

Sammenhenger mellom træs vitalitet og næringsstatus i nåler og i humus i Sørøst-Norge.

Relationships between tree vitality and nutrient status in needles and in humus in Southeastern-Norway.

Mette Goul Thomsen
Jacqueline M. Esser
Kåre Venn
Dan Aamlid

Norsk institutt for jord- og skogkartlegging, Ås1997
NIJOS rapport 6/97
ISBN 82-7464-112-4

Forsidefoto: Oskar Puschmann

Tittel: Sammenhenger mellom trærers vitalitet og næringsstatus i nåler og i humus i Sørøst-Norge.		NIJOS nummer: 6 / 97	
Forfatter(e): Mette Goul Thomsen ² , Jacqueline M. Esser ² , Kåre Venn ¹ og Dan Aamlid ¹ 1) Norsk institutt for skogforskning, Høgskolev. 12, N-1432 Ås. 2) Norsk institutt for jord- og skogkartlegging, Boks 115, N-1430 Ås		ISBN nummer: 82-7464-112-4	
Oppdragsgiver: Direktoratet for naturforvaltning (DN)		Dato: 17/6-97	
Fagområde: Naturens tålegrenser		Sidetall: 19	
Utdrag: Nåleprøver ble innsamlet fra 180 grantrær på 45 flater i Sørøst-Norge. Det var generelt lavere konsentrasjon av kationer og mineralnæringsstoffer henholdsvis i humuslaget og i nåler i den sørligste del av landet, samt et høyere innhold av N. Ved fortsatt tilførsel av N, er det sannsynlig at det i trærne vil oppstå sterkere mangel på næringsstoffer som K og P. På grunn av den geografiske spredningen i materialet styres trærnes vitalitet i hovedsak av de naturlige vekstbetingelsene, samt av konsentrasjonen av nitrogen i nålene og pH i humuslaget, og viser ingen geografiske trender.			
Abstract: Needle samples were collected from 180 Norway spruce trees on 45 plots in South-eastern Norway. There were generally lower concentrations of cations in the humuslayer and of nutrient elements in the needles in the southernmost regions, while the contents of N were higher. Deficiency in nutrients such as K and P in this area is likely to increase with a continued contribution of atmospheric N. Due to the geographical distribution of the plots the tree vitality was mainly controlled by the natural growth conditions and of N content in the needles and pH in the humuslayer. The vitality showed no geographical pattern.			
Andre NIJOS publikasjoner fra prosjektet: Det finnes en rekke artikler og rapporter relatert til skogovervåking fra NIJOS.			
Emneord: Humuskjemi, kronetetthet, nålekjemi, skuddfarge	Keywords: Humus- and Needle chemistry, colour of shoots, crown density	Ansvarlig underskrift: Christian Nellemann (sign)	Pris kr.: 157,-
Utgiver: Norsk institutt for jord- og skogkartlegging Postboks 115, N - 1431 Ås Tlf.: + 47- 64 94 9700 Faks: + 47- 64 94 97 86 E-post: nijos@nijos.no			

Forord

Den foreliggende rapporten viser resultatene fra en undersøkelse på innhold av mineralnæringsstoffer i grannåler og humuslagets innhold av næringsstoffer i Sørøst-Norge, sett i relasjon til forurensningssituasjonen. Prosjektet har vært finansiert gjennom programmet Naturens Tålegrenser, og vi takker for denne støtte. Gjennomførelsen av prosjektet er blitt til i samarbeide mellom Norsk institutt for skogforskning (NISK) og NIJOS.

Seksjonssjef Christian Nellemann

INNHold

1. SAMMENDRAG	1
2. ABSTRACT	1
3. INNLEDNING	2
4. MATERIALE OG METODIKK	2
5. RESULTATER	4
5.1. NÅLER - HUMUS	4
5.2. HUMUS, NÅLER - VITALITET	5
5.3. GEOGRAFISK FORDELING	7
6. DISKUSJON	7
6.1. NÅLER - HUMUS	15
6.2. HUMUS, NÅLER - VITALITET	15
6.3. GEOGRAFISK FORDELING	16
7. KONKLUSJON	16
8. LITTERATUR	17

1. Sammendrag

Sammenheng mellom humuskjemi, nålekjemi, kronetetthet og prosentandel grønne skudd på grantrær (*Picea abies*) ble undersøkt på 45 flater i Sørøst-Norge, fire trær på hver flate. Det var generelt lite sammenheng mellom elementene i humus og i nåler, kun konsentrasjonen av sink (Zn) og fosfor (P) i humus var korrelert til de samme elementene i nålene.

Konsentrasjonen av magnesium (Mg) og kalsium (Ca) i nålene lå over den i litteraturen angitte optimale grense, mens konsentrasjonen av nitrogen (N), kalium (K) og P for en del av greinprøvene lå under optimalt. Generelt tyder resultatene på at en lavere næringsstatus og lav pH i humuslaget har sammenheng med en økt konsentrasjon av aluminium (Al) og en lavere Ca- og P- konsentrasjon i nålene. Konsentrasjonen av N i nålene og pH i humuslaget var positivt korrelert, og forholdet mellom karbon og nitrogen (C/N) negativt korrelert, med kronetettheten og prosentandel grønne nåler. Testing av trærnes vitalitet mot optimale verdier for elementene i nålene ga det samme resultatet. Innholdet av utbyttbare kationer i humuslaget var signifikant lavere i den sørligste delen av området med svoveldeposisjon $> 0,4 \text{ g S/m}^2$ og nitrogendeponisjon $> 0,6 \text{ g N/m}^2$. Det samme var C/N-forholdet, mens N-innholdet var signifikant høyere. Det var en klar tendens til lavere konsentrasjon av mineralnæringsstoffer, inklusive P, i nåler i det sørligste området, samt et høyere innhold av N. Det var liten forskjell i trærnes vitalitet mellom områdene.

2. Abstract

Relationships between humus chemistry, needle chemistry, crown density and percentage green shoots on Norway spruce (*Picea abies*) were assessed on 45 plots in south-eastern Norway, four trees from each plot. There were in general low correlation (Spearman's Rank Correlation) between the elements in the humus layer and those in the needles. Only the concentration of zinc (Zn) and phosphorous (P) in the humus layer were correlated to the same elements in the needles. The concentration of magnesium (Mg) and calcium (Ca) in the needles were above the optimum values set in the literature, whereas the concentration of nitrogen (N), potassium (K) and P for a number of the shoot samples were below these values. The results indicates that a lower nutrient status and low pH in the humus layer is correlated with a raised concentration of aluminium (Al) and a lower Ca- and P-concentration in the needles. The concentration of N in the needles and pH in humus layer were positively correlated, and the C/N-ratio negatively correlated, with crown density and percentage of green shoots. Testing for tree vitality in relation to the optimum values for the elements in the needles, gave the same result. The concentration of exchangeable cations in the humus layer were significantly lower in the southern part of the study, where the deposition of sulphur was above 0.4 g S/m^2 (Fig. 1.), compared to the northern area with a deposition below

0.4 g S/m^2 . This was also the case with the C/N-ratio, primarily due to a significantly higher N-concentration. There were in general a tendency towards a lower concentration of minerals in the needles in the southern area, as well as a higher concentration of N. There were no significant difference in tree-vitality between the two areas. The results may indicate that leaching of nutrients and increased deposition of N is taking place in the southern part of the area. A continuous deposition of N, is likely to cause a stronger deficiency of other nutrients as K and P in the needles. It should be noted that due to the relatively low number of plots there was a test power below 0.8 in nearly all geographical comparisons. The results therefore only gives indications on the nutrient situation, in the region.

3. Innledning

På begynnelsen av 1970-tallet reiste det seg en økende bekymring for negative effekter på naturen av deposisjonen av forsurende stoffer fra atmosfæren (Abrahamsen *et al.* 1994). Allerede på 1960-tallet ble det rapportert om fiskedød relatert til forsurening av vann. Dette medførte en økt forskningsinnsats på forurensningens virkning på skog og fisk i Norge (Overrein *et al.* 1980). I begynnelsen av 1980 kom det meldinger fra Tyskland om omfattende skogskader i Mellom-Europa, som det mentes kunne relateres til effekter av forurensning (Ulrich *et al.* 1980; Wentzel 1982). Symptomene ble omtalt som "nye skogskader" og beskrevet som unormalt skrantne trær med gulfargete nåler og blad (Schütt *et al.* 1983).

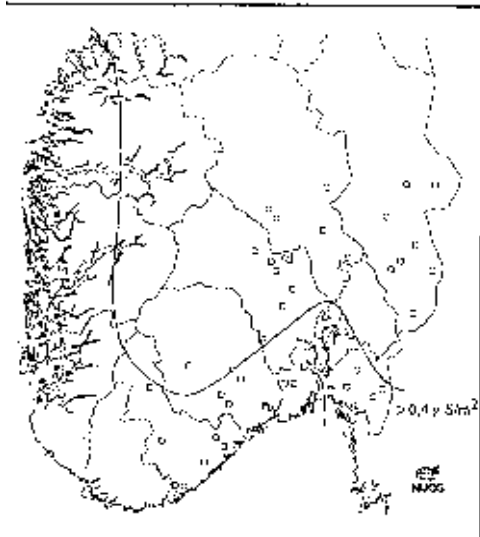
Kumulative effekter av sur nedbør på jord oppfattes generelt som av større betydning for skogens helsetilstand enn direkte effekter av høye konsentrasjoner av giftige gasser i luft (Schultze 1989). Fattig og tynt jordsmonn er spesielt følsomt for påvirkninger (Frogner 1991). Ved forsurening øker utvaskingen av basiske kationer (Ca, Mg og evt. K) fra de øvre jordlag (Meiwes *et al.* 1986), og kan medføre en økt mobilitet av aluminium i jordvæsken (Ulrich *et al.* 1980). Utvaskingen av basiske kationer og økt mobilitet av Al kan påvirke røtter og mykorrhiza i negativ retning. Dette kan medføre at røtterne konsentreres i den øvre delen av jordsmonnet, og således gjør trærne mer følsomme for tørke (Ulrich 1989). Økt deposisjon av nitrogen til boreal skog, som ofte er i underskudd på nitrogen, fører til økt biomasseproduksjon. Samtidig øker plantenes behov for andre næringsstoffer som Mg, P og K (Abrahamsen 1980), såvel som deres tørkefølsomhet (Nilsen 1995). Utvasking av næringsstoffer i samspill med nitrogentilførsel kan derfor føre til næringsubalanse (Schultze 1989; Schultze & Freer-Smith 1991). Samvirkninger mellom abiotiske faktorer og luftforurensning har vært fremhevet innen forskningen av skogskadeårsaker (Manion 1981). I boreale områder, såsom i Skandinavia, har en slik hypotese spesielt stor forklaringskraft, idet de naturgitte forhold generelt er mere ekstreme enn i Mellom-Europa.

Kjemiske analyser av jord og planter er derfor i dag en integrert del av internasjonal skogovervåking (Anon. 1994). For å kunne vurdere skogens vitalitet ut fra kjemiske analyser er det viktig å kartlegge graden av sammenheng mellom jord- og nålekjemi spesielt i relasjon til misfarging av nåler og nåletap. Vi vet i dag relativt lite kvantitativt om sammenhengen mellom næringsstatus i nåler og næringsinnholdet i humus, og om hvorledes dette påvirker trærnes vitalitet i Norge.

4. Materiale og metodikk.

Prøvematerialet ble innsamlet av Norsk institutt for jord- og skogkartlegging (NIJOS) og er en del av de landsrepresentative overvåkingsflater beliggende i et 9x9 km rutenett (Nellemann 1996). I alt 45 flater i Sør-Norge ble prøvetatt (Fig. 1). Flatene ble utvalgt i forhold til treslag (gran); hogstklasse (IV og V) og høyde over havet (<550m). Jordtypen var fortrinnsvis podsol (Humro-Ferric Podsol eller Ferro-Humic Podsol i følge det kanadiske systemet; Agriculture Canada Expert Committee on Soil Survey 1987), (71% av flatene) eller podsollignende (Eluviated Dystric Brunisol), (18% av flatene). Imidlertid har 11% av flatene andre jordtyper (andre typer Brunisol, 9%; Orthic Gleysol, 2%). Jordprøvene ble tatt på selve flaten i perioden 1988 - 1990. Prøvene ble tatt systematisk fra en profilgrop og et varierende antall prøvestikk. Disse ble valgt ut slik at de var representative for flaten, og den dominerende vegetasjonstypen på flaten. Profilgropen ble hvor mulig lagt i en avstand av fem meter fra sentrum. Prøvene fra profilgropen og prøvestikk ble blandet etter sjikt, slik at det ble en samlet prøve for hvert sjikt

innen hver flate (Esser & Nyborg 1992). Resultatene fra jordprøvetakingen er tidligere rapportert, som deler av en større prøvetaking, (Esser og Nyborg 1992).



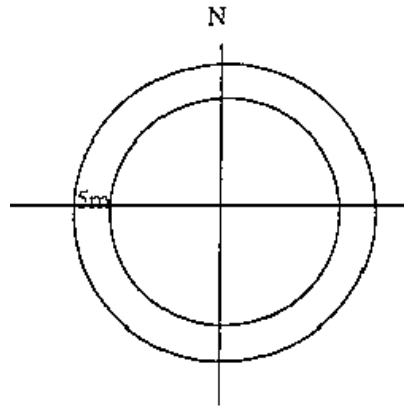
Figur 1. Kartutsnittet viser beliggenheten av prøveflatene, samt isolinien for sulfatvåttavsetning tilsvarende $0,4 \text{ g S/m}^2$ (etter SFT 1995).

Figure 1. The map shows the position of the plots, and the isoline for wet deposition of sulphur on 0.4 g S/m^2 (after SFT 1995)

Nåleprøvene ble innsamlet høsten 1992. De ble tatt fra fire trær utenfor periferien av flaten, for å unngå skade på de trærne som vurderes ved overvåkingen. Radius av den eksisterende flaten ble økt med fem meter fra 8.92 m (250 m^2) til 13.92 m (609 m^2). I denne ytre ringen ble det valgt ut et tre i hvert verdenshjørne, bestemt fra sentrum, i alt fire trær pr flate. Trærne skulle i så stor grad som mulig være representative for de vitalitetsklassifiserte trærne på den egentlige flaten i forhold til jordprøvetakingen og vegetasjonsbestemmelsen som tidligere var utført. I hver kvadrant ble det nærmeste treet valgt, slik at treet imot nord ble valgt i retningen N til Ø, treet imot Ø ble valgt i retningen Ø til S osv. (Fig.2).

Kronetetthet og kronefarge ble bedømt visuelt på alle prøvetrærne (NIJOS 1993). Greinprøver ble tatt fra ca. 15. greinkrans, en grein fra hvert tre i sørlig retning. Fra hver grein ble de to siste årsskuddene klippet fra hovedaksen, samt fra de ytterste sidegreinene. I alt ble det klippet seks av årets og seks av fjorårets skudd på hver grein. Prøvene fra de fire trærne ble samlet til to prøver, en med fjorårets og en med årets skudd, i alt 24 skudd i hver prøve. På greinene ble skuddfarge vurdert visuelt i tre klasser: 1 (grønn), 2 (gulgrønn) og 3 (sterk gul). Til bruk ved databehandlingen ble det beregnet prosentandel grønne skudd pr prøve. Nåler fra disse ble analysert for kjemisk innhold ved Norsk institutt for skogforskning (Ogner *et al.* 1991).

Jordkjemiske analyser ble utført ved JORDFORSK på Landbrukets analysesenter (Esser & Nyborg 1992). I undersøkelsen ble benyttet pH i humus (målt i vann) og konsentrasjoner av næringsstoffer i humussjiktet (LFH-sjikt). Måleenhetene var for de målte elementene i humuslaget: Al, Fe, Mn og Zn i mg/kg og Ca, Mg, H og K i mekv/100g, alle målt som utbyttbare ioner i en $1 \text{ M NH}_4\text{NO}_3$ løsning. Total karbon og nitrogen ble angitt i g/100g; P i mg/100g, ekstrahert i ammoniumlaktat-ekstrakt. I nålene ble Zn angitt i $\mu\text{mol/kg}$ og de øvrige elementene i mmol/kg



Figur 2. Figuren skisserer utvelgelsen av prøvetrær. Den indre ringen angir den egentlige NIJOS-flaten, der jordprøvene er tatt. Prøvetrærne er valgt ut i området mellom den indre og den ytre ringen (se teksten).

Figure 2. The figure gives a schematic view of the procedure for selection of sample trees. The inner ring indicates the original monitoring plot. Within this ring the soil samples are taken. The sample trees are chosen from the area between the inner and the outer ring, one in each of the four directions (N, S, E & W).

Korrelasjoner mellom humuskjemi og nålekjemi ble beregnet for en rekke elementer. De kjemiske analyser ble forsøkt knyttet opp til prosentandel grønne skudd og kronetetthet på prøvetrærne. Beregningene ble utført på enkeltdata. Alle signifikante sammenhenger ble vurdert i forhold til om de var styrt av enkeltflater. Konsentrasjonen av de nålekjemiske elementene Ca, Mg, K, P og N ble undersøkt i forhold til optimumsgrenser gitt i litteraturen (iflg. Brække 1994). For de elementene som hadde målte konsentrasjoner lavere enn optimum ble kronetetthet og prosentandel grønne skudd gruppert i to grupper i forhold til grensen satt for hvert element. Gruppene refererte seg til angitt grenseverdi for optimalt og sterk mangel, og det ble testet for forskjell mellom gruppene ved en t-test eller Mann-Whitney Rank Sum test. Sterk mangel antas å være årsak til synlige symptomer på planter. For N er grensen satt mellom mangel og sterk mangel (iflg. Brække 1994), da samtlige observasjoner var lave. En tilsvarende test ble utført for pH i humus, hvor pH ble gruppert i forhold til pH=3,8 (se Nellemann 1996). For videre analyse ble området delt i to i forhold til våtavsetning av sulfat større eller mindre enn 0,4 g S/m² (SFT 1995) (Fig. 1). De to områdene ble sammenliknet med henblikk på vitalitet og innholdet av essensielle næringsstoffer i humus og i nåler. Statistisk analyse er utført i SigmaStat og til korrelasjonsanalyse er benyttet Spearmans Rank Correlation. Nålekjemi for ulike nåleårganger er i teksten angitt, f.eks. for K i årets nåler ved K(c) og i fjorårets nåler ved K(c+1) etc.

5. Resultater.

5.1. Nåler - Humus (Tabell 1 og 2)

pH i humuslaget var positivt korrelert til konsentrasjonen av kalsium (Ca) i nålene. Kationbyttekapasiteten (CEC) var positivt korrelert til konsentrasjonen av kalium (K) i nålene og forholdet mellom karbon og nitrogen (C/N) var negativt korrelert til total nitrogen (N) i

nålene. Utbyttbart sink (Zn) og total fosfor (P) mengde i humuslaget var positivt korrelert til de samme ionene i nålene. Basemetningsgraden (BS) og utbyttbart Ca og Mg i humuslaget var negativt korrelert til konsentrasjonen av Al i nålene.

Tabell 1. Beregnede korrelasjoner mellom jordkjemi målt i LFH-(humus) sjiktet og nålekjemi i siste nåleårgang (c) for et utvalg av elementer. Bare signifikante korrelasjoner større enn 0,35 er vist. Øverste tall er korrelasjonskoeffisienten, nederste tall er p-verdien.

Table 1. Correlations between chemical concentrations in the humuslayer (LFH) and concentrations in the needles (c) for a number of elements. The results refers to single observations (n=45). Only significant correlations higher than 0.35 are presented. The upper value is the r-coefficient and the lower figure is the p value.

Nålekjemi		Al	Ca	K	Mn	N	P	Zn
<i>Needle chemistry</i>								
Jordkjemi	PH		0,50 0,000			0,42 0,004		
<i>Soil chemistry</i>								
	CEC			0,41 0,006				
	BS	-0,50 0,000	0,45 0,002					
	Ca	-0,54 0,000						
	H		-0,42 0,005					
	K				0,39 0,008			
	Mg	-0,55 0,000						
	Mn				0,50 0,000			
	P						0,49 0,000	0,42 0,004
	Zn							
	C/N					-0,53 0,000		

5.2. Humus, nåler - vitalitet (Tabell 3 og 4)

pH i humuslaget og konsentrasjonen av N i nålene var positivt korrelert med kronetetthet og prosentandel grønne skudd. C/N-forholdet i humuslaget var negativt korrelert med kronetettheten og prosentandel grønne skudd.

For elementene N, K og P i nålene ble det funnet konsentrasjoner under optimalt (iflg. Brække 1994). Det ble i gruppen med N-konsentrasjon under grensen for sterk mangel funnet en signifikant lavere kronetetthet enn i gruppen med N-konsentrasjon over denne grense. I gruppen av flater med pH <3,8 var det en signifikant lavere prosentandel grønne skudd og lavere kronetetthet enn for de med pH > 3,8.

Tabell 2. Beregnede korrelasjoner mellom jordkjemi målt i LFH-(humus) sjiktet og nålekjemi i nest siste nåleårgang (c+1) for et utvalg av elementer. Forøvrig som tabell 1.

Table 2. Correlations between chemical concentrations in the humuslayer (LFH) and concentrations in the needles (c+1) for a number of elements. The results refers to single observations (n=45). (See fable 1).

Nålekjemi Needle chemistry	Al	Ca	K	Mn	N	P	Zn
Jordkjemi Soil chemistry	PH	0,39					
	CEC	0,008	0,42				
	BS	-0,55	0,005				
		0,000					
	Ca	-0,57					
		0,000					
	K	-0,43					
		0,004					
	Mg	-0,60		-0,35			
		0,000		0,018			
	P	-0,45			-0,39	0,51	
		0,003			0,009	0,000	
	Zn						0,50
							0,000
	C/N				-0,50		
					0,000		

Tabell 3. Beregnede korrelasjoner mellom humuskjemi, nålekjemi og vitalitet angitt ved prosentandel grønne skudd av årets (c) og fjorårets (c+1) skudd og kronetetthet. Forøvrig som tabell 1.

Table 3. Correlations between chemical concentrations in the humuslayer (LFH), concentrations in the needles of a number of elements and vitality, given as % of green shoots in relation to this years (c) and the preveious years (c+1) shoots. The results refers to single observations (n=45). (See fable 1).

Vitalitet Vitality	% grønne skud (c) green shoots	% grønne skud (c+1) % green shoots	Kronetetthet Crown density
Jordkj enri Soil chemistry			
	pH	0,37	0,36
		0,013	0,016
	Org	-0,39	-0,37
		0,008	0,014
	C/N	-0,36	-0,59
		0,016	0,000
Nålekjemi Needle chemistry			
	N-91		0,53
			0,000
	N-92	0,37	0,48
		0,014	0,000

Tabell 4. Gjennomsnittlig kronetetthet og prosentandel grønne skudd (gjennomsnitt \pm middelfeil) for grantrær på flater inndelt i to grupper, henholdsvis over og under optimumsverdier for konsentrasjonen av N, P og K i nåler(), og til pH i humus. Grenseverdiene for nålekjemisk innhold er hentet i litteraturen (i flg. Brække, 1994).

Table 4. Crown density and percentage of normal green shoots (mean \pm , s.e) seen in relation to suggested optimum values for the concentration of N, P and K in needles() (see Brække, 1994), and to pH in humus. The test used is either student t-test or Mann-Whitney Rank Sum test, p-value are shown

Konsentrasjon i nåler(c) <i>Concentrations in needles(c) mmol/kg</i>	% andel grønne skudd <i>% green shoots</i>	p-verdi <i>p-value</i>	Kronetetthet <i>Crown density</i>	p-verdi <i>p-value</i>
K < 153	78 \pm 7		86 \pm 1	
K > 153	81 \pm 4	p=0,81	88 \pm 1	p=0,29
N < 857	75 \pm 5		84 \pm 1	
N > 857	90 \pm 3	p=0,14	88 \pm 1	p=0,02*
P < 45	79 \pm 5		85 \pm 1	
P > 45	82 \pm 6	p = 0,62	86 \pm 1	p = 0,24
pH i humus				
pH < 3,8	64 \pm 8		82 \pm 1	
pH > 3,8	84 \pm 4	p = 0,03*	86 \pm 1	p = 0,03*

5.3. Geografiskfordeling (Tabell 5, figur 3 til 8)

Den geografiske fordelingen av flatene i forhold til kjemisk innhold i nåler og jord, er for en del av elementene vist på kart. Det var statistisk signifikant lavere BS, C/N-forhold og innhold av utbyttbare basiske kationer i humuslaget i det sørligste området. Innholdet av N var signifikant høyere, og det samme var mengden av H⁺ ioner innen dette området. Det var en tendens imot høyere innhold av N og lavere konsentrasjon av mineralnæringsstoffer i nålene i det nordligste området, men bare signifikant for Ca og K. Det var ingen signifikant forskjell mellom områdene i forhold til prosentandel grønne skudd. Kronetettheten var signifikant høyere i det sørligste området, forskjellen mellom de to områdene var likevel liten og kan ikke regnes som egentlig signifikant.

6. Diskusjon.

Materialet til den foreliggende undersøkelsen er hentet fra det sørøstlige Norge. Prøvene ble innsamlet i ulike år. Jordprøver ble tatt i perioden 1988 til 1990 og planteprøvene ble innsamlet i 1992. Dette kan påvirke eventuelle sammenhenger mellom jord- og nålekjemi i negativ retning (Abrahamsen et al. 1994). Til tross for en viss stratifisering dekker flatene, på grunn av krav om geografisk spredning, delvis forskjellige klimasoner. Dette kan bevirke forskjeller i nedbør og temperatur som er viktige for de jordkjemiske forholdene. Det var generelt liten samvariasjon mellom elementene i humus og i nåler, tilsvarende andre undersøkelser (Aamlid et al. 1992). Samtidig er det i andre studier funnet høye korrelasjoner mellom kjemisk innhold i jord og nåler (Ke & Skelly 1994). Inndeling av materialet i forhold til optimumsgrenser er også nevnt i andre undersøkelser (Ke & Skelly 1994), men heller ikke

der avvek disse resultatene fra de som fremkom ved sammenligning av enkelldata. Den geografiske inndelingen av studieområdet i forhold til deposisjon av svovel, viste at det var klare geografiske trender, mot lavere konsentrasjoner av en del næringsstoffer lengst sør i

landet (Esser & Nyborg 1992; Steinnes et al. 1993).

Tabell 5. Beregnede medianverdier for de to geografiske områdene adskilt ved hjelp av deposisjonen av svovel. I det sørlige området er deposisjonen > 0,4 g S/m² og i det nordlige < 0,4 g S/m².

Table 5. Calculated medianvalues for chemical concentrations in humus and in needles for the two geographic areas. The southern area had a deposition higher than 0.4 g S/m² and the northern area a deposition lower than 0.4 g S/m². The concentration of elements in the humuslayer are measured as: Ca, Mg, H og K in mekv/100g, exchangeable ions in 1 M NH₄NO₃ solution. Total carbon and nitrogen as g/100g; P in mg/100g, extracted in ammoniumlactate. In the needles all elements are given in mmol/kg. All values are related to dry matter.

Jordkjemi <i>Soil chemistry</i>	Medianverdi i syd <i>Medianvalue in the south</i>	Medianverdi i nord <i>Medianvalue in the north</i>	p-verdi <i>p-value</i>
PH	4,10	4,10	0.420
H	12,15	6,60	0,02
Org	40,70	45,65	0,36
CEC	26,07	27,27	0,22
BS	0,54	0,72	0.001
C/N	27,40	30,06	0.042
Ca	9,26	12,98	0.006
K	1,30	2,29	0.002
Mg	1,91	2,45	<0.001
N	1,51	1,32	0.001
p	6,70	14,00	0.002
<i>Nålekjemi i årets nåler</i>			
<i>Needle chemistry in this year's needles</i>			
Ca	95,00	110,60	0.03
K	159,10	164,45	0.538
Mg	46,00	47,05	0.305
N	843,00	809,00	0.289
p	39,70	43,20	0.241
<i>Nålekjemi i fjorårets nåler</i>			
<i>Needle chemistry in previous year's needles</i>			
Ca	145,20	146,00	0.833
K	133,60	150,80	0.025
Mg	3 8,40	41,20	0.807
N	867,00	813,50	0.076
p	34,38	38,55	0.078
<i>Skudd farge / kronetetthet</i>			
<i>Colour of shoots / crown density</i>			
-andel grønne skudd (c)			
-of green shoots (c)	75,00	87,50	0.649
-andel gr. skudd (c+l)			
-of gr. shoots (c+l)	100	100	0.306
Kronetetthet			
Crown density	87,25	85,25	0.050

6.1. Nåler - humus

Al-konsentrasjonen i nålene var negativt korrelert til utbyttbart Mg og Ca i humus, dette tilsvarer resultater fra andre studier (Abrahamsen *et al.* 1994). pH var generelt relativt lav ($4,22 \pm 0,45$; gjennomsnitt \pm middelfeil). Totalt samsvarer dette med at fall i pH eller i konsentrasjonen av utbyttbare kationer i humuslaget er vist å øke opptaket av Al (Liu & Trüby 1989; Løbersli 1991; Abrahamsen *et al.* 1994).

Nålenes konsentrasjon av Zn og P var positivt korrelert til konsentrasjonen av de samme elementene i humus. Konsentrasjonen av Zn i jord og tildels i planter er nært knyttet til forurensning enten ved direkte transport og avsetning, eller ved en større oppløsning i jorden på grunn av senkning i pH (Frogner 1991; Løbersli 1991). Konsentrasjonen av P i jorden avtar med avtagende pH på grunn av dannelse av Al- og Fe-fosfater (Salisbury & Ross 1978). Det er i flere studier funnet at det i jorden i de områdene av Norge som mottar størst deponisjon også er høye konsentrasjoner av Zn (Frogner 1991; Løbersli 1991; Steinnes *et al.* 1989), lavere konsentrasjon av P (Esser & Nyborg 1992) og en lavere pH enn ellers i landet (Frogner 1991; Løbersli 1991; Esser & Nyborg 1992; Steinnes *et al.* 1993). En del av flatene i denne undersøkelsen ligger i dette området og resultatene vil derfor avspeile en gradient fra områder med høy deponisjon av forurensning til områder med lavere deponisjon. Resultatene kan tyde på at en høyere konsentrasjon i nålene av Al og Zn og en lavere konsentrasjon av P kan ha sammenheng med jordforsuring.

6.2. Humus, nåler - vitalitet

pH var positivt korrelert til kronetetthet og prosentandel grønne skudd. Det betyr at det ved et fall i pH er en økt andel misfargete nåler og en lavere kronetetthet. Dette kan samsvare med at bio-tilgjengeligheten av næringsstoffer minker med økt surhetsgrad (Brady 1984). Økningen i andelen misfargete nåler skjedde ved pH på mellom 3,6 og 3,9.

Sammenhengen mellom UN-forholdet, innholdet av organisk materiale og prosentandel grønne skudd og kronetetthet, er antakeligvis et uttrykk for sammenhengen mellom vitalitet og vekstforhold, hvor høyt UN-forhold og høyt innhold av organisk materiale avspeiler relativt lavere bonitet. Det betyr samtidig at effekten av naturlige faktorer ikke er eliminert og derfor inngår i resultatene.

Kronetettheten og prosentandel grønne skudd var positivt korrelert til nålenes konsentrasjon av N. Dette var spesielt tydelig ved en N-konsentrasjon lavere enn 720 mmol/kg. Nitrogenmengden i de boreale skogområder er hittil antatt å være den mest vekst-begrensende faktor innen disse områdene (Axelsson 1983; Rosen *et al.* 1992). Økt deponisjon av nitrogen kan dog samtidig føre til en destabilisering av skogøkosystemet (Gundersen 1991), hvilket kan medføre næringsubalanse og øke sensitiviteten overfor tørke og frost (Rosen *et al.* 1992).

Inndeling etter grenseverdier for konsentrasjonen av sentrale elementer i nålene, bekreftet de observerte resultatene. Gruppen med lavest N-konsentrasjon hadde signifikant lavere kronetetthet, men forskjellene var dog små og tolkes ikke som egentlig signifikante. For pH var det signifikant lavere kronetetthet og signifikant lavere prosentandel grønne skudd i gruppen med lavest pH ($< 3,8$), dette samsvarer med resultatene fra andre undersøkelser

(Nellemann 1996). Forskjellen i kronetetthet mellom de to gruppene var dog også her for lav til å tolkes som signifikant.

6.3. Geografisk fordeling

Den geografiske fordelingen av det kjemiske innholdet i humuslaget tilsvarer resultatene som tidligere er publisert av Esser & Nyborg (1992). Det generelle bildet er en lavere næringsstatus og høyere innhold av N i området med høyest deponering av luftforurensning. Innholdet av N kan være høyere i sør på grunn av økt omsetning med et gunstigere klima, eller på grunn av høyere deponering. Det er likevel bemerkelsesverdig at innholdet av utbyttable Mg i humuslaget og i nålene ikke ser ut til å være påvirket av avsetning av sjøsalt. Det var en tendens imot at de geografiske forskjellene i de kjemiske forholdene i humuslaget ble avspeilet i nålene. med lavt innhold av Ca, K og P i sør, og høyere innhold av N. Forskjellene i nålekjemi mellom de to nåleårgangene i forhold til geografisk fordeling kan skyldes elementenes mobilitet, hvor Ca er immobilt og de andre relativt mobile, og mangelsymptomer for disse vil først vise seg i de eldre nåleårgangene. Flatene sør for Oslo kan alt i alt være mere forsøringsfølsomme og tålegrensen her lavere, enten dette forekommer naturlig eller er forårsaket av tilførselen av forsurende stoffer (Frogner 1991). Materialet til den foreliggende undersøkelsen er dog relativt lite og i nesten alle sammenligninger var teststyrken relativt lav $<0,8$. En geografisk undersøkelse kan derfor kun peke på tendenser for regionen.

7. Konklusjon.

Resultatene kan tyde på utvasking av næringsstoffer og økt tilførsel av nitrogen langs kysten i det sørligste området. Det var en generelt lavere konsentrasjon av en del kationer og mineralnæringsstoffer i humuslaget henholdsvis i nåler i den sørligste delen av studieområdet, samt et høyere innhold av N. Ved fortsatt tilførsel av N, er det sannsynlig at det i trærne vil oppstå sterkere mangel på næringsstoffer som K og P. På grunn av den geografiske spredningen i materialet styres trærnes vitalitet i hovedsak av de naturlige vekst betingelsene samt av konsentrasjonen av nitrogen i nålene og pH i humuslaget, og viser ingen geografiske trender.

8. Litteratur

Aamlid, D., Venn, K. & Frogner, T. 1992. Sammenheng mellom næringsstoffer i nåler og jord på de faste intensive skogovervåkingsflatene i Norge. Rapp. Skogforsk. 11/92:1-10.

Abrahamsen, G. 1980. Acid precipitation, plant nutrients and forest growth. In: Drabløs, D. & Tollan, A. (eds.) Ecological impact of acid precipitation. Proceedings of an international conference. (SNSF project) Norsk institutt for skogforskning. Oslo-As, Norway. s.58-63

Abrahamsen, G., Stuanes, A. & Tveite, B. 1994. (Eds) Long-term experiments with acid rain in Norwegian forest ecosystems. Ecological Studies 104. Springer-Verlag, New York. 342 s.

Agriculture Canada Expert Committee on Soil Survey. 1987. The Canadian system of soil classification. 2nd ed. Agric. Can. Publ. 1646. 164 s.

Anonymous 1994. Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests. United Nations Environmental Programme (UNEP) and United Nations Economic Commission for Europe (UN-ECE). 177 s.

Axelsson, B. 1983. Fördeling av trädets nettoproduksjon på stam, grenar, blad och rotter. Skogfakta, Suppl. 2:24-29.

Brady, N.C. 1984. The nature and properties of soils. Macmillan Publ. Co. New York. 750 s.

Brække, F.H. 1994. Diagnostiske grenseverdier for næringsselementer i gran- og furunåler. Aktuelt fra Skogforsk. Rapport 15/94. 11 s.

Brække, F.H. 1996. Needle analyses and graphic vector analyses of Norway spruce and Scots pine stands. Trees 11: 23-33.

Esser, J. & Nyborg, Å. 1992. Jordsmonn i barskog - en oversikt for Norge. Norsk institutt for jord- og skogkartlegging, Ås. Rapport 3/92. 50 s.

Frogner, T. 1991. Skogjordas næringsinnhold i kystnære strøk i Sør-Norge. Overvåkingsprogram for skogskader. NISK, Ås. 20 s.

Gundersen, P. 1991. Nitrogen deposition and the forest nitrogen cycle: role of denitrification. For. Ecol. Mgmt. 44:15-28.

Ke, J. & Skelly, J.M. 1994. Relationships between symptoms expressed by Norway spruce and foliar and soil elemental status. Water, Air and Soil Pollution. 74:289-305.

Liu, J.-C. & Trüby, P. 1989. Bodenanalytische Diagnosen von K- und Mg-Mangel in Fichtenbeständen (Picea abies Karst.). Z. Pflanzenernähr. Bodenk. 152:307-311.

Løbersli, E.M. 1991. Soil acidification and metal uptake in plants. Univ. of Trondheim. Dept. of Botany. Dr. scient. thesis. Trondheim 1991.

Manion, P.D. 1981. Tree disease concepts. Englewood Cliffs, N.J. 399 s.

Meiwes, K.J., Khanna, P.K. & Ulrich, B. 1986. Parameters for describing soil acidification and their relevance to the stability of forest ecosystems. For. Ecol. and Mgmt. 15:161-179.

Nellemann, C. 1996. Landsrepresentativ overvåking av skogens vitalitet i Norge 1989-95. NIJOS Rapp. 1/96.13 s.

NIJOS 1993. Overvåking av skogens sunnhetstilstand. Feltinstruks 1993. Norsk institutt for jord- og skogkartlegging, Ås. 38s.

Nilsen, P. 1995. Effect of nitrogen on drought strain and nutrient uptake in Norway spruce *Picea abies* (L.) Karst) trees.. Plant and Soil. 172:73-85.

Ogner, G., Opem, M., Remedios, G. & Sørli, B. 1991. The chemical analysis program of the Norwegian forest research institute 1991. - Norsk institutt for skogforskning. Ås. 21 s.

Overrein, Lx, Seip, H.M., & Tollan, A. 1980. Acid precipitation - Effects on forest and fish. Final report of the SNSF project 1972-1980. Norsk institutt for skogforskning, Ås, Norway. 43 s.

Rosen, K., Gundersen, P., Tegnhamar, L., Johansson, M. & Frogner, T. 1992. Nitrogen enrichment of Nordic forest ecosystems - The concept of Critical Loads. AMBIO 21:364-368.

Salisbury, F.B. & Ross, C.W. 1978. Plant Physiology (2.ed.). Wadsworth Publ. Co., Inc. Belmont, California. 422 s.

Schultze, E.-D. 1989. Air pollution and forest decline in a spruce (*Picea abies*) forest. Science 244:776-783.

Schultze, E.-D. & Freer-Smith, P.H. 1991. An evaluation of forest decline based on field observations focused on Norway spruce, *Picea abies*. Proc. Roy. Soc. Edinburgh, 97B, 155168.

Schütt, P.W., Blaschke, H., Lang, K.J., Schuck, H.J. & Summerer, H. 1983. So sribt der Wald. BLV Verlagsgesellschaft, München. 127 s.

SFT (Statens forurensningstilsyn) 1995. Overvåking av langtransportert forurenset luft og nedbør. Årsrapport 1994. Rapp. 628/95. 282s.

Steinnes, E., Solberg, W., Petersen, H.M. & Wren, C.D. 1989. Heavy metal pollution by long range atmospheric transport in natural soils of southern Norway. Water, Air, Soil Pollution. 45:207-218.

Steinnes, E., Flaten, T.P., Varskog, P., Låg, J. & Bølviken, B. 1993. Acidification status of Norwegian forest soils as evident from large scale studies of humus samples. Scand. J. For. Res. 8 :2-3 04.

Ulrich, B. 1989. The impact of acid deposition on soils and forest nutrition. IUFRO-Symposium "Management of nutrition in forest under stress", Frieberg, W.Germany, 18-21 September 1989.

Ulrich, B., Mayer, R. & Khanna, P.K. 1980. Chemical changes due to acid precipitation in a loess-derived soil in Central Europe. Soil Science 130:193-199.

Wentzel, K.F. 1982. Immission oder Sauer Regen - wovon sterben Walder und Seen ? Forst und Holz 37:410-413.

Naturens Tålegrenser - Oversikt over utgitte rapporter`

- 1 Nygaard, P. H., 1989. Forurensningers effekt på naturlig vegetasjon en litteraturstudie. Norsk institutt for skogforskning (VISK), As.
- 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), 0-89210.
- 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), 0-89185.
- 4 Bølviken, B. & medarbeidere, 1990. Jordforsuringsstatus og forsuringfølsomhet 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), 0-89153.
- 11b Reuss, J. O., 1990. Critical loads for soils in Norway. Analysis of soils data from eight Norwegian catchments. Norsk institutt for vannforskning (NIVA), 0-89153.
- 12 Amundsen, C. E., 1990. Bufferprosent som parameter for kartlegging av forsuringfølsomhet 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), 0-89153.
- 18 Pedersen, H.C., Nygård, T., Myklebust, I. og Sæther, M. 1991. Metallbelastninger i lirype. 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 forsuringfølsomhet i jord. NGU rapport 91.265.
- 21 Bølviken, B., R. Nilsen, J. Romundstad & O. Wolden. 1992. Surhet, forsuringfølsomhet og lettøselige 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 0-89185,3.
- 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), 0-90137/E-90440, rapport-2.
- 28 Brettum, P. 1992. Tålegrenser for overflatevann. Planteplankton. Norsk institutt for vannforskning (NIVA), 0-90137/E-90440, rapport-3.
- 29 Brandrud, T.E., Mjelde, M. 1992. Tålegrenser for overflatevann. Makrovegetasjon. Norsk institutt for vannforskning (NIVA), 0-90137/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, L., Nygård, T. & Sæther, M. 1992. Akkumulering og effekter av kadmium i lirype. Norsk institutt for naturforskning (NINA), Oppdragsmelding 152.
- 32 Amundsen, C.E. 1992. Sammenligning av relativ forsuringfølsomhet med tålegrenser beregnet med modeller, i jord. Norges geologiske undersøkelse. NGU-rapport 92.294.
- 33 Frogner, T., Wright, R.V., 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), 0-91147.
- 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), 0-89210.
- 35 Lien, L. Henriksen, A. & Traaen, T.S. 1993. Tålegrenser for sterke syrer på overflatevann -Svalbard. Norsk institutt for vannforskning (NIVA), 0-90102.
- 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), 0 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, kobber og andre metaller i multer og blåbær fra Sør-Varanger, 1992. Rapport Gkogforsk 14/93. 14/93.
- 41 Kålås, L.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), 0-89210.
- 44 Lien, L., Henriksen, A. & Traaen, T.S. 1993. Critical loads of acidity to surface waters, Svalbard. Norsk institutt for vannforskning (NIVA), 0-90102.
- 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. Effekstudier, 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) 0-93172
- 53 Schartau, A.X.L. (red.) 1994. Effekter av lavdose kadmium-belastning på littorale ferskvanns populasjoner 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 *Pheum alpinum* L. from different locations in South Norway. Direktoratet for naturforvaltning (DN). Utredning for DN, Nr. 1994-7.
- 56 Frogner, T., Wright, R.V., 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) 0-91147.
- 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), 0-94122.
- 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), 0-94112.
- 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, LM, Flatberg, K.I.F., Söderström L., Bakken S. & Pedersen, B. 1996. Blanksigd og luftforurensningsstudier. NTFN. 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 (VISK). 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 trærers 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 tiltak. 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, L.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 sensitivity of *Betula pubescens* at different growth stages after budburst in spring. *Norw. J. Agr. Sci.* 10:187-196.
- 86 Tørseth, 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.

Henvendelser vedrørende rapportene rettes til utførende institusjon