1995, hvor data for meteorologi, spredningsparametere og nedbør er tilgjengelige. Avsetningen er gitt i milligram nitrogen per kvadratmeter. Beregningene viser at bidraget fra gasskraftverket er lite i forhold til avsetningen i områdene i dag. Ved Kårstø er maksimal estimert avsetning $6,5 \text{ mg N/m}^2$ per år over et areal på 100 km^2 . Total avsetning i området er estimert til $830\text{--}1320 \text{ mg N/m}^2$ per år. Det ekstra bidraget fra gasskraftverket utgjør maksimalt ca 0,6 % av dagens avsetning.

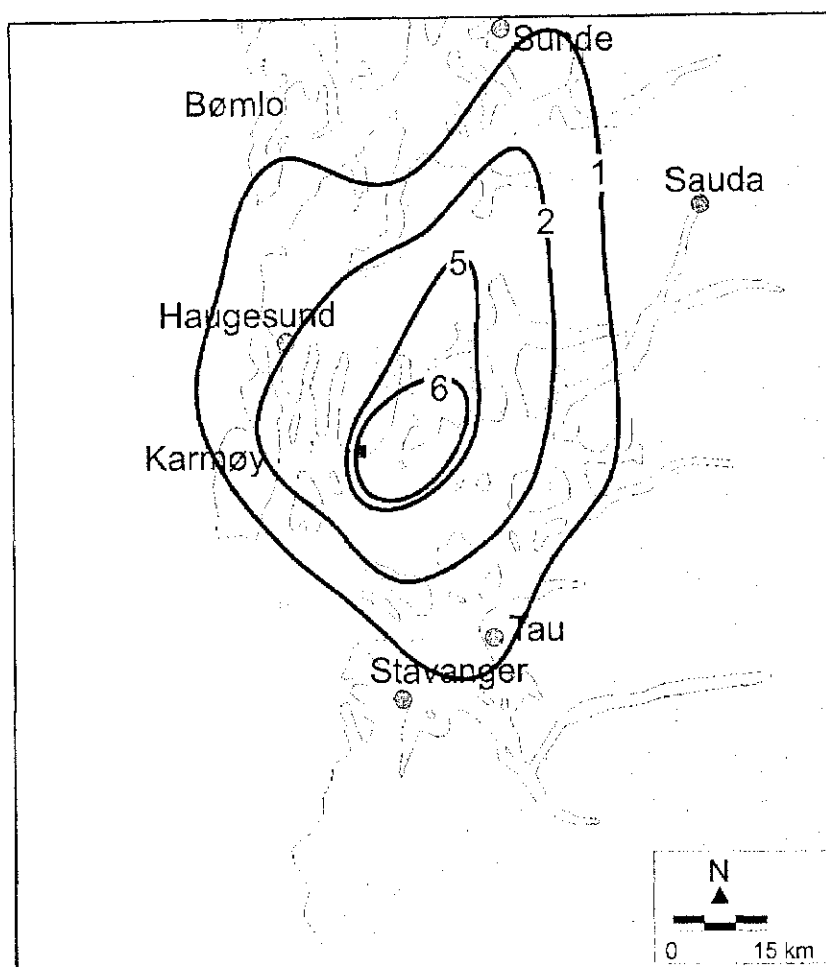
Et institutt i Miljøalliansen

NILU
Postboks 100
Instituttveien 18
2027 KJELLER
Tel: 63 89 80 00/Faks: 63 89 80 50

NILU Tromsø
Polarmiljøsentret
Hjalmar Johansens gt. 14
9296 TROMSØ
Tel: 77 75 03 75/Faks: 77 75 03 76

e-post: nilu@nilu.no
nilu-tromso@nilu.no
Internett: www.nilu.no
Bank: 5102.05.19030
Foretaksnr.: 941705561

Vennligst adresser post til NILU, ikke til enkeltpersoner.



Figur 1: Total nitrogenavsetning fra et årlig utslipp på 63 tonn (5 ppm) NH_3 og 150 tonn (5 ppm) NO_x ved Kårstø (mgN/m^2 per år). Maksimal gjennomsnittlig avsetning over 10 km x 10 km er 6,5 mgN/m^2 .

Overflatevann

Tålegrenser for overflatevann i området rundt Kårstø

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. I store deler av Norge og i mange andre land er tålegrensen for svovel forlenget overskredet, og effektene registreres ved sure, fisketomme vann. Tålegrensen for nitrogen er vesentlig vanskeligere å fastsette enn for svovel på grunn av biologisk optak av nitrogen i planter og jord. Biologisk opptak er mye mindre viktig for svovel.

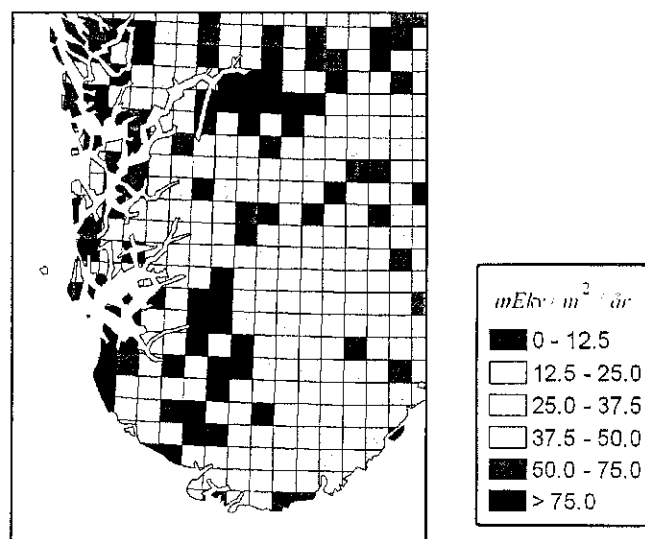
Tålegrenser for forsurening av overflatevann er knyttet til en grenseverdi for ANC (ANC = Acid Neutralising Capacity, norsk: syrenøytraliserende kapasitet). Både sulfat og nitrat inngår i beregningen av ANC. Grenseverdien for ANC er basert på informasjon om vannkjemi og fiskestatus, basert på resultater fra en landsdekkende undersøkelse av 1000 innsjøer i 1986 (Henriksen et al., 1988). For tålegrenseberegninger har vi innført en variabel ANC som er en funksjon av 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. I områder med lave tålegrenser er grenseverdien for ANC satt = 0 $\mu\text{ekv/l}$, og stiger til ANC = 50 $\mu\text{ekv/l}$ i områder med høy tålegrense (Henriksen og Buan 2000).

Tålegrensene for overflatevann er her beregnet med SSWC-modellen (Steady State Water Chemistry, se Henriksen og Buan 2000). Denne modellen tar hensyn til at en del av dagens nitrogenavsetning holdes tilbake i nedbørfeltet og dermed ikke bidrar til forsurening.

Figur 2 viser tålegrenser for overflatevann i området rundt Kårstø, tidligere rapportert i Larssen og Høgåsen (2003). Tålegrensen i hver rute er beregnet ut fra tilgjengelige vannkjemiske data for innsjøer og elver i hver rute, fra NIVAs nasjonale database, og årlig avrenning for perioden 1961-1990 fra Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE).

Tålegrensene i influensområdet varierer mellom 12.5-25 $\text{mekv/m}^2/\text{år}^1$ til over 75 $\text{mekv/m}^2/\text{år}$ (Figur 2). Lenger vest er tålegrensen lavere enn 12.5 $\text{mekv/m}^2/\text{år}$. Dette betyr at det er mange vann i influensområdet til det eventuelle gasskraftverket som er svært følsomme for forsurening.

Tålegrense vann



Figur 2: Utsnitt av tålegrensekart for forsurening av overflatevann for sør-vest Norge. Kårstø er markert.

¹ Enheten mekv (milliekvivalenter) benyttes i stedet for milligram når den kombinerte effekten av svovel og nitrogen skal vurderes. 1 mekv nitrogen tilsvarer 14 mg.

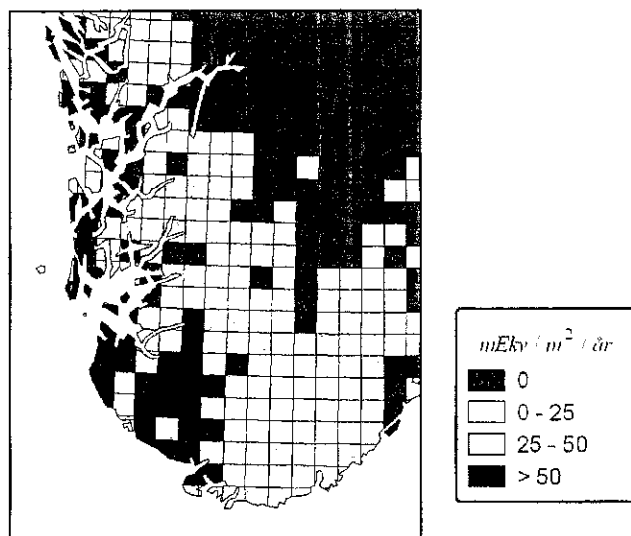
Effekter på overflatevann av N-utslipp

Dagens totale tilførsler av nitrogen ligger på 830-1320 mg N/m²/år (Gjerstad og Knudsen 2004). Bidraget fra Kårstø er opptil 6,5 mg N/m²/år. Dette utgjør maksimalt omtrent 0,6% av den totale nitrogenavsetningen, men for det meste av influensområdet er det mindre enn dette. Vi antar at all NH₃ blir omdannet til HNO₃ etter avsetning.

I vurderingen av effekten av økte N-utslipp fra Kårstø har vi lagt dagens overskridelse av tålegrenser til grunn (Figur 3). I en stor del av influensområdet til kraftverket er tålegrensen for overflatevann overskredet under dagens N-deposisjon, med 0-25 eller 25-50 mekv/m²/år. Det vil si at området mottar mer forsurende komponenter (svovel + nitrogen) enn det som kan nøytraliseres i nedbørfeltene slik at overflatevannet blir forsuret. Området som i dag er overskredet i influensområdet tilsvarer ca. 300 km². De største overskridelsene i influensområdet er nordøst for Kårstø.

En 0,6% økning av den totale N-deposisjonen i området vil ikke føre til målbare endringer i forsurende effekter i området, blant annet siden variasjonen i avsetning fra år til år er betydelig større enn bidraget fra det eventuelle gasskraftverket. Imidlertid vil den økte avsetningen komme i et område hvor eksisterende avsetning av svovel- og nitrogenforbindelser har ført til skader på vannkjemi og biologi. Den eksisterende avsetning er en sum av mange utslippskilder og effekter kan ikke tilskrives bidrag fra enkeltutslipp spesielt. I det perspektivet kan også det eventuelle gasskraftverket på Kårstø bidra til en ytterligere belastning for forsurende av overflatevann.

SSWC - Overskridelse vann (1997-01)



Figur 3: Utsnitt av kartet for overskridelser av tålegrenser for forsurende av overflatevann i sør-vest Norge. Kårstø er markert. Gjennomsnittlig avsetning for perioden 1997-2001 er benyttet.

Effekter på naturmiljøet

Metodikk

Vurderinger av effekter av total nitrogenavsetning på vegetasjon baserer seg på oppdaterte tålegrenser fra Achermann og Bobbink (2003), se vedlegg. Naturtypenes nedre tålegrenser benyttes som et føre var prinsipp. Dette er i tråd med internasjonale retningslinjer der man anbefaler å benytte de laveste verdiene i områder med generelt lave temperaturnormaler, lengre kuldeperioder, lav basemetning i jord og i nitrogenbegrensede system; noe som er typisk for store deler av influensområdet.

Ved effektvurderinger av utslipp vil estimerte nitrogenavsetninger bli lagt til dagens maksimale bakgrunnsnivå for å se om tålegrenser overskrides. Eventuelle effekter vil bli vurdert mot dette nivået.

Vurdering av dagens N-avsetning på naturmiljøet

Bakgrunnsnivået for total nitrogentilførsel på Kårstø er estimert til 830 - 1320 mg N/m² per år, basert på målinger av våtavsetninger utført i 1996 og 2002 og estimerte verdier for tørravsetning (Gjerstad og Knudsen 2004). I følge Hole og Tørseth (2002) varierer bakgrunnsnivået i influensområdet fra 800-1600 mg N/m² per år. De nedre tålegrenseverdiene for flere av naturtypene er således overskredet ved dagens nitrogenavsetning (sml. tålegrenser for naturtyper i vedlegget). Størst overskridelser har nedbørsmyrer, fattig fjellvegetasjon og vegetasjon i næringsfattige vann, men tålegrensene for skog, kystlynghei, fattige jordvassmyrer, sanddyner og engvegetasjon er også stedvis overskredet.

Effekter av utslipp av 150 tonn NO_x og 63 tonn NH₃

SCR-renseteknologien vil ved et utslipp på 150 tonn NO_x og 63 tonn NH₃ bidra med en tilleggsavsetning på maksimalt 6,5 mg N/m² per år i nærområdet til gasskraftverket (Figur 1), mens områdene ytterst ved kysten (Karmøy, Sveio, Bømlo) og i midtre og indre fjordstrøk får en tilleggsavsetning på 1-2 mg N/m² per år. Ytre strøk karakteriseres av et åpent kystlyngheilandskap med strandenger, beitemarker og flekkvise forekomster av myrer, samt mange små vann. I midtre og indre strøk er landskapet mer dominert av skog og fjellvegetasjon.

Generelt vil en økning i N-avsetning i områder som allerede har fått overskredet sin tålegrense kunne bidra til en forverring av tilstanden i økosystemene. Generelle effekter er økt innslag av karplanter og endret moseflora på myr, økt grasdominans i kystlynghei og fjellvegetasjon, samt økt algevekst i næringsfattige vann. Effekter i skog er endringer i jordprosesser, mykorrhiza, økt risiko for næringsubalanse og parasittisme, samt endret epifyttflora og økt algevekst på trær.

Bidraget fra gasskraftverket er svært lite sammenlignet med variasjonen i naturtypenes tålegrense og bakgrunnsnivået i influensområdet. Sammen med varierende bakgrunnsnivå og usikkerhet i modelleringene (Gjerstad og Knudsen, 2004) fører dette til en stor grad av usikkerhet i konsekvensvurderingene. Det er imidlertid lite trolig at bidraget vil føre til at ytterlige områder får overskredet sine tålegrenser. Naturtyper som allerede har fått overskredet sin tålegrense kan imidlertid bli påvirket, men eventuelle effekter forventes da å bli svært små.

Effektene av økt tilgang av nitrogen på faunaen (pattedyr og fugl) vil være indirekte gjennom større endringer i vegetasjonen. I slike tilfeller forventes det en økning i både kvantitet og kvalitet av biotoper for dyr som beiter gress, og arter som er tilpasset næringsfattige vegetasjonstyper vil da få

dårligere konkurransebetingelser. Ved de beregnede utslippene fra gasskraftverket forventes det imidlertid ingen eller små endringer i vegetasjonens sammensetning, og det er derfor lite trolig at faunaen vil bli påvirket av økt nitrogenavsetning.

Sammenligning med tidligere beregninger

Tilsvarende beregninger ble gjennomført i 1997 (NILU rapport, OR 71/97, "*Konsekvenser av utslipp av NO_x og NH₃ til luft fra gasskraftverk – Kårstø*"). Modellverktøyet som ble benyttet i 1997 ble revidert i 2003 og resultatene fra 1997 er derfor ikke direkte sammenlignbare med resultatet fra dette notatet. I 1997 viste beregningene at et utslipp på 150 tonn NO_x per år alene ville gitt en maksimal nitrogenavsetning på ca 6 mg N/m². Dagens beregninger, som er mer pålitelige, viser at dette avsetningsnivået var overestimert. En tenkt endring i nitrogenavsetning fra ca 6 mg N/m² til 6,5 mg N/m² vil likevel ikke føre til noen konsekvenser for natur eller overflatevann.

Vedlegg

Nitrogentålegrenser for naturtyper

Hoveddelen av naturlig tilført nitrogen til vegetasjon og jord kommer fra atmosfæren i form av våt- og tørravsetninger og ved biologisk nitrogenfiksering. Den totale nitrogenavsetning fra atmosfæren regnes som summen av tørravsetning (NO_2 , sum $\text{NO}_3^- + \text{HNO}_3$ og sum $\text{NH}_4^+ + \text{NH}_3$) og våtavsetning (NO_3^- og NH_4^+ i nedbør).

I Norge vil nitrogenforbindelser i stor grad bli tatt opp av vegetasjonen, fordi vegetasjonstypene for en stor del har en underoptimal tilgang på nitrogen (jfr. Stuanes og Abrahamsen, 1996). Planter og mikroorganismer tar opp tilført nitrogen fra jord og luft og benytter dette som byggemateriale i celleproduksjonen. Økt nitrogentilgang kan således gi gjødslingseffekter og føre til økt biomasseproduksjon, endringer i konkurranseforhold mellom arter og endringer av artssammensetningen mot mer nitrogenkrevende vegetasjon (Tamm, 1991).

Grensen for hvor mye nitrogen naturen kan nyttiggjøre seg før den endrer karakter (tålegrensen), avhenger sterkt av jordsmonn og hva slags vegetasjon som finnes i området. Tålegrensen for ulike vegetasjonstyper/naturtyper varierer mellom 500 og 4000 mg N/m² per år (se Tabell 1). Tålegrensene for naturtyper er empiriske, dvs. at de er fastsatt på bakgrunn av observerte endringer i økosystemet ved hjelp av eksperimentelle data, feltobservasjoner og dynamiske økosystemmodeller (Grennfelt og Thörmelöf, 1992; Bobbink et al., 1996; Achermann og Bobbink, 2003).

Endringer i plantevekst, artssammensetning og kjemiske substanser i planter er blitt brukt som målbare effekter av nitrogenavsetning. I noen tilfeller er endringer i økosystemfunksjoner, slike som utvasking av nitrogen eller nitrogenakkumulasjon, blitt benyttet. Tålegrensene er fastsatt med en nedre og en øvre grense da det innen de analyserte økosystemene er reelle variasjoner knyttet til eksperimentelle behandlinger, usikkerhet i avsetningsverdier, variasjoner i økosystemenes nærings- og klimaforhold og ulik kulturpåvirkning. Ut fra kunnskapsnivået blir tålegrensene angitt som enten pålitelige, ganske pålitelige eller mer usikre ekspertvurderinger (Tabell 1).

I denne rapporten benyttes oppdaterte tålegrenser for økosystemer (Achermann og Bobbink, 2003), der tålegrensene er relatert til naturtyper beskrevet i EUNIS habitatklassifiseringssystem for Europa (<http://eunis.eea.eu.int/habitats.jsp>). Disse habitatene er igjen relatert til norske natur- og vegetasjonstyper, så langt råd er. Her er det benyttet informasjon fra "Vegetasjonstyper i Norden" (Påhlsson, 1998) og "Vegetasjonstyper i Norge" (Fremstad, 1997).

Tabell 1. N-tålegrenser for norske naturtyper/vegetasjonstyper (EUNIS-klasse i parentes) innen influensområdet, og mulige effekter ved tålegrenseoverskridelser. ## pålitelig, # ganske pålitelig, (#) ekspertvurderinger (etter Achermann og Bobbink, 2003).

Naturtype	Vegetasjonstype	mg N/m ² per år	Effekter
Skog (G)	Løvskog (G1 Broad leaved deciduous woodland)	1000-2000 #	Endringer i jordprosesser, bakkenær vegetasjon og mykorrhiza, økt risiko for næringsubalanse og parasittisme
	Barskog (G3 Coniferous woodland)		
	Blandingsskog (G4 Mixed deciduous and coniferous woodlands)		
Myr (D)	Nedbørmir (D1 Raised and blanket bogs)	500-1000 ##	Økt innslag av karplanter, endret moseflora, nitrogenmetning i torvmoser, N-akkumulasjon i torv og torvvann
	Fattig jordvassmyr (D2.2 Poor fens)	1000-2000 #	Økt innslag av halvgras og karplanter, negativ effekt på torvmoser
	Rikmyr (D4.1 Rich fens)	1500-3500 (#)	Økt innslag av høy gras, nedgang i diversitet
Kulturlandskap	Kulturavhengig eng (E Grassland and tall forb habitats)	1000-3000 (#)	Økt grasvekst, nedgang i diversitet, tilbakegang av typiske arter
	Kystlynghei (F4.11 Northern wet heaths, F2 Dry heaths)	1000-2000 ##	Nedgang i røsslyngdominans, moser og lav, økt graminidevekst
Fjell (F, E)	Heivegetasjon (F2 Arctic, alpine and subalpine scrub habitats, E4.2 Moss and lichen dominated mountain summits)	500-1500 (#)	Nedgang i lav, moser og lyngvekster, økt grasvekst
	Engvegetasjon i fjell (E4.3, E4.4 Alpine and subalpine grasslands)	1000-1500 (#)	Økning av nitrofile graminider og endringer i diversitet
Ferskvatn (C)	Næringsfattige vatn (C1.1 Permanent oligotrophic waters)	500-1000 ##	Kortskuddsplanter negativt påverket, Økning i grønnalgevekst
Havstrand (A, B)	Sanddyner (B1 Coastal dune and sand habitats)	1000-2000 (#)	Økning av gras, nedgang i krypende urter, økt nitrogenlekkasje
	Strandeng og strandsump (A2.6 Coastal salt marshes and saline reedbeds)	3000-4000 (#)	Økning av sene suksesjonsarter, økt produksjon

Effekter i skog

De nye retningslinjene for N-tålegrenser for skog skiller ikke lenger mellom næringsfattige og næringsrike skoger eller mellom barskog og løvskog. Generell tålegrense for skog er satt til 1000-2000 mg N/m² per år, der ulike element som jordsmonnsprosesser (1000-1500), trevekst (1500-2000), mykorrhiza (1000-2000), bakkenær vegetasjon (1000-1500) og epifyttiske lav og alger (1000-1500) har til dels ulike tålegrensenivå.

Generelle effekter av tålegrenseoverskridelser i skog er endring i jordprosesser med økt N mineralisering og nitrifisering samt økt nitrat lekkasje (Falkengren-Grerup et al., 1998; Falkengren-Grerup og Diekmann, 2003). Endringer i næringsbalanse påvirker artssammensetning av bakkenær vegetasjon, og planter kan få økt følsomhet for parasitter (Roelofs et al., 1985; Flückiger og Braun, 2003). Nitrofile arter øker i omfang i fattige skoger (jfr. Dirkse et al., 1991; Nygaard og Ødegaard, 1993; Økland, 1994), mens det i rikere skoger skjer en reduksjon av både arter og biomasse (Falkengren-Grerup, 1993). I næringsfattige barskoger og løvskoger kan økt nitrogenavsetning føre til nedsatt dannelse av fruktlegermer til mykorrhiza sopp (Brandrud, 1995; Brandrud og Timmermann, 1998).

Epifyttiske lav og moser tar opp nitrogen både i tørr- og våtavsetning. Moderate økninger i tilgjengelig nitrogen har ført til økt vekst av enkelte lavararter på trær (Insarova et al., 1992; Bruteig, 1996; de Bakker, 1989; Holopainen og Kärenlampi, 1985; Kauppi, 1980; von Arb, 1987). Andre lavararter med blågrønnalger som algekomponent blir negativt påvirket av nitrogen (Göransson, 1990). Mange av disse artene er i Danmark og Sverige enten utryddet eller truede pga. sur nedbør og nitrogenavsetning. Frittlevende alger profiterer på økt nitrogentilgang, noe som medfører omfattende algepåvekst på bl.a. på trestammer (Bråkenhielm og Quinghong, 1995; Bobbink et al., 1996). Endringer i epifyttflora som kan relateres til økt N-avsetning, er også rapportert fra Norge (Thomsen, 1996; Bruteig og Tronstad, 2000; Erikstad, 2001; Bruteig et al., 2001; Bruteig, 2002). Effektene er særlig markert i områder med høy nedbør (humide skoger).

Det kan også skje utvasking av nitrogen fra økosystemet. Empiriske studier av skogøkosystemer i Europa (Disc og Wright, 1995) viser at for nitrogenavsetning opp til 900 mg N/m^2 per år kan økosystemet ta opp all tilført nitrogen. For avsetning mellom $900\text{--}2500 \text{ mg N/m}^2$ per år kan 0-100% av nitrogen lekke ut i avrenningen avhengig av nedbørfeltets karakter, mens for avsetninger over 2500 mg N/m^2 per år vil 50-100% av nitrogen lekke ut i avrenningen.

Effekter på myr

De internasjonale tålegrensene for myr er ulike for nedbørmyr (ombrotrof myr), fattige og rike jordvannmyrer (minerotrofe myrer).

Nedbørmyr

Nedbørmyr er avhengig av tilførsel av næringsstoffer fra nedbøren og anses som et av de mest følsomme systemene overfor økt nitrogenavsetning. Artssammensetningen på disse myrene er tilpasset lav nitrogentilførsel, og nitrogen er normalt ansett å være en vekstbegrensende faktor (Malmer, 1993; Aerts et al., 1992).

En litteraturstudie utført av Bakken og Flatberg (1995) om effekter av økt nitrogenavsetning på nedbørmyr, og en kunnskapsoppsummering av Tybirk et al. (1995), viser at det i Nordvest-Europa er observert endringer i produksjon og konkurranseforhold mellom torvmoser og en økning av middels næringskrevende karplanter som blåtopp og duskull. Disse endringene settes i sammenheng med økt nitrogenavsetning. I områder med lav nitrogentilførsel har mosedekket på nedbørmyr evne til å ta opp og holde på atmosfærisk tilført nitrogen. Ved høy nitrogenavsetning vil imidlertid evnen til å immobilisere nitrogen avta. Mer nitrogen tilføres rotsonen og blir tilgjengelig for karplanter som således kan få økt vekst. Endringer i konkurranseforholdet mellom torvmoser og karplanter kan også skyldes endringer i nedbrytningshastighet av strø og økt mineralisering av akkumulert organisk materiale ved økt nitrogentilførsel.

I Nederland har artssammensetningen i mosesjiktet endret seg fra de karakteristiske torvmoseartene til mer nitrogenkrevende arter (Greven, 1992; Lütke Twenhöven, 1992). I Storbritannia har svært høy nitrogenbelastning vist vekstreduksjon og nedgang i populasjoner av torvmoser (Press et al., 1986). I Sør-Sverige har nedbørmyrer blitt mettet med nitrogen ved dagens avsetning på $1000\text{--}1300 \text{ mg N/m}^2$ per år og resultert i økt torvmosevekst. Fosfor er nå blitt den begrensede faktor og ikke nitrogen (Aerts et al., 1992). Slike strukturelle endringer kan skje allerede rundt 700 mg N/m^2 per år (Gunnarsson et al. 2002). I Finland har Jauhiainen et al. (1992/93, 1998a, 1998b) vist at arter

som rusttorvmose og rosetorvmose reagerer negativt på høye nitrogenbelastninger, mens klubbetorvmose viser større toleranse ovenfor nitrogen. Flere nyere undersøkelser i Europa støtter den aksepterte N-tålegrensen for nedbørmyr på 500-1000 mg N/m² per år.

I Norge har nitrogengjødsling av nedbørmyr på Østlandet (Kieselbergmosen i Østfold) med en bakgrunnsbelastning på 800 mg N/m² per år vist at planter og torv i de øvre 5-10 cm tar opp tilført nitrogen allerede ved 500 mg N/m² per år og fungerer som et filter (Nordbakken et al., 2003). Her anslår man tålegrensen til å ligge godt under 1300 mg N/m² per år. Det ble imidlertid ikke påvist endringer i vegetasjonen utover det man kan forvente som resultat av klimavariasjon og naturlige suksesjoner (Nordbakken, 1997).

Jordvannmyr

Jordvannmyr (minerotrof myr) får vanntilførsel fra omliggende berggrunn og sedimenter. Myrtypen er således mer næringsrik enn nedbørmyr. Næringstilgangen varierer imidlertid etter næringsinnholdet i bergartene, og vegetasjonen inndeles i fattige-, intermediære- og rike typer med til dels store forskjeller i artssammensetning. Jordvannmyr er karakterisert av mange starr-arter og er ofte svært rik på urter.

Fattig jordvannmyr

Eksperimentell N-gjødsling i fattige jordvannmyrer i Sverige (Granberg et al., 2001) har vist økning i halvgress ved belastninger på 1500 og 3000 mg N/m² per år, innen tre år etter gjødsling. Franske undersøkelser (Francez og Loiseau, 1999) viser at torvmoser tar opp og lagrer N i fattige minerotrofe myrsystemer ved tilførsel av 1500 mg N/m² per år. Tålegrensen for fattige jordvannmyrer er bl.a. på bakgrunn av disse undersøkelsene satt til 1000- 2000 mg N/m² per år.

Rikmyr

I rikmyrer i Nederland er det observert økning av graminider (starr og gras) på bekostning av andre plantearter, og en generell reduksjon i artsdiversitet ved 2000-3500 mg N/m² per år (Vermeer, 1986; Verhoeven og Schmitz, 1991). Resultater fra nyere undersøkelser (Jauhiainen et al., 1998a; Saarinen, 1998; Bergamini og Pauli, 2001; Paulissen et al., 2003) er også benyttet for å fastsette tålegrensen for rikmyr til 1500-3500 mg N/m² per år. I Norge har gjødsling med 1200 N/m² per år på rikmyrer nær Røros med et bakgrunnsnivå på 200-300 N/m² per år vist en svak økning av plantebiomasse og økt vekst av graminider, særlig kornstarr, sauesvingel og blåtopp (Øien, 2004).

Effekter i kulturlandskap

Kulturlandskapet består av mange ulike vegetasjonstyper. Innen influensområdet har vi valgt å dele inn i kulturlandskapet i to hovedtyper: kulturavhengig eng og kystlynghei, med tålegrenser relatert til EUNIS- naturtypeklassifikasjonssystem.

Kulturavhengig eng

I denne kategorien inngår mer eller mindre kulturpåvirkede enger under skoggrensen der slått og beite er de viktigste skjøtselsfaktorene. Enger kan klassifiseres i tørre og fuktige typer som hver for seg kan ha ulike inndelinger i krav til næring.

Effekter av nitrogenoverskridelser i *kalkrike enger* er framvekst av høye gras, nedgang i diversitet, økt mineralisering og lekkasje av nitrogen fra jordsmonnet (Achermann & Bobbink 2003). Den internasjonale tålegrensa for kalkrike enger er sett til 1500-2500 mg N/m² per år. I Vest-Europa er middels tørre, grasdominerte enger på relativt *næringsfattige enger* med grasarter som finnskjegg, engkvein, rødsvingel og smyle utsett for jordforsuring ved høy N-avsetning. Resultatet er tap av urter og økt grasvekst og dermed endret artssammensetning (de Graaf et al. 1998, Roelofs et al. 1986). Ved eksperimentell N-gjødsling i forsøksfelt i England har bl.a. typiske moser gått tilbake samtidig som grasmengden har økt (Carroll et al. 1997, 2000, Lee et al. 2000, Morecroft et al. 1994). N-tålegrensen for slike enger er satt til 1000-2000 mg N/m² per år. Fuktige og kystnære *blåtoppenger* har fått tålegrense 1500-2500 mg N/m² per år, mens *heisiv- og finnskjeggdominerte enger* ligger på 1000-2000 mg N/m² per år. Begge er svært vanlige på Vestlandet. I slike enger er det rapportert om økt innslag av graminider, nedgang i diversitet, særlig i mosedekket (Kirkham et al. 1996, Mountford et al. 1994). Aktivt drevne *slåtteenger* har den høyeste tålegrensen på 2000-3000 mg N/m² per år.

Det er vanskelig å skille engtyper fra hverandre i et landskap uten et detaljert feltarbeid. Typene ligger flekkvis fordelt inn imellom mange andre vegetasjonstyper i kulturlandskapet. Det er også lite kunnskap om tålegrensenivå for enger i Norge. All kulturpåvirket eng er derfor vurdert sammen med en spennvidde i N-tålegrenser fra 1000 til 3000 mg N/m² per år. Rike enger med stor kulturpåvirkning som friske/tørre og baserike enger (typene G6-G10 i Fremstad, 1997) vil ligge i øvre del av skalaen, trolig også de fuktige næringsrike typene (G12-G15). Fattigere og fuktige typer som "*Fuktig fattigeng*", "*Blåtopp-eng*", "*Sølvbunke-eng*", "*Frisk fattigeng*" og "*Finnskjegg-eng og fattig sauesvingel-eng*" (G1-G5 i Fremstad, 1997) vil trolig ligge i nedre deler av skalaen.

Kystlynghei

Kystlyngheiene på Vestlandet er et resultat av generasjoners påvirkning på miljøet gjennom avskogning, brenning, vinterbeite og lyngslått (Gimingham, 1972; Kaland, 1979, 1986; Fremstad et al., 1991). Ved riktig bruk/skjøtsel vil røsslyngen og heienes plantesamfunn gå gjennom en syklisk utvikling fra pionerfase med frisk nyetablert lyng via byggefase til moden fase med tette, runde røsslyngmatter, og ved brann blir lyngheiene ført tilbake til pionerfasen. Hvis skjøtselen opphører, går lyngheiene inn i en degenereringsfase med muligheter for invasjon av einer, bjørk og furu, og med tid utvikles gjerne furuskogsbestander (Skogen, 1987; Kaland og Vandvik, 1998). I gammel lynghei vil man normalt også få en svak økning av gras- og urtevekst når storvokst røsslyng åpner seg og dødt plantemateriale brytes ned (degenereringsfase).

Flere studier av lyngheier i nord-vest Europa har gitt et detaljert bilde av sammenhenger mellom heivegetasjon, beitepåvirkning og forstyrrelser ved brann, oppsummert av Hobbs og Gimingham (1987). Lav næringsstatus, brann og beitepåvirkning er påvist som de viktigste faktorer som kontrollerer dynamikken i heisystemene. Produksjon og artssammensetning er særlig bestemt av alderen på røsslyngbestandene, der gamle degenererte bestander generelt har et lavt biologisk mangfold. Effektene av brann og beite er også avhengig av alder på lyngen og av intensiteten på skjøtselsformene. Moderat beitetrykk og brann ved visse mellomrom kan opprettholde produktivitetstilstanden med røsslyng som den dominerende arten. Et mer intensivt beite og hyppige branner kan imidlertid føre til økt innslag av graminider og tilbakegang av lyng. Opphør av beite i områder som tidligere har vært sterkt beitet kan også føre til økt grasvekst, noe som kan forveksles med effekter av økt N-avsetning med nedbør (se nedenfor).

Lyngbladbillen lever utelukkende på røsslyng og kan føre til omfattende skader, særlig på gammel lyng (Taksdal og Haraldseide, 1994; Taksdal, 1997). Resultatet av større billeangrep er lokal økning av tilgjengelig nitrogen i strølag og jord ved økt nedbrytning av strø og ekskrementer fra lyngbladbillen, noe som igjen kan favorisere vekst av gras og urter (Brunsting, 1982; Brunsting og Heil, 1985).

Lyngheiene er generelt tilpasset liten tilgang på nitrogen og ansees som følsomme for økt nitrogentilførsel. En litteraturstudie utført av Fremstad (1992) oppsummerer virkninger av nitrogentilførsel på lynghei. Gjødsling med nitrogen har vist at løvfellende arter som blåbær, blokkebær, grasene blåtopp og smyle har et større vekstpotensiale og er mer effektiv i sin utnyttelse av nitrogenressurser enn eviggrønne arter som røsslyng, tyttebær og krekling. I nederlandske, tyske og britiske lyngheier presses røsslyng og klokkelyg ut av grasarter, først og fremst blåtopp (Heil og Diemont, 1983; van Dobben, 1991; Bobbink et al., 1992; Marrs, 1986).

I de siste tiårene har lyngheier i Rogaland og Sunnhordland vist den samme utviklingstendensen som lenger sør i Europa med reduksjon i røsslyng og økt grasdominans, samtidig som de vokser til med busker og trær (Fremstad, 1992; Hjeltne, 1994a; 1994b). Disse vegetasjonsendringene skyldes trolig en kombinasjon av manglende tradisjonell skjøtsel, svekkelse av gammel røsslyng gjennom angrep av røsslyngbillen, frost- og tørkeskader, samt økt nitrogenavsetning.

Gjengroingen av lyngheiene med busker og trær fortsetter også nordover langs norskekysten, men det er ikke rapportert om økt grasdominans i kystlyngheiene fra Sogn og Fjordane og nordover til Nordland. Lyngheiene i disse områdene synes derfor ikke å være synlig påvirket av nitrogenavsetning.

Tidligere tålegrenser for kystlynghei var satt til 1500-2000 mg N/m² per år (Bobbink et al., 1996). Nyere forskning og oppdaterte bakgrunnsnivåer ved overvåkingsprogrammer i Storbritannia (Achermann og Bobbink, 2003; Power og Barker, 2003) har vist det nødvendig å senke den nedre tålegrensen for kystlynghei fra 1500 til 1000 mg N/m² per år. Både tørre og fuktige kystlyngheityper er gitt samme tålegrense.

Effekter i fjell

Tålegrenser for fjellvegetasjon er gitt under EUNIS-kategorien (F) "*Heathlands, scrub and tundra habitats*". Her inngår skogløs heivegetasjon dominert av lyngvekster, busker og kratt. Enger i fjellet og mose- og lavdominerte rabber er klassifisert under (E) "*Grassland and tall forb habitats*". Tålegrensene for fjell er generelt noe usikre og er i Norge foreslått satt til 500-1500 mg N/m² per år for naturtypen som helhet (Bruteig og Aarrestad, 2004). Trolig har fattig fjellhei en lavere tålegrense enn rik fjellhei.

Alpin heivegetasjon

Fjellheier dominert av mose, lav og lyngvekster er påvirket av et kjølig klima og kort vekstsesong, noe som medfører en langsom nedbrytning av organiske stoffer og lite frigjøring av (tilgang på) nitrogen. Mose- og lavdominerte heier i norske fjell har vist seg å være mer sensitive til nitrogen enn lyng-/kratt dominerte heier (Paal et al., 1996; Möls et al., 2001). Forsøk med nitrogengjødsling av gråmose-dominerte fjellheier i Skottland har ført til økt grasvekst og tilbakegang av heigråmose

(Pearce og Van der Wal, 2002). Liknende forsøk i arktiske heier på Svalbard har vist økning i planters nitrogeninnhold og endringer i mosedekkets artssammensetning (Baddeley et al., 1994; Gordon et al., 2001). Disse arktiske heiene har mye de samme økologiske forhold som alpine heier, og begge ansees å være truet av økt nitrogenavsetning.

For alpine heier er den internasjonale tålegrensen satt til 500-1500 mg N/m² per år og for mose- og lavdominerte rabber 500-1000 mg N/m² per år, altså en felles nedre tålegrense på 500 mg N/m² per år. Eksperimentene fra norske fjell (Paal et al., 1996; Möls et al., 2001) indikerer imidlertid at tålegrensene her ligger i øvre del av skalaen.

Alpin engvegetasjon

Det fins liten informasjon om effekter av nitrogengjødsling for enger i fjellet med gras og urtedominans. Ett gjødslingsforsøk fra Sveits (Körner, 1999) viste økt plantevekst ved tilsetning av 2000 mg N/m² per år. Tålegrenser er derfor fastsett som ekspertvurdering med spennvidde på 1000-1500 mg N/m² per år.

Effekter i ferskvann

Næringsfattige ferskvann på sandig eller grusig bunn i sure bergartsområder har generelt liten bufferkapasitet og lave kalsium konsentrasjoner. Dette gir lite næringskrevende vegetasjon med flere kortskuddsarter som botnegras, ulike tjonngas, samt stivt- og mykt brasmegras. I slike innsjøer er det i Vest-Europa registrert tilbakegang av kortskuddsarter ved økt N-avsetning (Roelofs, 1983, Arts et al., 1990, Schuurkes et al. 1987). Modelleringer utført av Wortelboer (1988) fra innsjøer i Nederland støtter en N- tålegrense for kortskuddvegetasjon i ferskvann på 500-1000 mg N/m² per år.

Mer næringsrike ferskvann med langskuddvegetasjon bestående av rotfestede og iblant frittsvevende langskuddsplanter, der ulike tjonngas dominerer, finnes ofte på finpartiklet og næringsrik bunn. Ved økt N-tilgang skjer det en eutrofiering med økt planteproduksjon og tilgroing. Tålegrensene her ligger trolig høyere enn for permanent oligotrofe vann.

En norsk spørreundersøkelse av Lindstrøm (1993) viste at det over de siste 20-30 årene har vært en økning av fastsittende alger i flere vassdrag i Norge. En studie av 47 elver i avsidesliggende fjellområder med bakgrunnsverdier på 200-600 mg N/m² per år gav indikasjoner på at den økte algeveksten delvis kan skyldes økt N-avsetning gjennom de siste tiår (Lindstrøm et al., 2000). Sammenhengen mellom økt N-avsetning med nedbør og algevekst i norske elver er også vist ved eksperimentelle forsøk av Lindstrøm (2001).

Effekter på havstrand

Havstrender har generelt høy nitrogentålegrense, særlig de som er påvirket av tidevann. Tidevannspåvirket vegetasjon (EUNIS-klasse A "Marine habitats") har tålegrenser fra 3000-4000 mg N/m² per år. Etablert sanddynevegetasjon har lavere tålegrenser mellom 1000-2000 mg N/m² per år. Overskridelser av tålegrensene kan medføre økt grasvekst, nedgang i krypende urter og økt nitrogenlekkasje fra økosystemet, noe som er rapportert bl.a. fra sanddyner i Nederland, England og Danmark (Kooijman og de Haan, 1995; Nielsen et al., 2000; Riis-Nielsen, 1997; Willis, 1963).