

AKKUMULERING AV NITROGEN – VARIASJONER AVHENGIG AV BESTANDSUTVIKLING, NITROGENTILFØRSEL OG SIMULERT SNØDEKKE

Trine A. Sogn¹, O. Janne Kjønås², Arne O. Stuanes¹ og Gunnar Abrahamsen¹

¹Institutt for jord- og vannfag, Norges landbrukshøgskole

²Norsk institutt for skogforskning



Rapport nr. 10/97 (60)

Norges landbrukshøgskole
Institutt for jord- og vannfag
Postboks 5028, 1432 Ås

ISSN 0805-7214

NATURENS
TÅLEGRENSER 
Miljøverndepartementet
Fagrapport nr. 90

INSTITUTT FOR JORD- OG VANNFAG

Norges Landbrukshøgskole

Postboks 5028, 1432 Ås Telefon: (09) 94 75 00 – Agriuniv. Ås
Telefax: (09) 94 82 11 Rapportarkiv: (09) 98 82 04

ISSN 0805 – 7214

Rapportens tittel og forfattere:

Sogn, T.A., Kjønås, O.J., Stuanes, A.O & Abrahamsen, G. (1997). Akkumulering av nitrogen – variasjoner avhengig av bestandsutvikling, nitrogentilførsel og simulert snødekke. Naturens Tålegrenser, rapport nr. 90. Institutt for jord- og vannfag, NLH, rapport nr. 10/97 (60), ISSN 0805-7214, 22p.

Rapport nr : 10/97 (60)

Begrenset distribusjon:

Ja

Dato: 1.november 1997

Prosjektnummer: NATI 17/97

Faggruppe: Nitrogen

Geografisk område:
Norge

Antall sider (inkl. bilag)
22

Oppdragsgivers ref.:
NATI 17/97

Oppdragsgiver: Direktoratet for Naturforvaltning

Sammendrag:

Kunnskap om hvor mye N som kan akkumuleres i jordsmonnet er av stor betydning for beregning av tålegrenser for N i skogsøkosystemet.

Formålet med denne undersøkelsen var å framskaffe bedre estimater for netto N-immobiliseringshastighet i skogsjord og spesielt hvordan den påvirkes av bestandsalder, N-tilførsel og isolerende snødekke.

4. Emneord , norske

1. Nitrogenakkumulering
2. Nitrogenmineralisering/immobilisering
3. Tålegrenser for Nitrogen

4.Emneord, engelske

1. Nitrogen accumulation
2. Nitrogen mineralization/immobilization
3. Critical loads for Nitrogen

Prosjektleder:



For administrasjonen:



Summary (English)

Knowledge of the N accumulation rate in soil is crucial for the calculation of «critical loads» of N in forest ecosystems. Due to lack of more extensive data, values from 0 to $0.3 \text{ g N m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ has been proposed. The highest value has been recommended for N limited forest ecosystems, where the soil C:N ratio is higher than 25. Alternatively it has been recommended to use the N accumulation rate reached by dividing the total amount of N in soil with the number of years for soil formation (e.g. for Scandinavia: number of years since the last glaciation). Calculations of an average rate of N accumulation is based on the assumption of a constant rate of accumulation, which most probably is not true. In the present study variations in N accumulation in forest soil due to i) stand age, ii) N deposition and iii) an insulating «snow» cover, has been investigated. The N content was investigated in forest stands of different ages: 0, 20, 40, 50, 60, 90 and 100 years. The N accumulation at different N deposition regimes were measured in a field plot experiment established in a 25 to 35 years old Scots pine forest. Over a 6 year period, N (as NH_4NO_3) has been applied once a year in doses of +0 (control), +3 and +9 $\text{g N m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ in addition to the natural N content in the precipitation which is of the order $1 \text{ g N m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$. Effects of an insulating cover on mineralization rates during the dormant season were investigated in the experimental field at Gårdsjön, south-west Sweden. Soil samples incubated in cores with resins in the bottom were covered with insulating mats and compared with adjacent cores subjected to conditions with more amplified temperature changes and frequent input of precipitation and N.

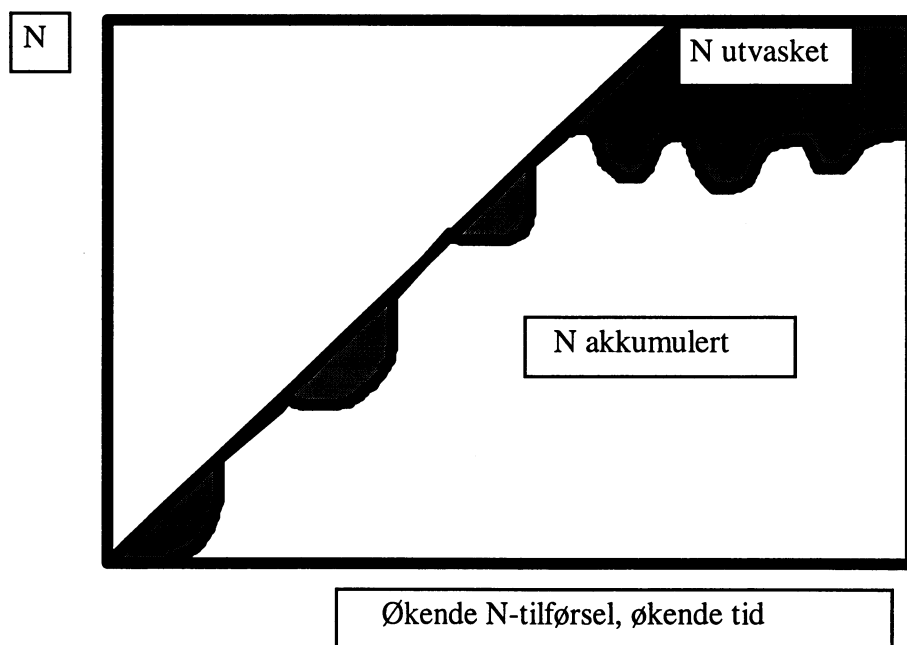
A significant increase in total amount of N in the mor layer with increasing forest stand age was observed. This may indicate a constant N accumulation rate of approximately $0.16 \text{ g N m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ in this layer. However, the data showed that the total accumulation of N in the soil (O- + E-horizon + soil down to 60 cm) may vary during the forest succession. A positive N accumulation is observed in young forest (0-25 years) while soil in older stands may have a negative N accumulation due to «mining» of N from lower soil horizons in order to fulfil the trees' demand.

No significant effect of N application on the total amount of N was observed, neither in the mor layer nor in the soil down to sampled depth (O- + E-horizon + soil down to 60 cm). Most of the extra N applied seemed to be taken up by the plants. However, a slight decrease in the C:N ratio observed in the mor layer with increasing N input may indicate that the ability of the soil to accumulate N is affected by the increased N input.

Due to the mild winter, no effects of an insulating cover was found on mineralization rates during the dormant season within the catchments with different N input. There seems to be a higher N mineralization in insulated cores with N addition than in insulated cores with ambient N deposition, which may be due to the flush of incoming N during the simulated snow melts. The lack of an insulating cover reduced the immobilization of NO_3^- , which resulted in an increased NO_3^- leaching. In the coastal areas of Norway and Sweden, which are the areas most exposed to N deposition in Scandinavia, stable winter conditions with a permanent snow cover are rare. Since lack of an insulating snow cover has been found to reduce the soils ability to immobilize N and thus increase the NO_3^- -leaching, a climatic factor should be taken into account when calculating «critical loads» of N.

Sammendrag (Norsk)

Kunnskapsgrunnlaget for definisjon av tålegrenser for nitrogen (N) i skog ble utredet ved NISK på oppdrag fra Direktoratet for naturforvaltning (Stuanes & Abrahamsen 1996). Som det framgår av denne utredningen og tålegrenseligningene, er netto immobilisering av N en nøkkelparameter. Det er vanskelig å framskaffe eksakte verdier for netto akkumulering av N i skogsjord. Parameteren blir dermed vurdert som spesielt usikker. På oppdrag fra Direktoratet for naturforvaltning ble det ved Institutt for jord- og vannfag, NLH, estimert verdier for gjennomsnittlig N-akkumuleringshastighet på grunnlag av overvåkingsdata, data fra langtidsgjødslingsforsøk, og data fra annen nyere N-forskning (Sogn *et al.* 1995). Beregningene av disse estimatene bygger på antagelsen om en konstant N akkumulering. Vi vet imidlertid at dette er en forenkling. N-akkumuleringen kan variere over tid. F.eks. akkumulerer skogsøkosystemer store mengder N i en oppbygningsfase (Nilsson & Grennfelt 1988). Et foreløpig ubesvart spørsmål videre er også hvordan akkumuleringshastigheten er blitt endret ved dagens høyere N-avsetning. I Figur 1 er en mulig sammenheng mellom N-akkumulering, skogsbestandets utvikling og N-avsetningsregime skissert.



Figur 1. Skisse av tenkt sammenheng mellom netto akkumulert N, skogbestands utvikling og N-avsetningsregime (modifiser etter Van Miegroet *et al.* 1992).

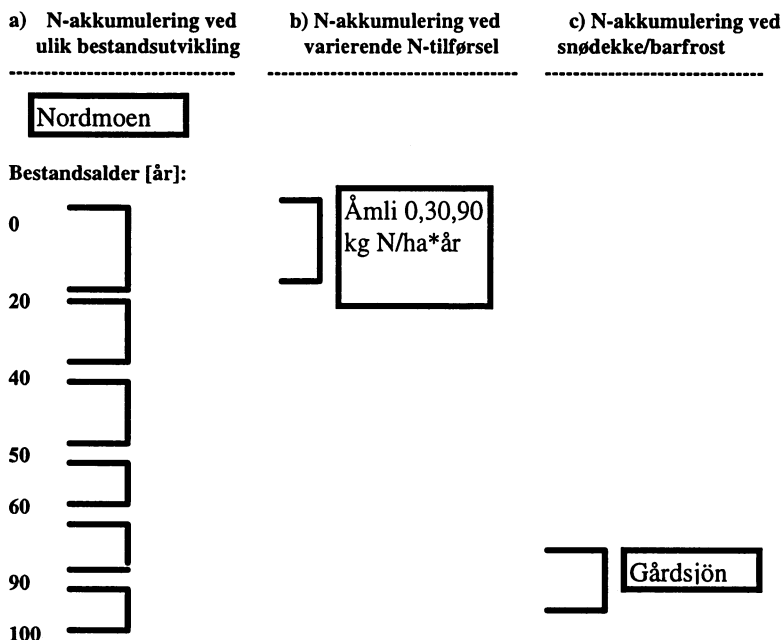
*Schematic presentation of an assumed relationship between the net N accumulated in soil, forest succession and N deposition regime (modified after Van Miegroet *et al.* 1992). The notation N leached represents the net N loss by leaching. N accumulated represents the net N accumulation within the forest ecosystem.*

Som forsøkt illustrert i figuren må også N-akkumuleringen antas å variere gjennom året, og mellom ulike år avhengig av bl.a. temperatur- og fuktighetsforhold. I NITREX-feltet Gårdsjön er det f.eks. blitt observert høyere mineralisering i et år med snødekke vinterstid i forhold til i

vintre med barfrost. Den isolerende effekten av snøen synes å ha betydning for N-omsetningen vinterstid.

Som følge av ovenstående ønsker vi her å belyse nærmere hvordan N-akkumulering kan avhenge av a) bestandsutvikling, b) N-tilførsel, og c) snødekke kontra barmark. Kunnskap om disse faktorenes innvirkning på N-akkumuleringen bør kunne gi grunnlag for forbedrede estimater av gjennomsnittlig N-akkumuleringshastighet for ulike skogsområder.

Undersøkelsene er delt i 3 deler (Fig 2).



Figur 2. De ulike delundersøkelsene sett i sammenheng. Tekst øverst (a-c)) angir problemstillingen. Klammene angir skogsbestandets alder i de ulike undersøkelsene. Navn i rubrikker angir forsøksfelt.

The relationship between the different investigations. The top text explains the subject. The brackets illustrates the stand age at the different experimental fields. The text within the squares gives the name of the area where the investigations were carried out.

For undersøkelser av N-akkumulering i ulike faser av en bestandsutvikling ble det tatt utgangspunkt i skog av ulik alder i det ellers svært homogene forsøksfeltet på Nordmoen i sør-øst Norge. På flater med snauhogst (0 år), og flater med granskog av ulik alder (20, 40, 50, 60, 90, 100 år) ble humustykkelse, samt jordsmonnets innhold av C og N undersøkt.

For undersøkelse av N-akkumulering ved økt N-tilførsel ble det tatt utgangspunkt i gjødslingsfeltene i prosjektet «S- og N-tilførsel, jordforsuring og trærnes næringstilgang»/«Effekt av N på skogsøkosystemet» (Abrahamsen & Erstad 1995) hvor felter med ung furuskog i Åmli i Sør-Norge er tilført N på tre ulike nivå, 0 (d.v.s kun naturlig tilførsel via nedbøren), +3 og +9 g N m⁻² år⁻¹ (3 og 9 g N m⁻² år⁻¹ i tillegg til N i den naturlige nedbøren) over en 6 årsperiode.

For å undersøke virkningen av et isolerende snødekke på N-mineralisering og akkumulering gjennom en vintersesong ble det i Gårdsjön, sør-vest Sverige, utført et inkubasjonsforsøk. Jordprøver inkubert i sylindre med ionebyttermasse i bunn ble dekket til med isolerende glavamatter. Disse prøvene ble sammenlignet med tilsvarende sylindre i et tilgrensende område som ikke var tildekket. De utildekkede sylindrene var i større grad utsatt for vekslende perioder med frost og tining samt en kontinuerlig tilførsel av nedbør og N.

Det ble observert en signifikant økning i mengde total N i humus med økende bestandsalder, noe som kan antyde en konstant akkumuleringshastighet på 0.16 g N m⁻² år⁻¹ i dette sjiktet. Denne hastigheten ligger helt i nedre grense av det intervallet foreslått av Sogn *et*

al. (1995) ($0.2-1.7 \text{ g N m}^{-2} \text{ år}^{-1}$). Resultatene viser imidlertid at N-akkumuleringen i hele jordsmonnet ned til 60 cm, i løpet av en bestandsutvikling, kan gå i ulike stadier. En positiv N-akkumulering i ung skog (0 - 25 år), mens jord i eldre skog tidvis kan ha en negativ N-akkumulering fordi trærne tar opp N fra dypere jordsjikt.

Det ble ikke observert noen effekt av N-tilførsel på humusens eller jordsmonnets innhold av total N. Så langt ser det ut til at den økte N-tilførselen i hovedsak tas opp av trærne i forsøksfeltet i Åmli. Det ble observert en svak reduksjon i humusens C:N-forhold ved økende N-tilførsel. Dette kan tyde på at jordas evne til å akkumulere N kan være påvirket av den økte N-tilførselen.

På grunn av den milde vinteren var det ingen entydig effekt av isolasjonsdekke på netto N mineraliseringen i løpet av vintersesongen innen felt med samme N tilførsel. Samspillet mellom N-tilførsel og isolasjonsdekke viste imidlertid at det var en høyere mineralisering i isolerte sylindrene med økt N-tilførsel enn i de isolerte sylindrene i kontrollfeltet. Denne økte mineraliseringen kan skyldes den kraftige tilførselen av N til jorda i forbindelse med den simulerte snøsmeltingen. Mangel på et isolerende dekke reduserte immobiliseringen av NO_3^- , noe som resulterte i økt NO_3^- -utvaskning. I kystnære områder i Norge og Sverige, områder eksponert for relativt mye atmosfærisk tilført N, er stabilt kalde vintre med et permanent snødekke sjeldent. Siden mangel på et isolerende dekke ser ut til å redusere jordas evne til å akkumulere N, bør en klimatisk faktor trekkes inn i beregningene av «tålegrenser» for N.

Kap.1 Akkumulering av N - Variasjoner avhengig av bestandsalder og N-tilførsel

Trine A. Sogn, Arne O. Stuanes og Gunnar Abrahamsen.

1.1 Innledning

Begrepet «naturens tålegrenser» er utviklet for å ha et miljøbasert verktøy i forbindelse med forhandlinger om strategier for kontroll og reduksjon av luftforurensinger. Den vitenskapelige diskusjonen omkring begrepet «naturens tålegrenser» eller «critical loads» startet opp på et møte organisert av Nordisk ministerråd i 1986 (Nilsson 1986). På grunnlag av diskusjonen på dette møtet ble det for første gang gitt estimater for organismers tålegrenser for S i skogsøkosystem, grunn- og overflatevann. Senere, på et tilsvarende møte, ble tålegrenser for N diskutert (Grennfelt & Thörnelöf 1992). En av konklusjonene fra dette møtet var at massebalansebergninger over lengre tidsrom (minst et omløp, eller 100 år) var å anbefale når tålegrenser for N i skogsøkosystem skulle utarbeides. På den måten ville kort-tidseffekter av f.eks. hogst, vindfall, og skogbrann kunne inkluderes i de beregnede gjennomsnittsverdiene gjeldende for lengre tidrom. Tålegrensen for N i et skogsøkosystem kan bergnes ved hjelp av følgende formel:

$$\text{TÅLGERENSEN} = N_{\text{utvasking}} + N_{\text{immobilisering}} + N_{\text{denitrifikasjon}} + N_{\text{biomasse}} + N_{\text{fiksering}}$$

hvor

$N_{\text{utvasking}}$ = Akseptert utvasking av N.

$N_{\text{immobilisering}}$ = Netto immobilisering av N, dvs. immobilisering - mineralisering.

N_{biomasse} = Akkumulering av N i biomassen.

$N_{\text{fiksering}}$ = Biologisk fiksering av N.

En viss usikkerhet er knyttet til alle parametrene i likningen over, men spesielt til netto immobiliseringen av N da denne utgjør en svært liten del av den totale mengden N i jordmonnet. Grunnet mangel på data for denne netto immobiliseringen av N, foreslo Grennfelt & Thörnelöf (1992) verdier liggende i intervallet 0 til $0.3 \text{ g N m}^{-2} \text{ år}^{-1}$. Den høyeste verdien ble anbefalt benyttet i N-begrensede skogsøkosystem, med C:N større enn 25. Alternativt ble det anbefalt å benytte en N-akkumuleringshastighet som kunne beregnes ved å dividere jordas totale innhold av N med de antall år jordsmonnsdannelsen hadde foregått (Grennfelt & Thörnelöf 1992). Sogn et al. (1995) beregnet N-akkumuleringshastigheter til å ligge i intervallet $0.2\text{-}1.7 \text{ g N m}^{-2} \text{ år}^{-1}$ for skogsøkosystem i de deler av Norge og Sverige som mottar middels til høy N-tilførsel. De estimerte verdiene var basert på ulike beregningsmetoder. De benyttet metoden foreslått av Grennfelt & Thörnelöf (1992) på data fra en nasjonal overvåkningsdatabase for skogsjord i Norge og sammenlignet de estimerte N-akkumuleringshastighetene med verdier beregnet på grunnlag av inn-ut-budsjetter og studier av endringer i jordas N-innhold på samme sted over kortere tidsrom. Slike enkle beregninger av en gjennomsnittlig N-akkumuleringshastighet over et gitt tidsintervall baserer seg på antagelsen om en konstant akkumuleringshastighet gjennom tidsintervallet. N-akkumuleringen kan imidlertid variere over tid. Et skogsøkosystem kan akkumulere store mengder N i perioder med oppbygning av biomasse, mens det i andre perioder kan N-

akkumuleringen være lav (Nilsson & Grennfelt 1988). Et spørsmål som så langt ikke er besvart er hvordan N-akkumuleringshastigheten påvirkes av de siste 10 årenes høyere N-tilførsel.

Formålet med denne undersøkelsen var å framskaffe bedre estimater for netto N-immobiliseringshastighet i skogsjord og spesielt hvordan den påvirkes av bestandsalder og N-tilførsel.

1.2 Metode

1.2.1 *Esperimentelt*

a) Akkumulering av N i ulike faser av en bestandsutvikling.

Det ble tatt utgangspunkt i skog av ulik alder i det ellers svært homogene forsøksfeltet på Nordmoen i sørøst Norge, 11°09'E/60°15'N. På flater med snauhogst (0 år), og flater med granskog av ulik alder (20, 40, 50, 60, 90, 100 år) ble humustykkelse, samt jordsmonnets innhold av C og N undersøkt. Der det var mulig, ble aldersklassene representert med to områder. Hvert område ble delt inn i fire delområder. For å få med den naturlige variasjonen ble det i delområdene tatt 5 jorduttak, hvert uttak med humus + E-sjikt + 60 cm. De øverste 30 cm av jordsmonnet ble prøvetatt med et sylinderbor, og videre nedover med et slissebor. Jorduttakene ble delt inn i 6 ulike sjikt (O, E, 0-10 cm, 10-20 cm, 20-40 cm og 40-60 cm). De 5 prøvene fra hvert delfelt ble blandet sjiktvis. Tykkelsen på humus-sjiktet ble målt for hvert prøveuttak. Jordprøvene ble tørket (<40°C) og knust, og C- og N-innholdet ble bestemt med en CHN-analysator (Karbon, Hydrogen, Nitrogen analysator, LECO EC-12).

b) Akkumulering av N ved økt N-tilførsel.

Det ble tatt utgangspunkt i gjødslingsfeltene i prosjektet «S- og N-tilførsel, jordforsuring og trærnes næringstilgang»/ «Effekt av N på skogøkosystemet» (Abrahamsen & Erstad 1995) hvor felter med ung furuskog i Åmli i Sør-Norge, 8°34'E/59°54'N, er tilført N på tre ulike nivå, 0 (d.v.s kun naturlig tilførsel via nedbøren), +3 og +9 g N m⁻² år⁻¹ (3 og 9 g N m⁻² år⁻¹ i tillegg til N i den naturlige nedbøren) over en 6-årsperiode. De tre ulike behandlingsnivåene er representert med 3 gjentak. For å få med den naturlige variasjonen i forsøksrutene, ble det tatt 10 jorduttak per rute, hvert uttak med humus + E-sjikt + 60 cm. Jorda ble prøvetatt, forbehandlet og analysert som beskrevet i a).

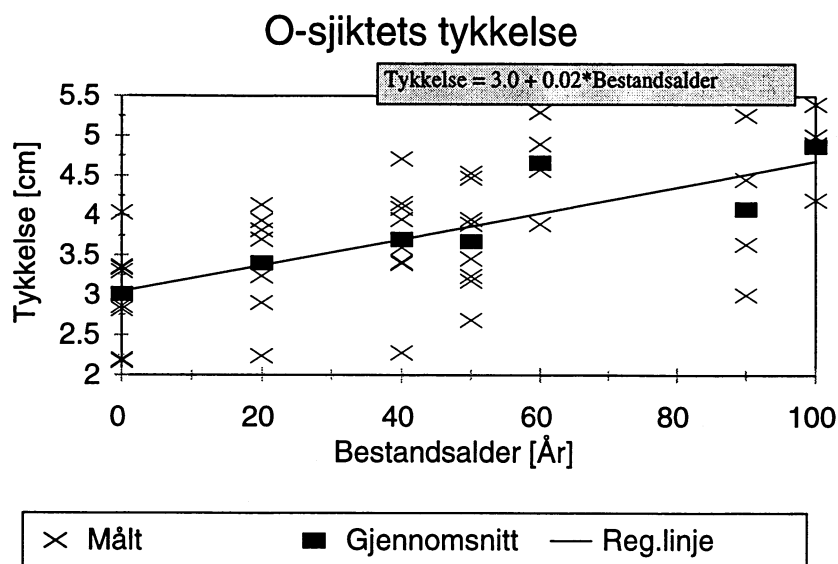
1.2.2 *Statistisk behandling*

Datamaterialet ble testet statistisk ved hjelp av variansanalyse og multiple sammenligninger (GLM- og Newman-Keuls prosedyre i «SAS computer software system») for å finne eventuelle effekter av a) bestandsalder og b) N-tilførsel. P<0.05 ble valgt som signifikansnivå.

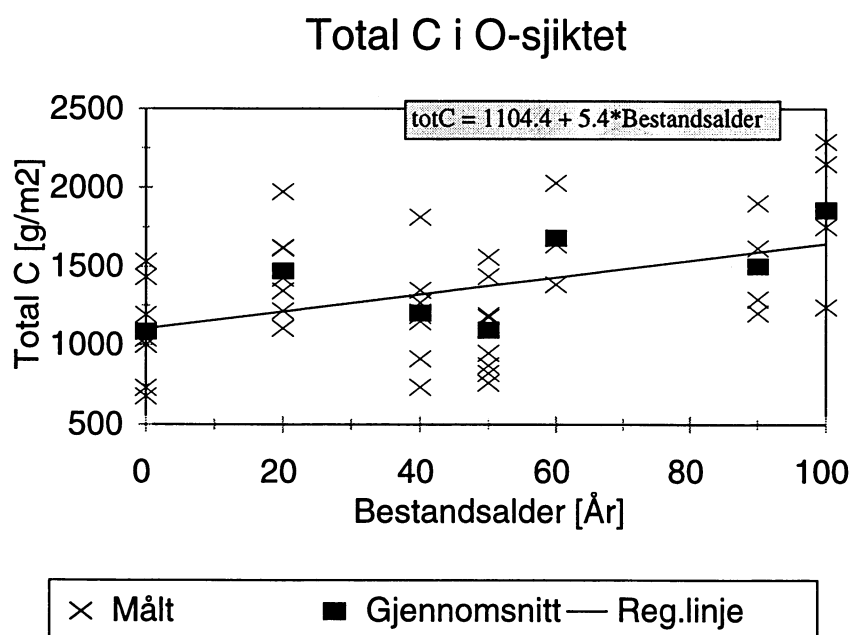
1.3 Resultater og diskusjon

a) Akkumulering av N i ulike faser av en bestandsutvikling.

Humusens tykkelse og totale innhold av C og N økte signifikant med økende bestandsalder (Fig. 1.1, 1.2, og 1.3). Humustykkelsen økte relativt jevnt med økende bestandsalder ($r^2=0.4$, $p<0.05$), mens bildet var noe mer varierende for C og N. Bortsett fra



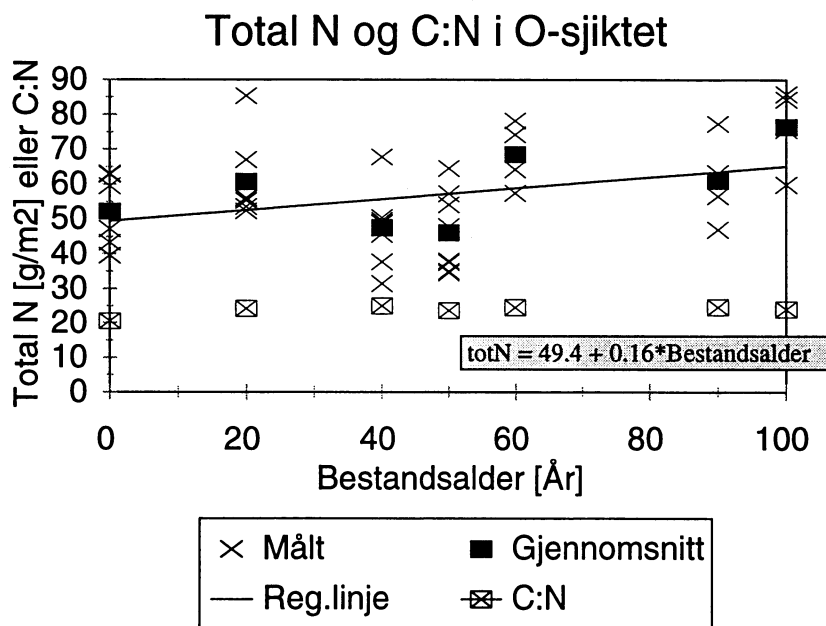
Figur 1.1. Humus tykkelse som en funksjon av bestandsalder (0-100 år).
Thickness of the O-horizon versus stand age (0-100 years).



Figur 1.2. Total C i humusen som en funksjon av bestandsalder (0-100 år).
Total C in the O-horizon versus stand age.

polynom av orden ≥ 3 , var det imidlertid også for disse parametrene en lineær sammenheng som forklarte den største delen av variasjonen i de målte verdiene ($r^2=0.2$, $p<0.05$ for total C, $r^2=0.1$, $p<0.05$ for total N). Stigningskoeffisienten til regresjonslinjen gjennom dataene for total N var på 0.16. D.v.s. i humusen ser det ut til å være en konstant N akkumuleringshastighet på $0.16 \text{ g N m}^{-2} \text{ år}^{-1}$ for hele 100-års perioden. Denne verdien tilsvarer den nederste verdien i intervallet foreslått av Sogn et al. (1995). Tilpasning av polynom av økende orden bedret forklaringen av variasjonen i de målte N-verdiene. En slik sammenheng mellom bestandsalder og N-akkumulering, kan være mulig. Et skogsbestand kan f.eks. i sterke vekstperioder akkumulere store mengder N i biomassen, og dermed kanskje kunne redusere akkumuleringen i humusen. På Nordmoen utgjør N-innholdet i biomassen kun 9 % av det

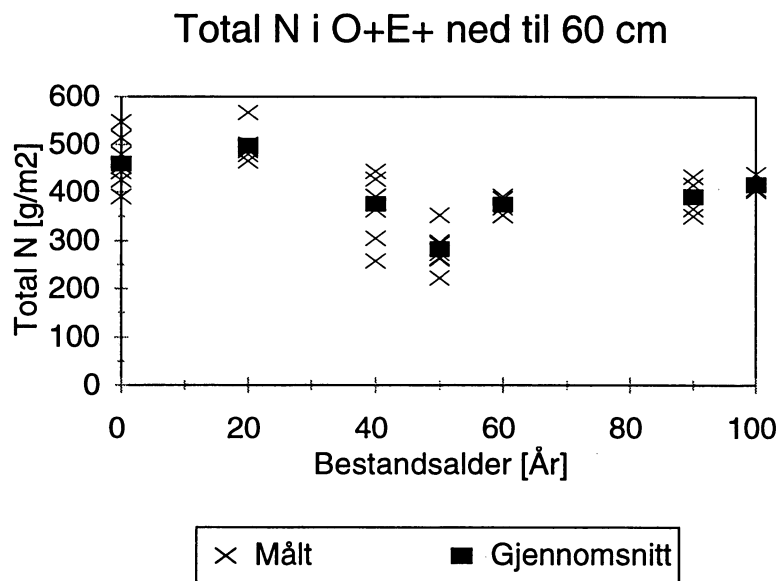
totale N-innholdet i skogsøkosystemet. Hoveddelen er akkumulert i jordsmonnet (Johnson & Lindberg 1992). I våre undersøkelser utgjorde N innholdet i humussjiktet bare 14 % av den totale mengden N akkumulert ned til totalt prøvetatt dyp (O+E+60 cm). Ettersom N-akkumuleringen i biomasse og humusen er i samme størrelsesorden, vil en eventuell økning i trærnes N-behov, f.eks. grunnet økt vekst, kunne være synlig på N-innholdet i humusen. Det relativt konstante C:N-forholdet over tid (20-25, Fig.1.3) styrker imidlertid ikke en slik forklaring.



Figur 1.3. Total N og C:N i humusen som en funksjon av bestandsalder (0-100 år).
Total N and C:N ratio in the O-horizon versus stand age.

I gjennomsnitt for alle de ulike bestandsaldrene var total mengde N akkumulert i jordsmonnet ned til prøvetatt dyp ca. 400 g m⁻². Den totale mengden N i jorda ser ut til å øke i bestand i alderen 0 til 20 år og avta i perioden fra 20 til 50 år (Fig.1.4). Selv om variasjonen i total N i jordsmonnet kan skyldes opprinnelige forskjeller mellom de ulike bestandene, kan forskjellene forklares ved skogens utvikling. På grunnlag av studier av trærns vekst i ulike gjødslingsforsøk foreslår Miller (1980) at i løpet av et omløp kan skogens næringsbehov deles inn i tre ulike stadier: i) Etableringsfasen. Trærne er små og har dermed ikke særlig stor dekningsgrad. I dette stadiet vil trærnes næringsbehov være økende og nå sitt maksimum når kronen lukkes. ii) Etter kronelukning. På dette nivået vil den eneste netto-immobiliseringen være den som foregår i trærnes strukturelle deler og i humusen. Trærnes næringsbehov er på dette nivået lavt på samme tid som skogens evne til å inkorporere og ta vare på næringsstoffer fra atmosfæren er svært effektiv. iii) Sent i omløpet. På dette nivået vil en kunne ha immobilisering både i trær og humus. På grunnlag av Millers inndeling vil følgende stadier i jordas N-akkumuleringshastighet kunne forventes: i) En økning i jordas N-akkumuleringshastighet i løpet av trærnes etableringsfase, ii) en oppbygning av jordas totale N-innhold etter kronelukning når trærnes næringsbehov er lavt, mens trærnes evne til å ta opp og beholde næringsstoffer er svært effektiv, og iii) en stagnasjon i N-akkumuleringshastigheten i de dypere jordlagene sent i omløpet da det foregår en overskuddsakkumulering i trærne og immobilisering i humusen. Emmett & Reynolds (1996) har gjort en lignende undersøkelse for granskog i alderen 0 til 60 år, i Wales. Ved å ta utgangspunkt i den oppbygningen av humus som var skjedd siden området ble tilplantet,

tilsvarte dette en netto immobilisering av N i humussjiktet på ca. $3 \text{ g N m}^{-2} \text{ år}^{-1}$. Dette tallet er høyere enn det som ble tilført jorda årlig fra atmosfæren. De antok følgelig at det fant sted en betydelig refordeling av N i jordsmonnet. I perioder av en bestandsutvikling antok de at N ville tas opp i trærne fra lavere jordsjikt, og via trærne igjen bli tilført jordoverflaten (humusen). D.v.s. at i perioder av en bestandsutvikling kunne en ha en netto negativ immobilisering av N i jordsmonnet. Emmett og Reynolds (1996) foreslo følgende stadier: 1) En positiv N-akkumulering i yngre bestander, 10 - 20 år. 2) En maksimum N-akkumuleringshastighet ved «krone-lukkning», 15 - 25 år, 3) N- immobiliseringen kunne ofte være negativ i eldre bestander, p.g.a. trærnes opptak av N fra lavere jordsjikt som førte til en refordeling av N i jordsmonnet idet strøet føres tilbake til jordoverflaten.

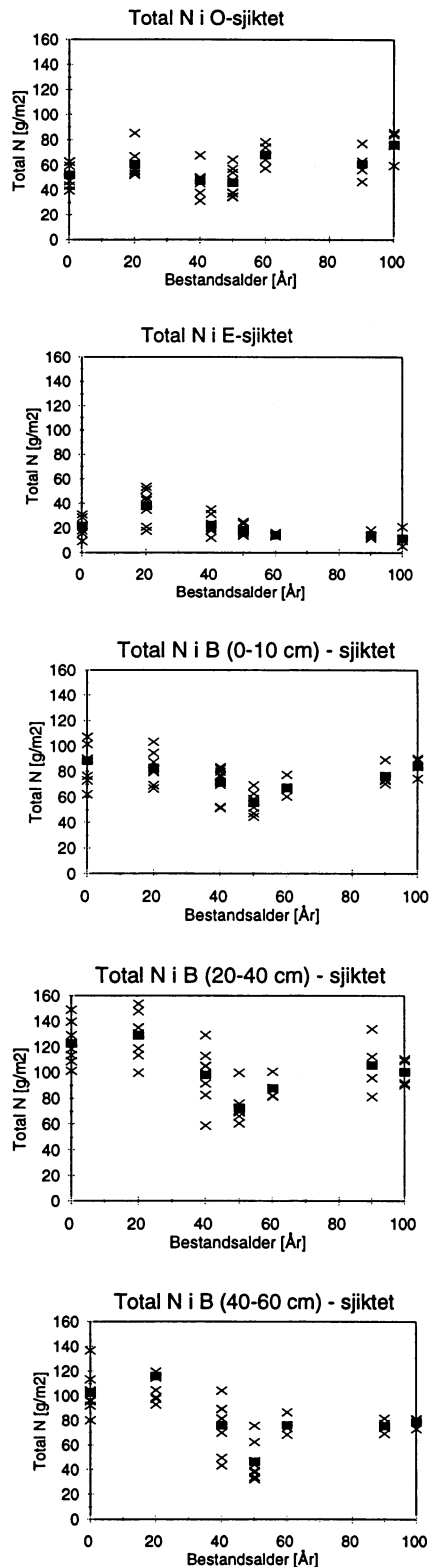


Figur 1.4. Total N i hele jordsmonnet (O + E + ned til 60 cm).
Total amount of N in the soil (O- + E-horizon + 60 cm) versus stand age.

Ser en noe mer i detalj på hvordan mengden total N i de ulike jordsjiktene varierer med bestandsalder i denne undersøkelsen (Fig.1.5), passer stadielinndelingen foreslått av Emmett & Reynolds (1996) relativt godt for våre målinger. I de fleste sjikt er det en positiv N-akkumulering i helt ung skog (0-20 år). I eldre skog stagnerer denne akkumuleringen tydelig, og i en periode fra 20-50 år er det i de dypere sjikt en tydelig negativ N-akkumulering, som altså kan stamme fra trærnes opptak av N fra dypere jordsjikt i perioder av en bestandsutvikling. I følge studier av Berg (1986) vil det i eldre organisk materiale, i motsetning til i yngre organisk materiale, i større grad finne sted en netto frigivelse av N under mineraliseringen. Mens mineralisering av strø i humussjiktet der yngre, mindre omdannet organisk materiale sørger for en netto immobilisering av N og dermed en reimmobilisering framfor opptak i røtter, kan det netto frigitte N fra eldre organisk materiale kunne være tilgjengelig for planteopptak. På denne måten kan det finne sted en redistribuering av N i jordsmonnet fra dypere sjikt via trær til humus, nedbrytning, omdanning og frigivelse i dypere sjikt igjen. Vegetasjonen sørger for et effektivt opptak i motsetning til en lekkasje av N som ellers kunne ha vært forventet, og som ofte observeres i felter med snauhogst.

På den annen side kan også trærnes opptak av N fra dypere jordlag vise at røttene i stor grad kan konkurrere ut mikrofloraen i kampen om N. Denne teorien stemmer godt overens med arbeidet til Johnson (1990), hvor han oppsummerer ulike faktorer som virker inn på

retensjonen av N både i gjødslede og naturlige skogsøkosystem. Han konkludere med at mens heterotrofe organismer så ut til å vinne konkurransen om N på kort sikt i N fattige områder, så



Figur 1.5. Total N i hvert jordsjikt som en funksjon av bestandsalder (0-100 år).
Total amount of N in each soil horizon versus stand age.

vant trærne konkurransen om N på lengre sikt i disse områdene. Denne utrangeringen av de heterotrofe organismene kommer ofte til syne ved en tapping av N fra dypere jordlag. Disse

observasjonene sammenfaller også med resultater fra studier av Wang og Bakken (1989), og Bakken (1990), som tydelig viser hvordan plantene kan utkonkurrere de heterotrofe mikroorganismene i kampen om N på dyrket mark. Plantene kan ta opp betydelige mengder mineralisert N som ellers (dvs. i systemer uten planter) ville blitt immobilisert i mikroorganismenes kroppsmasse. Det må imidlertid ikke glemmes at dyrket mark vanligvis har et betydelig lavere C:N-forhold enn skogsjord, slik at sammenligning må foretas med forsiktighet.

b) Akkumulering av N ved økt N-tilførsel.

I felteksperimentet i Åmli var hverken humusens tykkelse eller innhold av C og N signifikant påvirket av økt N-tilførsel (Tabell 1.1). Det er vanskelig å avdekke små endringer i den store mengden N som allerede foreligger i jordsmonnet. Selv en tilførsel på 54 g N m^{-2} ($9 \text{ g N m}^{-2} \text{ år}^{-1}$ i 6 år), tilsvarende ca. 70 % av mengden N akkumulert i humusen, har ikke ført til økning i den totale mengden N akkumulert i humusen. Det ser imidlertid ut som om den økte N-tilførselen kan ha gitt en svak reduksjon i C:N-forholdet (Tabell 1.1). Både i humustykkelse og N-innhold ser det ut til å være en trend i retning av mindre variasjon innen behandlingsleddet med økende N-tilførsel (Tabell 1.1).

Den total mengden N i jorda ned til prøvetatt dyp var heller ikke signifikant påvirket av den økte N-tilførselen (Tabell 1.1). Den total mengden N i jordsmonnet var på 303 g N m^{-2} , hvorav 27 % var akkumulert i humusen.

Tabell 1.1. Variasjoner i O-sjiktets tykkelse, totalt innhold av C og N, og C:N avhengig av N-tilførsel (+0, +3 og +9 $\text{g N m}^{-2} \text{ år}^{-1}$). Standardavvik er gitt ved \pm verdiene.

Variation of O-horizon thickness, total amount of C and N, and C:N with N application regime (+0, +3 and +9 $\text{g N m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$). Standard deviations are given as \pm values.

| N-tilførsel [$\text{g N m}^{-2} \text{ år}^{-1}$] | Tykkelse av O- sjiktet [cm] | Tot.C i O-sjiktet [g m^{-2}] | Tot.N i O-sjiktet [g m^{-2}] | C:N i O-sjiktet [g m^{-2}] | Tot.N ned til prøvetatt dyp (O+E+60cm) [g m^{-2}] |
|--|-----------------------------------|--|--|--|---|
| +0 | 5,0 \pm 1,3 | 2496,1 \pm 748,4 | 77,4 \pm 13,8 | 31,8 \pm 3,9 | 293,8 \pm 57,2 |
| +3 | 5,3 \pm 1,0 | 2701,7 \pm 139,1 | 86,3 \pm 9,5 | 31,4 \pm 1,8 | 313,9 \pm 33,4 |
| +9 | 5,1 \pm 0,3 | 2352,3 \pm 196,5 | 77,6 \pm 6,3 | 31,1 \pm 1,0 | 313,7 \pm 11,1 |

Økt tilførsel av N har resultert i signifikant økning i trærnes vekst i dette feltforsøket (Nilsen & Abrahamsen 1995). Etter 5 år med behandling hadde tilførsel av $3 \text{ g N m}^{-2} \text{ år}^{-1}$ gitt en volumøkning på 53 %, og en tilførsel på $9 \text{ g N m}^{-2} \text{ år}^{-1}$ en økning på 102 % relativt til kontrollen. Tilførsel av $9 \text{ g N m}^{-2} \text{ år}^{-1}$ har gitt en signifikant økt konsentrasjon av NO_3^- og NH_4^+ i avrenningen i et lysimeteranlegg med jord tatt ut i samme område som feltforsøket foregår (Sogn & Abrahamsen 1997). Mengde N i avrenningen er imidlertid lav i forhold til mengde N tilført. Det ser altså ut til at den økte N-tilførselen i hovedsak tas opp av trærne i dette området, og at jordas evne til å akkumulere N ikke er synlig påvirket av N-tilførselen. Flere andre undersøkelser viser den samme vekstresponsen og N-retensjonen når en tilfører en eller få, store N-doser til N-fattige områder (f.eks. Aronsson & Elowson 1980, Ingestad 1980, Landsberg 1986). Johnson & Todd (1988) fant imidlertid at dersom en tilførte N kontinuerlig, i mindre doser, ville de heterotrofe mikroorganismene utkonkurrere plantene, og at det kun var de store engangsdosene som gav en økning i trærnes vekst. Sjansen for utvasking av store mengder N ser altså ut til å være mindre når N blir tilført i store enkeltdoser grunnet effektivt planteopptak. Kontinuerlig tilførsel av N, i mindre doser, kan imidlertid se ut til å kunne øke jordas totale innhold av N mer enn det som er observert i denne undersøkelsen.

1.4 Konklusjon.

a) Akkumulering av N i ulike faser av en bestandsutvikling.

En signifikant økning i mengde total N i humus med økende bestandsalder, kan tyde på en konstant akkumuleringshastighet på $0.16 \text{ g N m}^{-2} \text{ år}^{-1}$ i dette sjiktet. Denne hastigheten ligger helt i nedre grense av det intervallet foreslått av Sogn *et al.* (1995) ($0.2\text{-}1.7 \text{ g N m}^{-2} \text{ år}^{-1}$). Resultatene viser imidlertid at N-akkumuleringen i hele jordsmonnet ned til 60 cm, i løpet av en bestandsutvikling, kan gå i ulike stadier. En positiv N-akkumulering i ung skog (0 - 25 år), mens jord i eldre skog tidvis kan ha en negativ N-akkumulering fordi trærne tar opp N fra dypere jordsjikt.

b) Akkumulering av N ved økt N-tilførsel

Da ingen effekt av økt N-tilførsel kunne observeres i humusens eller jordsmonnets innhold av total N, ser det ut til at den økte N-tilførselen i hovedsak tas opp av trærne i feltforsøket i Åmli. Den svake reduksjonen i humusens C:N-forhold ved økende N-tilførsel kan imidlertid tyde på at jordas evne til å akkumulere N kan være påvirket av den økte N-tilførselen.

Kap. 2 Virkninger av et isolerende dekke på netto N mineraliseringen gjennom en vintersesong

O. Janne Kjølmoen, Trine A. Sogn og Arne O. Stuanes

2.1 Innledning

Grunnet de siste 50 års globale økning i nedbørens N-innhold (Galloway 1995) har interessen for effektene av antropogen N-tilførsel på det terrestriske systemet økt. På tross av enkelte rapporter om økende NO_3^- konentrasjoner i jord- og overflatevann grunnet N-avrenning fra terrestriske system (f.eks. Henriksen & Brakke 1988, Larsson *et al.* 1995), er jordsmonnet av stor betydning for retensjonen av N, spesielt i tilfeller med kontinuerlig tilførsel av relativt lave N mengder (Fernandez & Rustad 1990, Aber *et al.* 1993, Kahl *et al.* 1993, Christ *et al.* 1995, Magill *et al.* 1996, Kjølmoen *et al.* I trykk, Tietema *et al.* I trykk). Den videre skjebnen til det N som akkumuleres i jordsmonnet er nær knyttet til N-mineraliseringen og NO_3^- -transformasjonen i jordsmonnet. F.eks. fant Van Mieghroet *et al.* (1992) at en jordarts N-mineraliseringspotensiale var den viktigste enkeltfaktoren som kunne forklare variasjoner i NO_3^- -avrenning mellom ulike barskogsområder i Nord-Amerika og Europa. I følge Durka *et al.* (1994), er jordmikroorganismenes interne NO_3^- -syklus den prosessen som i hovedsak bestemmer jordas evne til å akkumulere det N som tilføres via nedbøren.

I Gårdsjön, Sørvest Sverige, er virkningen av økt N-tilførsel på N- transformasjonen blitt undersøkt. N-tilførselen ble øket fra 1.1 til tilnærmet 5.1 $\text{g m}^{-2} \text{ år}^{-1}$ i et lite nedbørsfelt. N-tilførselen viste seg å gi en betydelig øket netto N- mineralisering og NO_3^- -transformasjon det tredje året med N-behandling (Kjølmoen *et al.* I trykk). En betydelig del av det mineraliserte N kom fra den 6 måneder lange vinterinkubasjonen. Det tredje behandlingsåret var denne perioden karakterisert ved et stabilt snødekke etterfulgt av en relativt varm april måned (Kjølmoen *et al.* I trykk). Vinteren året etter hadde, på samme måte som vintrene det første og andre behandlingsåret, alternerende perioder med frysing og tining, uten et stabilt snødekke. N-transformasjonen i disse årene var betydelig lavere enn for året med det stabile snødekket. Et stabilt, isolerende snødekke sammen med en økt N-tilførsel fra atmosfæren ser altså ut til å påvirke N-transformasjonen ved å gi fordelaktige betingelser for mikroorganismer og dermed øke netto N-transformasjonen i jordsmonnet. Høy mikrobiell aktivitet ved lave temperaturer under et stabilt isolerende snødekke er tidligere rapportert av bl.a. Brooks *et al.* (1996). De fant at aktiviteten til heterotrofe mikroorganismer i jordsmonnet økte fra tidlig i mars fram til snøsmeltingen i midten av mai. Mikrobiell aktivitet er blitt rapportert å ha funnet sted helt ned til temperaturer så lave som -6.5°C (Coxon & Parkinson 1987). I Gårdsjön er den høyeste mikrobielle biomassen i løpet av et år funnet under snø i vintersesongen fra november til mars (Hogervorst *et al.* I trykk).

I Gårdsjön er det målt maksimal NO_3^- -konsentrasjon i jordvann senhøstes og om våren (Stuanes & Kjølmoen, I trykk). Dette indikerer at det foregår en oppbygning av uorganisk N i de perioder hvor aktiviteten til den mikrobiell populasjonen er høy uten at det foregår et tilsvarende høyt N-opptak av vegetasjonen, som i større eller mindre grad befinner seg i en hvileperiode. Tilsvarende trender i NO_3^- -avrenning er rapportert i andre undersøkelser (f.eks. Van Mieghroet *et al.* 1992). I løpet av en vintersesong med redusert biologisk aktivitet ser det ut til at mengde NO_3^- som lekker ut av et nedbørsfelt er et resultat av flere faktorer. Disse faktorene ser i hovedsak ut til å være N-nivå i tilført nedbør, jordas evne til å immobilisere N, samt nedbørsfeltets hydrologi. Snøfattige vintre uten et isolerende snødekke kan gi økt NO_3^-

avrenning gjennom ugunstige klimatiske forhold for mikrobiell N-immobilisering og en rask vanntransport gjennom frossen jord. Stabile vintre med et isolerende snødekke kan på den andre siden gi like fordelaktige forhold for mikrobiell aktivitet som milde vintre uten frostperioder. Økt N-tilførsel i kombinasjon med høy N-mineralisering og nitrifikasjon kan gjennom dette forårsake en betydelig økning i NO_3^- -avrenningen. Som beskrevet i Kapittel 1 er kunnskap om jordas evne til å akkumulere N av stor betydning ved beregning av «tålegrenser» for N i skogsøkosystem. Dersom netto N-immobiliseringen i jordsmonnet er svært følsom overfor de klimatiske forhold gjeldene gjennom en vintersesong, må klimatiske faktorer også trekkes inn i beregningen av «tålegrenser».

Vinteren 1996/97 ble det i Gårdsjön utført et forsøk for å framskaffe data som kunne belyse betydningen av et stabilt isolerende snødekke på N-transformasjonen i jordsmonnet. Jordprøver inkubert i sylindere med ionebyttermasse i bunnen ble dekket med isolerende glavamatter. Disse prøvene ble sammenlignet med tilsvarende nærliggende sylindere som ikke var tildekket. Disse utildekkede sylindrene var utsatt for større temperaturvariasjoner og kontinuerlig tilførsel av nedbør og N gjennom vinterperioden.

2.2 Materiale og metode

2.2.1 Stedsbeskrivelse

Det ble tatt utgangspunkt i NITREX-forsøksfeltet i Gårdsjön (Dise & Wright 1992, Wright & van Breemen 1995), 14 km fra den svenske vestkysten ($58^{\circ}04'N$, $12^{\circ}01'E$). Området har kystklima med en årlig middeltemperatur på $6.4^{\circ}C$ og en årlig gjennomsnittlig nedbørsmengde på 1100 mm år^{-1} . Somrene er kjølige (gjennomsnittlig julitemperatur på $15.6^{\circ}C$) og vintrene milde (gjennomsnittlig januarstemperatur på $-2.4^{\circ}C$). Gjennomsnittlig konsentrasjon av $\text{SO}_4\text{-S}$, $\text{NO}_3\text{-N}$ og $\text{NH}_4\text{-N}$ i kronedrypp for perioden 1979 til 1992, var på henholdsvis 2.50 , 0.73 og $0.48 \text{ g m}^{-2} \text{ år}^{-1}$ (Moldan *et al.* 1995). Eksperimentet med ekstra N-tilførsel blir utført i et sørvendt nedbørsfelt på 0.52 ha (G2 NITREX). Det organiske LHF-sjiktet er $10\text{-}15 \text{ cm}$ tykt. Dette sjiktet utgjør hoveddelen i de inkuberte jordsyldrene. C:N-forholdet i LHF-sjiktet varierer mellom 35 og 52 . Det totale innholdet av N i jorda er på tilnærmet 850 g N m^{-2} . Skogen i nedbørsfeltet er i gjennomsnitt 104 år og domineres av gran. N-transformasjonsstudiene ble utført i to ulike områder innen hvert nedbørsfelt, med ulik bunnvegetasjon og fuktighetsforhold. Det øvre området var relativt tørt, og bunnvegetasjonen var dominert av *Dicranum majus* (Sm.). Det nederste området var relativt fuktig og bunnvegetasjonen der var dominert av *Sphagnum girgensohnii* (Russ.). Et nærliggende nedbørsfelt (F1 CONTROL) på 3.7 ha var valgt som ubehandlet kontroll-felt. Et relativt homogent område i den nederste delen av dette nedbørsfeltet ble valgt for undersøkelser av N transformasjon. I dette området er LHF-sjiktet 9 cm tykt med et C:N-forhold på 32 . Den totale mengden N i hele jordsmonnet er på 850 g N m^{-2} . Skogen består hovedsakelig av gran med en gjennomsnittsalder på 81 år. Bunnvegetasjonen i det øverste, tørre området var dominert av *Vaccinium myrtillus* (L.) og *Dicranum majus* (Sm.). Bunnvegetasjonen i det lavereliggende, mer fuktige område var dominert av *Sphagnum girgensohnii* (Russ.). For en grundigere beskrivelse av jordsmonn og nedbørsfelt, henvises det til Stuanes *et al.* (1992) og Kjønnaas *et al.* (I trykk).

2.2.2 Eksperimentelt opplegg

NH_4NO_3 ble tilført nedbørsfeltet G2 NITREX med et sprinklingsystem under trekronene i et $5 \times 5 \text{ m}$ rutenett. N ble tilført ukentlig i mengder tilsvarende mengde kronedrypp i den

foregående 7-dagersperioden. Gjennomsnittskonsentrasjonen av N i dette kunstige kronedryppet var $8.47 \text{ mmol N L}^{-1}$. Vannet ble tilført med en intensitet på 3 mm time^{-1} . For å unngå sjokkeffekter av N på vegetasjonen ble ionebyttet vann tilført før og etter tilførselen av N (Moldan *et al.* 1995). Gjennomsnittlig N-tilførsel var $5.11 \text{ g N m}^{-2} \text{ år}^{-1}$ ($4.48\text{-}5.85 \text{ g N m}^{-2} \text{ år}^{-1}$) fram til våren 1996. Den naturlige N-tilførselen var $1.11 \text{ g N m}^{-2} \text{ år}^{-1}$ de to årene før tilførselen av ekstra N startet opp i april 1991. Gjennomsnittlig konsentrasjon av N i det naturlige kronedryppet var $1.10 \text{ g N m}^{-2} \text{ år}^{-1}$ ($0.74\text{-}1.44 \text{ g N m}^{-2} \text{ år}^{-1}$) i F1 CONTROL (Moldan & Wright, I trykk).

2.2.3 Studier av N-transformasjon i jordsmonnet og måling av temperatur

For å måle netto immobilisering og nitrifikasjon ved feltforhold, ble det utført *in-situ* inkubasjonsforsøk. Polyetylene-rør, 14 cm lange med en diameter på 7 cm, med ionebyttermasse (Amberlite MB1) plassert i bunnen ble benyttet i forsøket (DiStefano & Gholz 1986, Kjønnaas, Under utarbeidelse). I vintersesongen fra 1. november til 1. mai ble 10 sylindre inkubert under en isolerende glavamatte. Snøsmelting ble simulert ved at kronedrypp innsamlet i løpet av vintermånedene ble tilført i løpet av 2 dager, med fjorten dagers mellomrom. Tilførselen ble fordelt på tre doser per gang, spredt utover dagen. 10 andre sylindre ble inkubert uten dekke ved siden av sylindrene med isolasjonsdekke. Det relative bidraget fra nedbøren ble målt i ionebytteposer plassert i lave sylindre mellom de to seriene med inkuberte prøver. Samtidig med utsettingen av inkubasjonssylindrene ble det samlet inn 10 prøver fra hvert felt for bestemmelse av jordas opprinnelige innhold av utbyttbart NH_4^+ og NO_3^- . Ved uttak ble jordprøvene delt inn i 2-4 diagnostiske sjikt, og frosset ned rett etter innsamling. De frosne prøvene ble siktet i frossen tilstand før ekstraksjon. Ionebyttermassen ble lagret ved 5°C før ekstraksjon. Jord og ionebyttermasse ble ekstrahert etter en modifisert metode av Bremner (1965): 10 g jord/ionebyttermasse i 50 ml 2M KCl, med påfølgende risting i 30 min. Utbyttbart NH_4^+ og NO_3^- ble bestemt med FIA (Flow Injection Analysis).

Netto ammonifikasjon og nitrattransformasjon ble beregnet etter følgende formler:

$$N_t = (N_{si} - N_{sp}) + (N_{rb} - N_{rs})$$

hvor

N_t = Transformasjonen av NH_4^+ (netto ammonifikasjon) el. NO_3^- (nitrattransformasjon).

N_{si} = NH_4^+ el. NO_3^- i den inkuberte jordprøven.

N_{sp} = NH_4^+ el. NO_3^- i prøven før inkubering.

N_{rb} = NH_4^+ el. NO_3^- i ionebyttermassen i bunnen av de inkuberte jordsylindrene.

N_{rs} = NH_4^+ el. NO_3^- i ionebyttermassen lagt ut på jordoverflaten tett ved de inkuberte prøvene.

Summen av netto ammonifikasjon (N_{ta}) og nitrattransformasjon (N_{tm}) gir netto mineralisering (N_m):

$$N_m = N_{ta} + N_{tm}$$

Alle verdier er angitt som $\text{mmol N m}^{-2} \text{ vinterperiode}^{-1}$ ($(\text{mmol N m}^{-2}) * 14 = \text{mg N m}^{-2}$).

Temperaturmålere ble installert i 2 meters høyde over bakken, og nede i jordsmonnet ved 5 og 10 cm dyp. Temperaturen ble registrert på timebasis både under isolasjonsmattene og utenfor isolasjonsmattene tett ved de inkuberte sylindrene i G2-feltet.

2.3 Resultater og diskusjon

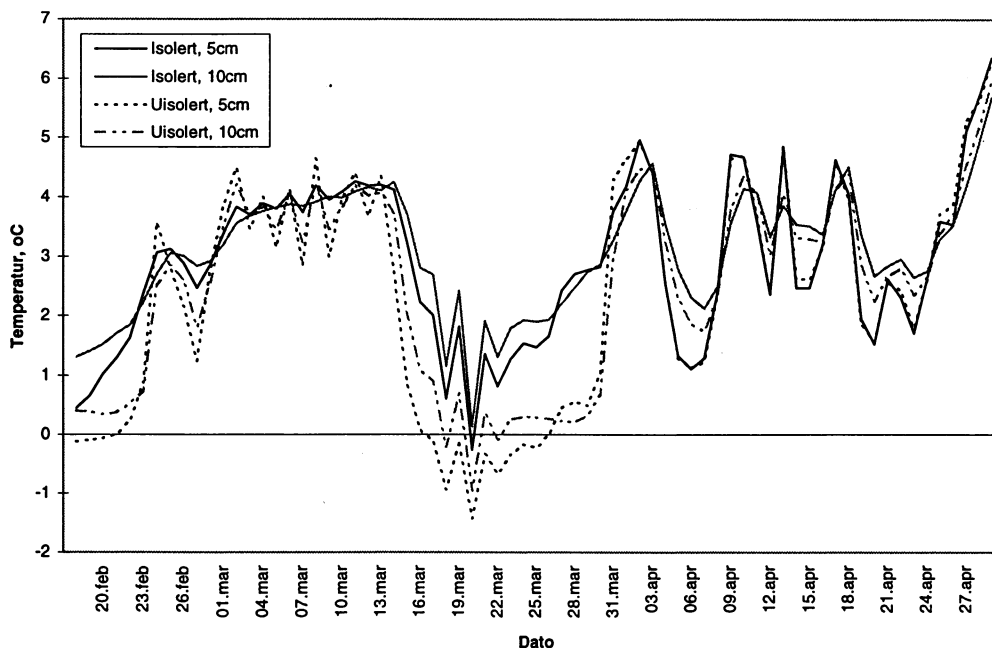
Da isolasjonsdekket ble fjernet i begynnelsen av april, var bunnvegetasjonen grønn og frodig, hvilket viser at det hadde vært tilstrekkelig luft- og vanntilgangen under glavamattene i løpet av inkubasjonsperioden.

Temperaturregistreringene viste at temperaturforskjellen mellom de isolerte og de uisolerte prøvene var liten, i gjennomsnitt kun 0.5 °C (Tabell 2.1). Temperaturene under mattene hadde imidlertid vært noe mer stabile enn utenfor med mindre variasjoner og noe kortere perioder med lave temperaturer (Tabell 2.1, Fig.2.1).

Tabell 2.1. Gjennomsnittelig døgnmiddeltemperatur, samt maksimum og minimumsverdier målt i luft i 2m høyde og i jord i 5 og 10cm dybde. Jordtemperaturene er målt i isolerte og uisolerte felt i G2 nedbørsfeltet. Bunnvegetasjon i det tørre området domineres av *Dicranum mose* mens det fuktige området domineres av *Sphagnum mose*.

*Average 24 hours mean temperature, and maximum/ minimum values measured in 2 m air, and in the soil at 5 and 10 cm depth. The soil temperatures are measured in the insulated and uninsulated field in the G2 catchment. The ground vegetation in the dry plot was dominated by *Dicranum majus* (Sm.), while the moist plot was dominated by *Sphagnum gigensohnii* (Russ.)*

| | Luft °C | G2 tørt område | | | | G2 fuktig område | | | |
|--------------|------------|----------------|----------------|---------------|----------------|------------------|----------------|---------------|----------------|
| | | 5cm dybde | | 10cm dybde | | 5cm dybde | | 10 cm dybde | |
| | | Isolert °C | Uisolert °C | Isolert °C | Uisolert °C | Isolert °C | Uisolert °C | Isolert °C | Uisolert °C |
| Gjennomsnitt | 2.73 | 2.70 | 2.27 | 2.81 | 2.54 | 2.90 | 2.35 | 3.08 | 2.52 |
| Maksimum | 7.03 | 6.05 | 6.14 | 5.37 | 5.24 | 6.35 | 6.29 | 5.69 | 5.97 |
| Minimum | -2.46 | -0.57 | -1.53 | -0.13 | -0.63 | -0.27 | -1.43 | 0.14 | -0.96 |

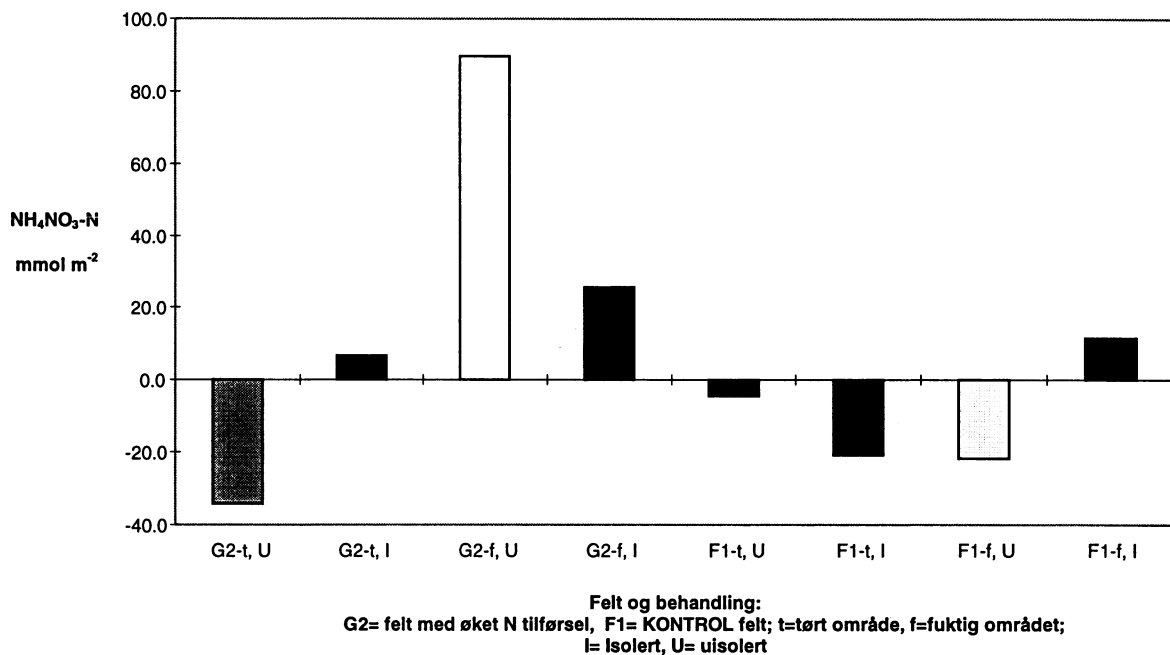


Figur 2.1. Variasjon i døgnmiddeltemperatur i 5 og 10cm jorddyb i et fuktig *Sphagnum* felt med og uten isolasjon (°C).

*Variations in the 24 hours mean temperatur at 5 and 10 cm soil depth in a moist *Sphagnum* field with and without an insulating cover (°C).*

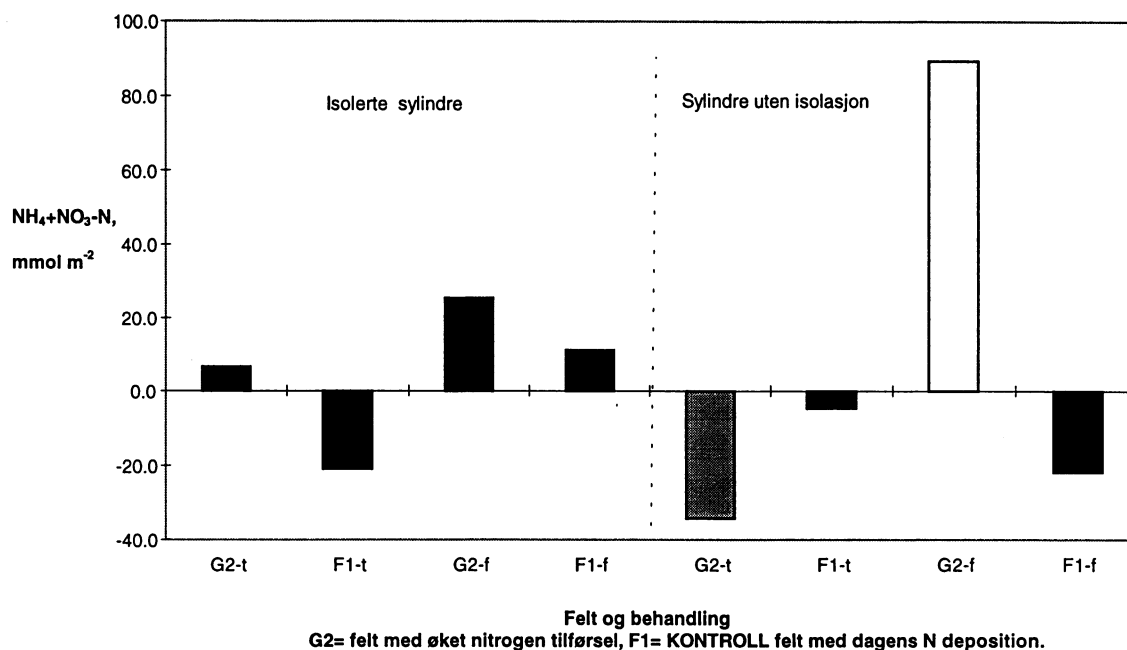
Vintren 1996/97 var generelt svært mild med få perioder med temperaturer under 0 °C. De relativt milde temperaturene gjorde at denne vintersesongen ikke var godt egnet for måling av temperatureffekter på den mikrobielle aktiviteten og N-transformasjonen i jordsmonnet. Det simulerte snødekket påvirket derfor i hovedsak kun frekvensen på N-tilførselen. Glavamattene representerte et stabilt snødekke som hindret N-tilførselen gjennom vintersesongen før den simulerte snøsmeltingen i april. Jordsyldrene som ikke var tildekket fikk hyppig tilførsel av N gjennom hele vintersesongen.

Ved sammenstilling av netto N mineralisering innen områdene tilført samme mengde N, var det ingen entydige effekter av isolasjonsdekke (Fig.2.2). Siden temperaturforskjellene mellom de isolerte og uisolerte sylindrene var relativt ubetydelig skyldes den observerte forskjellen andre forhold enn den isolerende effekten av mattene (Fig. 2.1).



Figur 2.2. Nettomineralisering i jord inkubert med og uten isolerende dekke i løpet av vinterperioden 1996/97. Gjennomsnittsverdier, n=10. Negative verdier indikerer en netto N-immobilisering.
Net mineralization in soil incubated with and without an insulating cover during the winter period 1996/97. Mean values, n=10. A negative value indicates net N immobilization.

I følge tidligere studier av Kjønås *et al.* (I trykk), kan et isolerende snødekke bidra til en høyere mineralisering i områder med økt N-tilførsel enn i områder uten. En sammenligning av netto mineralisering i de isolerte feltene med ekstra N-tilførsel (G2) med netto mineraliseringen i de isolerte sylindrene i feltet uten ekstra N-tilførsel (F1), viste at i sylindrene tilført ekstra N (G2) skjedde det en større netto mineralisering enn i sylindrene fra feltet som kun fikk tilført det naturlige N i kronedryppet (F1). Dette gjaldt både for de våte og de tørre områdene (Fig.2.3). Det var ingen tilsvarende trend for sylindrene uten isolasjonsdekke. For disse uisolerte jordsyldrene hadde prøvene fra det tørre området i F1-feltet største netto mineralisering, mens det fuktige området fra G2-feltet hadde den største mineraliseringen. Siden N-mineralisering var høyere i de isolerte sylindrene som fikk ekstra

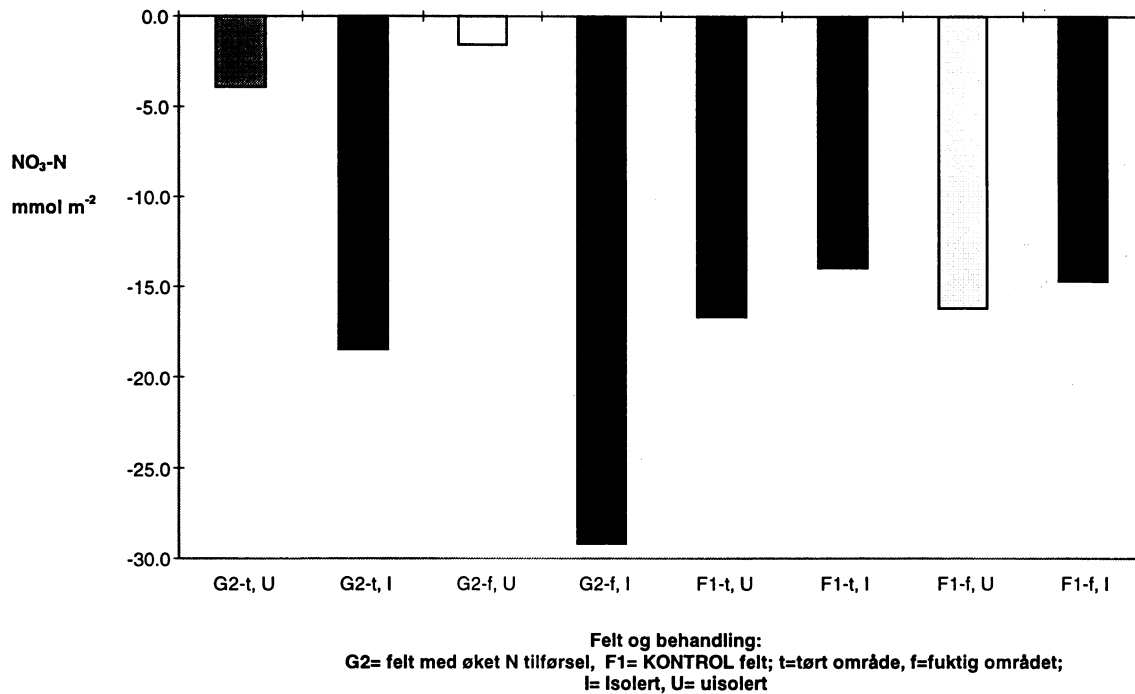


Figur 2.3. Nettomineralisering i G2 feltene med økt N-tilførsel i forhold til F1 KONTROLL feltene med dagens N-tilførsel for sylindre inkubert med og uten isolerende dekke. T= tørt område, f= fuktig område. Tallene representerer gjennomsnittsverdier, n= 10.

Net mineralization in the G2 plots with N addition versus the F1 CONTROL plots with ambient N input for cores with and without an insulating cover. Mean values, n=10.

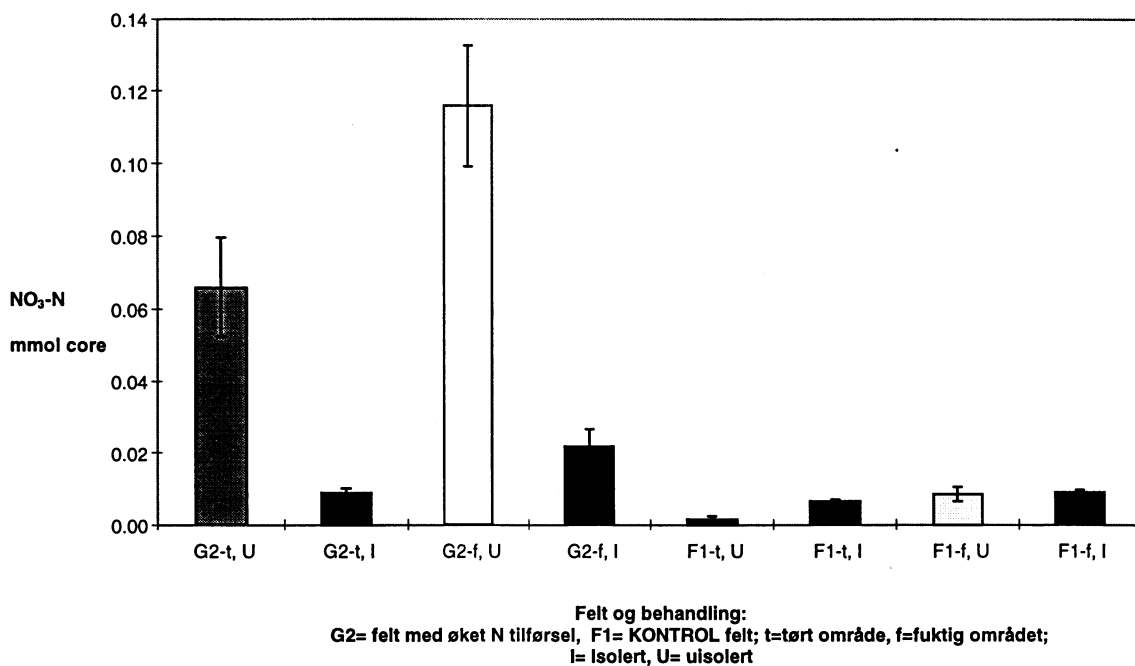
N-tilførsel, antas den økte mineraliseringen ikke å være en effekt av selve isoleringen, men heller en effekt av den økte N tilførselen i forbindelse med «snøsmeltingsperioden» i april.

Tallene for netto NO₃⁻-transformasjon tyder på at en netto NO₃⁻-immobilisering fant sted i alle feltene (Fig.2.4). I feltene med ekstra N-tilførsel (G2) var nivået på NO₃⁻-immobiliseringen imidlertid betydelig påvirket av de forhold inkuberingen foregikk under. De uisolerte sylindrene viste en betydelig lavere N-immobilisering enn de isolerte sylindrene. Dette understrekes ved at NO₃⁻-konsentrasjonen i ionebyttermassen plassert i bunnen av de inkuberte jordsylindrene hadde et høyere NO₃⁻-innhold enn i de uisolerte (Fig.2.5). N-innholdet i ionebyttermasse plassert i bunnen av slike inkuberingsprøver er tidligere blitt funnet å være signifikant korrelerte med NO₃⁻-konsentrasjonen i lysimetryvann tatt ut ved 20 cm jorddyb (Kjønaas, Under utarbeidelse). Et lavere N-innhold i ionebyttermasse i de isolerte sylindrene enn ionebyttermasse fra de uisolerte sylindrene indikerer dermed en redusert N-avrenning fra de isolerte sylindrene. I de isolerte feltene ble alt tilført N og kronedrypp gjennom hele vintersesongen samlet opp i det simulerte snødekket. Dette ble tilført sylindrene i løpet av den simulerte snøsmeltingsperioden i april. Jordas biologiske og fysiske tilstand var på dette tidspunkt slik at det meste av det tilførte N ble holdt tilbake i jordsmonnet. NO₃⁻-avrenningen var følgelig lav. Intensiteten i tilførselen av både vann og N i «snøsmeltingsperioden» var dermed ikke høyere enn at det meste av det tilførte N kunne akkumuleres i jorda. Grunnen til den økte NO₃⁻-utvaskingen fra de uisolerte sylindrene var sannsynligvis den jevne og hyppige tilførselen av N og vann gjennom hele vintersesongen.



Figur 2.4. Netto $\text{NO}_3\text{-N}$ -omdanning i jord inkubert med og uten et isolerende dekke gjennom vinter perioden 1996/97. Negativ verdi indikerer en netto $\text{NO}_3\text{-N}$ -immobilisering. Tallene representerer gjennomsnittsverdier, $n=10$.

Net $\text{NO}_3\text{-N}$ transformation in soil incubated with and without an insulating cover during the winter period. A negative value indicates a net $\text{NO}_3\text{-N}$ immobilization. Mean values, $n=10$.



Figur 2.5. Konsentrasjonen av $\text{NO}_3\text{-N}$ i ionebyttere inkubert i bunnen av jordsylindere med og uten isolasjon. gjennom vinter perioden 1996/97. Tallene representerer gjennomsnittsverdier (\pm SE), $n=10$.

Concentration of $\text{NO}_3\text{-N}$ in resins incubated in the bottom of soil cores with and without an insulating cover during the winter period 1996/97. Mean values (\pm SE), $n=10$.

I hele denne perioden var den biologiske aktiviteten og plantenes opptak av N relativt lav. Selv om mikrofloraen tidligere har vist seg å kunne være aktiv selv ved temperaturer under 0 °C (Coxson & Parkinson 1987), vil lave temperaturer sannsynligvis føre til lavere immobilisering av det innkomne N, samt redusert netto mineralisering og NO₃⁻-transformasjon. Både den eksterne tilførselen av N og det internt produserte NO₃⁻ vil bidra til mengde NO₃⁻ i avrenningen. Som tidligere presisert (Kjønaas *et al.* I trykk) er det relative bidraget til NO₃⁻-avrenningen fra N tilført med nedbør/kronedrypp i forhold til det NO₃⁻ som produseres i jordsmonnet ved mineralisering og nitrifikasjon, fortsatt ukjent. Omfanget og hastigheten av vanntransporten gjennom jordsmonnet vil imidlertid være avgjørende for om en får immobilisering/reimmobilisering eller utvasking av NO₃⁻.

2.4 Konklusjon

På grunn av den milde vinteren var det, innen felt med samme N-tilførsel, ingen entydig effekt av isolasjonsdekke på mineraliseringshastigheten gjennom vintersesongen.

Så en imidlertid på samspillet mellom N-tilførsel og isolasjonsdekke, var det en høyere mineralisering i sylindrene under isolasjonsdekke ved økt N-tilførsel enn i de isolerte sylindrene som kun fikk tilført det naturlige N i nedbøren. Denne økte mineraliseringen kan skyldes den raske og relativt store tilførselen av N til jorda i forbindelse med den simulerte snøsmeltingen.

Mangel på et isolerende dekke så ut til å ha redusert immobiliseringen av NO₃⁻, som resulterte i økt NO₃⁻-utvasking. I kystnære områder i Norge og Sverige, områder eksponert for relativt mye atmosfærisk tilført N, er stabilt kalde vintre med et permanent snødekke sjeldent. Siden mangel på et isolerende dekke ser ut til å redusere jordas evne til å akkumulere N, bør en klimatisk faktor trekkes inn i beregningene av «tålegrenser» for N.

Litteratur

- Aber, J.D., Magill, A., Boone, R., Melillo J.M., Steudler, P., and Bowden, R., 1993. Plant and soil responses to chronic nitrogen additions at the Harvard forest, Massachusetts. *Ecol. Appl.* 3, 156-166.
- Abrahamsen, G. & Erstad, K.-J. 1995. Nutrient balance in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) forest. 1. Design of experiments. *Water, Air, Soil Pollut.* 85, 1125-1130.
- Aronsson, A. & Elowson, S. 1980. Effects of irrigation and fertilisation of mineral nutrients in Scots pine needles. In Persson T. (Ed.). Structure of northern coniferous forests - an ecosystem study. *Ecol. Bull.* (Stockholm) 32, 219-228.
- Bakken, L.R. 1990. Microbial growth and immobilisation/mineralization of N in the rhizosphere. *Symbiosis* 9, 37-41.
- Berg, B. 1986. Nutrient release from litter and humus in coniferous forest soil - a mini review. *Scand. J. For. Res.* 1, 359-369.
- Brooks, P.D., Williams, M.W. and Schmidt, S.T., 1996. Microbial activity under alpine snowpacks Niwot Ridge, Colorado. *Biogeochemistry* 32, 93-113.
- Bremner, J.M. 1965. Inorganic forms of nitrogen. In: C.A. Black et al. (Eds.). *Methods of soil analysis, Part 2. Agronomy* 9, 1179-1237. Am.Soc. of Agron., Inc. Madison, Wis.
- Christ, M., Zhang, Y., Likens, G.E. and Driscoll, C. T., 1995. Nitrogen retention capacity of a northern hardwood forest soil under ammonium sulfate additions. *Ecol. Appl.* 5, 802-812.
- Coxson, D.S. and Parkinson, D., 1987. Winter respiratory activity in aspen woodland forest floor litter and soils. *Soil Biol. Biochem.* 19, 49-59.
- Dise, N. B. & Wright, R. F. (1992). Introduction. In: Dise, n.B. & Wright, R. F. (Eds.), *The NITREX project (Nitrogen saturation experiments)*. Ecosystems Research report 2, Commission of the European Communities, Brussels. pp 4-14.
- DiStefano, J.F. and Gholz, H.L. 1986. A proposed use of ion exchange resins to measure nitrogen mineralization and nitrification in intact soil cores. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 17, 989-998.
- Durka, W., Schulze, E.D., Gebauer G., and Voerkelius, S., 1994. Effects of forest decline on uptake and leaching of deposited nitrate determined from ¹⁵N and ¹⁸O measurements. *Nature* 372, 765-767.
- Emmett, B. A. & Reynolds, B. 1996. Nitrogen critical loads for spruce plantations in Wales: is there too much nitrogen? *Forestry* 69, 205-214.
- Fernandez, I.J. and Rustad, L.J., 1990. Soil response to S and N treatments in a northern New England low elevation coniferous forest. *Water Air Soil Pollut.* 52, 23-39.
- Galloway, J.N. 1995. Acid deposition: perspectives in time and space. *Water Air Soil Pollut.* 85, 15-24.
- Grennfelt, P. & Thörnölöf, E. 1992. Critical loads for nitrogen - a workshop report. *Nord* 1992:41, 428 pp.
- Henriksen, A. and Brakke, D.F., 1988. Increasing contribution of nitrogen to the acidity of surface waters in Norway. *Water Air Soil Pollut.* 42, 183-201.
- Hogervorst, R.F., Zoomer, H. R. and Verhoef, H.A., (In press). Effects of reduced acid deposition on decomposition and microflora in the Gårdsjön covered catchment experiment. In: Hultberg, H. and Skeffington, R.A. (Eds.) *Experimental reversal of acid rain effects: The Gårdsjön Project*. John Wiley and Sons, Chichester, U.K.
- Ingestad, T. 1980. Nutrition and growth of birch and grey alder seedlings in low conductivity solutions and at varied relative rates of nutrient addition. *Physiol. Plant.* 52, 454-466.
- Johnson, D.W. 1990. Nitrogen retention in forest soil. *J. Environ. Qual.* 21, 1-12.
- Johnson, D. W. & Todd, D.E. 1988. Nitrogen fertiliser of younger yellow-poplar and loblolly pine plantations at differing frequencies. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 52, 1468-1477.
- Johnson, D.W. & Lindberg, S.E. (Eds.) 1992. Atmospheric deposition and forest nutrient cycling. *Ecological Studies* 91. Springer-Verlag. 707 pp.
- Kahl, J.S., Norton, S.A., Fernandez, I.J., Nadelhoffer, K.J., Driscoll, C.T. and Aber, J.D., 1993. Experimental inducement of nitrogen saturation at the watershed scale. *Environ. Sci. Technol.* 27, 565-588.
- Kjønaas, O.J., Stuanes, A.O. and Huse, M., 1992. Soils and soil solution. In: N.B. Dise and R.F. Wright (Editors), *NITREX project-Gårdsjön. Status report for 1990-91*. Rep. no. 2/92 from NITREX Gårdsjön, Norwegian Institute for Water Research, Oslo, pp.23-30.
- Kjønaas, O. J., Stuanes, A. O., and Huse, M., I trykk. Effects of chronic nitrogen addition on N cycling in a coniferous forest catchment, Gårdsjön, Sweden. *Forest Ecol. Manage.*

- Kjønaas, O.J. (Under utarbeidelse). The use of ion exchange resins in studies of N mineralization, - *in situ* and lab tests.
- Kjønaas, O.J. Stuanes, A.O. and Svensson, B. (Under utarbeidelse). Factors affecting nitrogen mineralization in a forested catchment in Gårdsjön, Sweden.
- Landsberg, J.J. 1986. Experimental approaches to the study of effects of nutrients and water on carbon assimilation by trees. *Tree Physiol.* 2, 427-444.
- Larsson, E.H, Knulst, J., Malm, G. And Westling, O. 1995. Deposition of acidifying compounds in Sweden. *Water Air Soil Pollut.* 85, 2271-22276.
- Magill, A.H., Downs, M.R., Nadelhoffer, K.J., Hallett, R.A. and Aber, J.D. 1996. Forest ecosystem response to four years of chronic nitrate and sulfate additions at Bear Brooks Watershed, Maine, USA. *For. Ecol. Manage.* 84, 29-37.
- Miller, H.G. 1980. Nutrition and forest soils. In FORESTRY COMMISSION.Repport on forest research for the year ended March 1989. p 52-53.
- Moldan, F., Hultberg, H., Nyström, U. and Wright, R.F., 1995. Nitrogen saturation at Gårdsjön, southwest Sweden, induced by experimental addition of ammonium nitrate. *For. Ecol. Manage.* 71, 89-97.
- Moldan, F., and Wright, R.F.,(I trykk). Changes in runoff chemistry after five years of nitrogen addition to a forested catchment at Gårdsjön, Sweden. *For. Ecol. Manage.*
- Nilsen, P. & Abrahamsen, G.1995. Nutrient balance in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) forest. 5. Tree growth in a field plot experiment. *Water, Air, Soil Pollut.* 85, 1143-1148.
- Nilsson, J. (Ed.) 1986. Critical loads for nitrogen and sulphur, Miljørapport 1986:11, Nordic Council of Ministers, Copenhagen, Denmark.
- Nilsson,J. & Grennfelt,P. (Eds.)1988. Critical loads for sulphur and nitrogen. Nordisk Ministerråd, Miljørapport 1988: 15, 418 pp.
- Sogn,T.A., Stuanes,A.O. & Abrahamsen,G. 1995. Akkumulering av nitrogen - en kritisk parameter for beregning av tålegrenser for nitrogen i skog. Naturens Tålegrenser fagrapp. nr. 73. Rapport fra Skogforsk 21/95, 20pp.
- Sogn, T.A. & Abrahamsen, G. (I trykk). Effects of S and N deposition on leaching from an acid forest soil and growth of Scots pine (*Pinus sylvestris*) after 5 years of treatment. *Forest Ecology and Management.*
- Stuanes, A.O., Andersson, I., Dise, N.B., Hultberg, H., Kjønaas, O.J., Nygaard, P.H. and Nyström U., 1992. Gårdsjön, Sweden. In: N.B.Dise and R.F.Wright (Editors), The NITREX project Nitrogen saturation experiments). Ecosystem Research Report 2, commission of the European Communities, Brussels, 24-34.
- Stuanes,A.O. & Abrahamsen,G. (1996). Utredning om kunnskapsgrunnlaget for definisjon av tålegrenser for nitrogen i skog. Naturens Tålegrenser fagrapp. nr. 67. Aktuelt fra Skogforsk, 7-96, 21pp.
- Stuanes, A.O. and Kjønaas, O.J. (I trykk). Soil solution effects after four years addition of NH₄NO₃ to a forested catchment at Gårdsjön, Sweden. *For. Ecol. Manage.*
- Tietema, A., Emmett, B.A., Gundersen, P., Kjønaas, O.J., and Koopmans, C., (I trykk) The fate of ¹⁵N - labeled nitrogen deposition in coniferous forests. *For. Ecol. Manage.*
- Van Miegroet, H., Cole, D.W. and Foster, N.W., 1992. Nitrogen distribution and cycling. In: Johnson, D.W. and Lindberg, S.E. (Editors), Atmospheric deposition and forest nutrient cycling. *Ecol. Stud.* 91, 178-196.
- Wang, J. & Bakken, L.R. 1989. Nitrogen mineralization in rhizosphere and non-rhizosphere soil, effect of spatial distribution of N-rich and N-poor plant residues. In: Nitrogen in organic wastes applied to soils. Hansen. J.A & Henriksen, K. (eds.). Academic Press. pp. 81-90.
- Wright,R.F. & van Breemen,N. (1995). The NITREX project: an introduction. *For. Ecol. Manage.* 71, 1-5.

Naturens Tålegrenser

Programmet Naturens Tålegrenser ble satt igang i 1989 i regi av Miljøverndepartementet. Programmet skal blant annet gi innspill til arbeidet med Nordisk Handlingsplan mot Luftforurensninger og til pågående aktiviteter under Konvensjonen for Langtransporterte Grensoverskridende Luftforurensninger (Genevekonvensjonen). I arbeidet under Genevekonvensjonen er det vedtatt at kritiske belastningsgrenser skal legges til grunn ved utarbeidelse av nye avtaler om utslippsbegrensning av svovel, nitrogen og hydrokarboner.

En styringsgruppe i Miljøverndepartementet har det overordnede ansvar for programmet, mens ansvaret for den faglige oppfølgingen er overlatt en arbeidsgruppe bestående av representanter fra Direktoratet for naturforvaltning (DN), Norsk polarinstitutt (NP) og Statens forurensningstilsyn (SFT).

Arbeidsgruppen har for tiden følgende sammensetning:

Gunnar Futsæter - NP
Tor Johannessen - SFT
Else Løbersli - DN
Steinar Sandøy - DN

Styringsgruppen i Miljøverndepartementet består av representanter fra avdelingen for naturvern og kulturminner, avdelingen for vannmiljø, industri- og avfallssaker og avdelingen for internasjonalt samarbeid, luftmiljø og polarsaker.

Henvendelse vedrørende programmet kan rettes til:

Direktoratet for naturforvaltning
Tungasletta 2
7005 Trondheim
Tel: 73 58 05 00

eller
Statens forurensningstilsyn
Postboks 8100 Dep
0032 Oslo 1
Tel: 22 57 34 00

Naturens Tålegrenser - Oversikt over utgitte rapporter

- 1 Nygaard, P. H., 1989. Forurensningers effekt på naturlig vegetasjon en litteraturstudie. Norsk institutt for skogforskning (NISK), Ås.
- Uten nr. Jaworowski, Z., 1989. Pollution of the Norwegian Arctic: A review. Norsk polarinstitutt (NP), rapportserie nr. 55. Oslo.
- 2 Henriksen, A., Lien, L. & Traaen, T.S. 1990. Tålegrenser for overflatevann. Kjemiske kriterier for tilførsler av sterke syrer. Norsk institutt for vannforskning (NIVA), O-89210.
- 3 Lien, L., Henriksen, A., Raddum, G. & Fjellheim, A. 1989. Tålegrenser for overflatevann. Fisk og evertebrater. Foreløpige vurderinger og videre planer. Norsk institutt for vannforskning (NIVA), O-89185.
- 4 Bølviken, B. & medarbeidere, 1990. Jordforsuringsstatus og forsurningsfølsomhet i naturlig jord i Norge. Norges geologiske undersøkelse (NGU), NGU-rapport 90.156. 2 bind (Bind I: Tekst, Bind II: Vedlegg og bilag).
- 5 Pedersen, H. C. & Nybø, S. 1990. Effekter av langtransporterte forurensninger på terrestriske dyr i Norge. En statusrapport med vekt på SO₂, NO_x og tungmetaller. Norsk institutt for naturforskning (NINA), Utredning 005.
- 6 Frisvoll, A. A., 1990. Moseskader i skog i Sør-Norge. Norsk institutt for naturforskning (NINA), Oppdragsmelding 018.
- 7 Muniz, I. P. & Aagaard, K. 1990. Effekter av langtransportert forurensning på ferskvannsdyr i Norge - virkninger av en del sporelementer og aluminium. Norsk institutt for naturforskning (NINA), Utredning 013.
- 8 Hesthagen, T., Berger, H. M. & Kvenild, L. 1992. Fiskestatus i relasjon til forurensning av innsjøer. Norsk institutt for naturforskning (NINA), Forskningsrapport 032.
- 9 Pedersen, U., Walker, S.E. & Kibsgaard, A. 1990. Kart over atmosfærisk avsetning av svovel- og nitrogenforbindelser i Norge. Norsk institutt for luftforskning (NILU), OR 28/90.
- 10 Pedersen, U. 1990. Ozonkonsentrasjoner i Norge. Norsk institutt for luftforskning (NILU), OR 28/90.
- 11 Wright, R. F., Stuanes, A. Reuss, J.O. & Flaten, M.B. 1990. Critical loads for soils in Norway. Preliminary assessment based on data from 9 calibrated catchments. Norsk institutt for vannforskning (NIVA), O-89153.
- 11b Reuss, J. O., 1990. Critical loads for soils in Norway. Analysis of soils data from eight Norwegian catchments. Norsk institutt for vannforskning (NIVA), O-89153.
- 12 Amundsen, C. E., 1990. Bufferprosent som parameter for kartlegging av forsurningsfølsomhet i naturlig jord. Universitetet i Trondheim, AVH (stensil).
- 13 Flatberg, K.I, Foss, B., Løken, A. & Saastad, S.M. 1990. Moseskader i barskog. Direktoratet for naturforvaltning (DN), notat.
- 14 Frisvoll, A.A., & Flatberg, K.I., 1990. Moseskader i Sør-Varanger. Norsk institutt for naturforskning (NINA), Oppdragsmelding 55.
- 15 Flatberg, K.I., Bakken, S., Frisvoll, A.A., & Odasz, A.M. 1990. Moser og luftforurensninger. Norsk institutt for naturforskning (NINA), Oppdragsmelding 69.
- 16 Mortensen, L.M. 1991. Ozonforurensning og effekter på vegetasjonen i Norge. Norsk landbruksforsk. 5:235-264.
- 17 Wright, R.F., Stuanes, A.O. & Frogner, T. 1991. Critical Loads for Soils in Norway Nordmoen. Norsk institutt for vannforskning (NIVA), O-89153.
- 18 Pedersen, H.C., Nygård, T., Myklebust, I. og Sæther, M. 1991. Metallbelastninger i liryte. Norsk institutt for naturforskning (NINA), Oppdragsmelding 71.

- 19 Lien, L., Raddum, G.G. & Fjellheim, A. 1991. Tålegrenser for overflatevann evertebrater og fisk. Norsk institutt for vannforskning (NIVA), Rapport 0-89185,2.
- 20 Amundsen, C.E. 1992. Sammenligning av parametre for å bestemme forsurningsfølsomhet i jord. NGU-rapport 91.265.
- 21 Bølviken, B., R. Nilsen, J. Romundstad & O. Wolden. 1992. Surhet, forsurningsfølsomhet og lettløselige basekationer i naturlig jord fra Nord-Trøndelag og sammenligning med tilsvarende data fra Sør Norge. NGU-rapport 91.250.
- 22 Sivertsen, T. & medarbeidere. 1992. Opptak av tungmetaller i dyr i Sør-Varanger. Direktoratet for naturforvaltning, DN-notat 1991-15.
- 23 Lien, L., Raddum, G.G. & A. Fjellheim. 1992. Critical loads of acidity to freshwater. Fish and invertebrates. Norwegian Institute for Water Research (NIVA), Rapport O-89185,3.
- 24 Fremstad, E. 1992. Virkninger av nitrogen på heivegetasjon. En litteraturstudie. Norsk institutt for naturforskning (NINA), Oppdragsmelding 124.
- 25 Fremstad, E. 1992. Heivegetasjon i Norge, utbredelseskart. Norsk institutt for naturforskning (NINA), Oppdragsmelding 188.
- 26 Flatberg, K.I. & Frisvoll, A. 1992. Undersøkelser av skader hos to sigdmoser i Agder. Norsk institutt for naturforskning (NINA), Oppdragsmelding 134.
- 27 Lindstrøm, E.A. 1992. Tålegrenser for overflatevann. Fastsittende alger. Norsk institutt for vannforskning (NIVA), O-90137/E-90440, rapport-2.
- 28 Brettum, P. 1992. Tålegrenser for overflatevann. Planteplankton. Norsk institutt for vannforskning (NIVA), O-90137/E-90440, rapport-3.
- 29 Brandrud, T.E., Mjelde, M. 1992. Tålegrenser for overflatevann. Makrovegetasjon. Norsk institutt for vannforskning (NIVA), O-90137/E-90440, rapport-1.
- 30 Mortensen, L.M. & Nilsen, J. 1992. Effects of ozone and temperature on growth of several wild plant species. Norwegian Journal of Agricultural Sciences 6: 195-204.
- 31 Pedersen, H.C., Myklebust, I., Nygård, T. & Sæther, M. 1992. Akkumulering og effekter av kadmium i liryte. Norsk institutt for naturforskning (NINA), Oppdragsmelding 152.
- 32 Amundsen, C.E. 1992. Sammenligning av relativ forsurningsfølsomhet med tålegrenser beregnet med modeller, i jord. Norges geologiske undersøkelse. NGU-rapport 92.294.
- 33 Frogner, T., Wright, R.F., Cosby, B.J., Esser, J.M., Håøya, A.-O. & Rudi, G. 1992. Map of critical loads for coniferous forest soils in Norway. Norsk institutt for vannforskning (NIVA), O-91147.
- 34 Henriksen, A., Lien, L., Traaen, T.S. & Taubøll, S. 1992. Tålegrenser for overflatevann - Kartlegging av tålegrenser og overskridelser av tålegrenser for tilførsler av sterke syrer. Norsk institutt for vannforskning (NIVA), O-89210.
- 35 Lien, L. Henriksen, A. & Traaen, T.S. 1993. Tålegrenser for sterke syrer på overflatevann -Svalbard. Norsk institutt for vannforskning (NIVA), O-90102.
- 36 Henriksen, A., Hesthagen, T., Berger, H.M., Kvenild, L., Taubøll, S. 1993. Tålegrenser for overflatevann - Sammenheng mellom kjemisk kriterier og fiskestatus. Norsk institutt for vannforskning (NIVA), O-92122.
- 37 Odasz, A.M., Øiesvold, S., & Vange, V. 1993. Nitrate nutrition in *Racomitrium lanuginosum* (Hedw.)Brd., a bioindicator of nitrogen deposition in Norway. Direktoratet for naturforvaltning. Utredning for DN 1993-2.
- 38 Espelien, I.S. 1993. Genetiske effekter av tungmetaller på pattedyr. En kunnskapsoversikt. Norsk institutt for naturforskning (NINA), Utredning 051.
- 39 Økland, J. & Økland, K.A. 1993. Database for bioindikatorer i ferskvann - et forprosjekt . Laboratorium for ferskvannøkologi og innlandsfiske (LFI), Zoologisk Museum, Oslo, Rapport 144, 1993.

- 40 Aamlid, D. & Skogheim, I. 1993. Nikkel, kopper og andre metaller i multer og blåbær fra Sør-Varanger, 1992. Rapport Gkogforsk 14/93. 14/93.
- 41 Kålås, J.A., Ringsby, T.H. & Lierhagen, S. 1993. Metals and radiocesium in wild animals from the Sør-Varanger area, north Norway. Norsk institutt for naturforskning (NINA), Oppdragsmelding 212.
- 42 Fløisand, I. & Løbersli, E. (red.) 1993. Tilførsler og virkninger av lufttransporterte forurensninger (TVLF) og Naturens tålegrenser. Sammendrag av foredrag og postere fra møte i Stjørdal, 15.-17.februar 1993. Norsk institutt for luftforskning (NILU), OR 17/93.
- 43 Henriksen, A. & Hesthagen, T. 1993. Critical load exceedance and damage to fish populations. Norsk institutt for vannforskning (NIVA), O-89210.
- 44 Lien, L., Henriksen, A. & Traaen, T.S. 1993. Critical loads of acidity to surface waters, Svalbard. Norsk institutt for vannforskning (NIVA), O-90102.
- 45 Løbersli, E., Johannessen, T. & Olsen, K.V (red.) 1993. Naturens tålegrenser. Referat fra seminar i 1991 og 1992. Direktoratet for naturforvaltning, DN-notat 1993-6.
- 46 Bakken, S. 1993. Nitrogenforurensning og variasjon i nitrogen, protein og klorofyllinnhold hos barskogsmosen blanksigd (*Dicranum majus*). Direktoratet for naturforvaltning (DN). Utredning for DN 1994-1.
- 47 Krøkje, Å. 1993. Genotoksisk belastning i jord . Effektstudier, med mål å komme fram til akseptable grenser for genotoksisk belastning fra langtransportert luftforurensning. Direktoratet for naturforvaltning (DN). Utredning for DN 1994-2.
- 48 Fremstad, E. 1993. Heigråmose (*Racomitrium lanuginosum*) som indikator på nitrogenbelastning. Norsk institutt for naturforskning (NINA) Oppdragsmelding 239.
- 49 Nygaard, P.H. & Ødegaard, T.H. 1993. Effekter av nitrogengjødsling på vegetasjon og jord i skog. Rapport Skogforsk 26/93.
- 50 Fløisand, I. og Johannessen, T. (red.) 1994. Langtransporterte luftforurensninger. Tilførsler, virkninger og tålegrenser. Sammendrag av foredrag og postere fra møte i Grimstad, 7.-9.3.94. Norsk institutt for luftforskning NILU OR: 17/94
- 51 Kleivane, L. Skåre, J.U. & Wiig, Ø. 1994. Klorerte organiske miljøgifter i isbjørn. Forekomst, nivå og mulige effekter. Norsk Polarinstitutt Meddelelse nr. 132.
- 52 Lydersen, E., Fjeld, E. & Andersen, T. 1994. Fiskestatus og vannkjemi i norske innsjøer. Norsk institutt for vannforskning (NIVA) O-93172
- 53 Schartau, A.K.L. (red.) 1994. Effekter av lavdose kadmium-belastning på littorale ferskvannspopulasjoner og -samfunn. Norsk institutt for naturforskning (NINA) Forskningsrapport 055.
- 54 Mortensen, L. (1994). Variation in ozone sensitivity of *Betula pubescens* Erh. from different sites in South Norway. Direktoratet for naturforvaltning (DN). Utredning for DN, Nr. 1994-6.
- 55 Mortensen, L. (1994). Ozone sensitivity of *Phleum alpinum* L. from different locations in South Norway. Direktoratet for naturforvaltning (DN). Utredning for DN, Nr. 1994-7.
- 56 Frogner, T., Wright, R.F., Cosby, J.B. and Esser, J.M. (1994). Maps of critical loads and exceedance for sulfur and nitrogen to forest soils in Norway. Norsk institutt for vannforskning (NIVA) O-91147.
- 57 Flatberg, K.I. & Frisvoll, A.A. 1994. Moseskader i Agder 1989-92 (1994). Norsk institutt for naturforskning (NINA), Oppdragsmelding 298.
- 58 Hesthagen, T. & Henriksen, A. (1994). En analyse av sammenhengen mellom overskridelser av tålegrenser for overflatevann og skader på fiskebestander. Norsk institutt for naturforskning (NINA), Oppdragsmelding 288.
- 59 Skåre, J.U., Wiig, Ø. & Bernhoft, A. (1994). Klorerte organiske miljøgifter; nivåer og effekter på isbjørn. Norsk Polarinstitutt Rapport nr. 86 - 1994.

- 60 Tørseth, K. & Pedersen, U. 1994. Deposition of sulphur and nitrogen components in Norway. 1988-1992. Norsk institutt for luftforskning (NILU): OR 16/94.
- 61 Nygaard, P.H. 1994. Virkning av ozon på blåbær (*Vaccinium myrtillus*), etasjehusmose (*Hylocomium splendens*), furumose (*Pleurozium schreberi*) og krussigd (*Dicranum polysetum*). Rapport Skogforsk 9/94.
- 62 Henriksen, A. & Lien, L. 1994. Tålegrenser for overflatevann: Metode og usikkerheter. Norsk institutt for vannforskning (NIVA), O-94122.
- 63 Hilmo, O. & Larssen, H.C. 1994. Morfologi hos epifyttisk lav i områder med ulik luftkvalitet. ALLFORSK Rapport 2.
- 64 Wright, R.F. 1994. Bruk av dynamiske modeller for vurdering av vann- og jordforsuring som følge av redusert tilførsel av sur nedbør. Norsk institutt for vannforskning (NIVA), O-94112.
- 65 Hesthagen, T., A. Henriksen & Kvenild, L. 1994. Overskridelser av tålegrenser for overflatevann og skader på fiskebestander i norske innsjøer med spesiell vekt på Troms og Finnmark. Norsk institutt for naturforskning (NINA), Oppdragsmelding 298.
- 66 Sagmo Solli, I.M, Flatberg, K.I.F., Söderström, L., Bakken S. & Pedersen, B. 1996. Blanksigd og luftforurensningsstudier. NTNU. Vitenskapsmuseet. Rapport botanisk serie 1996-1.
- 67 Stuanes, A. & Abrahamsen, G. 1996. Tålegrenser for nitrogen i skog - en vurdering av kunnskapsgrunnlaget. Aktuelt fra Skogforsk 7-96.
- 68 Ogner, G. 1995. Tålegrenser for skog i Norge med hensyn til ozon. Aktuelt fra Skogforsk 3-95.
- 69 Thomsen, M., Nellemann, C. Frogner, T., Henriksen A., Tomter, S. & Mulder, J. 1995. Tilvekst og vitalitet for granskog sett i relasjon til tålegrenser og forurensning. Rapport fra Skogforsk 22-95.
- 70 Tomter, S. M. & Esser, J. 1995. Kartlegging av tålegrenser for nitrogen basert på en empirisk metode. Norsk institutt for jord- og skogkartlegging (NIJOS). Rapport nr 10/95.
- 71 Pedersen, H.Chr. (red.). 1995. Kadmium og bly i lirype: akkumulering og cellulære effekter. Stiftelsen for naturforskning og kulturminneforskning (NINA-NIKU) Oppdragsmelding 387
- 72 Bakken, S. & Flatberg, K.I.F. 1995. Effekter av økt nitrogendeposisjon på ombrotrof myrvegetasjon. En litteraturstudie. ALLFORSK Rapport 3.
- 73 Sogn, T.A., Stuanes, A.O. & Abrahamsen, G. 1995. Akkumulering av nitrogen - en kritisk parameter for beregning av tålegrenser for nitrogen i skog. Rapport fra Skogforsk 21/95.
- 74 Nygaard, P.H. & Eldhuset, T. 1996. Forholdet mellom basekationer og aluminium i jordløsning som kriterium for tålegrenser i skogsjord. Norsk institutt for skogforskning (NISK). Rapport fra Skogforsk 1/96
- 75 Mortensen, L. 1993. Effects of ozone on growth of several subalpine plant species. *Norw. J. Agric. Sci.* 7: 129-138.
- 76 Mortensen, L. 1994. Further studies on the effects of ozone concentration on growth of subalpine plant species. *Norw. J. Agric. Sciences* 8:91-97.
- 77 Fløisand, I. & Løbersli, E. (red.) 1996. Lufttransporterte forurensninger - tilførsler, virkninger og tålegrenser. Norsk institutt for luftforskning (NILU) OR 2/96.
- 78 Thomsen, M.G., Esser, J., Venn, K. & Aamlid, D. 1996. Sammenheng mellom træs vitalitet og næringsstatus i nåler og humus på skogovervåkingsflater i Sørøst-Norge (in prep).
- 79 Tørseth, K., Mortensen, L. & Hjellbrekke, A.-G. 1996. Kartlegging av bakkenær ozon etter tålegrenser basert på akkumulert dose over 40 ppb. Norsk institutt for luftforskning (NILU) OR 12/96.
- 80 Esser, J.M. & Tomter, S.M. 1996. Reviderte kart for tålegrenser for nitrogen basert på empiriske verdier for ulike vegetasjonstyper. Norsk institutt for jord- og skogkartlegging (NIJOS).

- 81 Henriksen, A. , Hindar, A., Styve, H., Fjeld, E. & Lien, L. 1996. Forsuring av overflatevann, beregningsmetodikk, trender og mottiltak. Norsk institutt for vannforskning (NIVA). Rapport LNR 3528-96.
- 82 Henriksen, A., Hesthagen, T. & Fjeld, E. 1996. Overskridelser av tålegrenser for overflatevann og skader på fiskebestander. Norsk institutt for vannforskning (NIVA). Rapport LNR 3565-96.
- 83 Wright, R. F., Raastad, I.A., & Kaste, Ø. 1996. Atmospheric deposition of nitrogen, runoff of organic nitrogen, and critical loads for soils and waters. Norsk institutt for vannforskning (NIVA) Report SNO 3592-97
- 84 Mortensen, L.M. 1995. The influence of ozone pollution on growth of young plants of *Betula pubescens* Ehrh. And *Phleum alpinum* L. Dose-response relations. *Norw. J. Agr. Sci.* 9:249-262
- 85 Mortensen, L.M. 1996. Ozone senistivity of *Betula pubescens* at different growth stages after budburst in spring. *Norw. J. Agr. Sci.* 10:187-196.
- 86 Tjørseth, K., Rosendahl, K.E., Hansen, A.C., Høie, H. & Mortensen, L.M. 1997. Avlingstap som følge av bakkenært ozon. Vurderinger for perioden 1989-1993. SFT-rapport.
- 87 Rognerud, S, Hognve, D. & Fjeld, E. 1997. Naturlige bakgrunnskonsentrasjoner av metaller. Kan amosfæriske avsetninger påvirke metall-konsentrasjoner slik at det ikke reflekterer berggrunnens geokjemi? Norsk institutt for vannforskning (NIVA) Rapport LNR 3670-97
- 88 Skjelkvåle, B.L., Wright, R.F. & Tjomsland, T. 1997. Vannkjemi, forsuringsstatus og tålegrenser i nasjonalparker; Femundsmarka og Rondane. Norsk institutt for vannforskning (NIVA) Rapport LNR 3646-97

89 Nordbakken

90 Sogn

Henvendelser vedrørende rapportene rettes til utførende institusjon