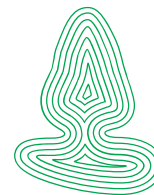


Rapport
fra Skog og landskap

17/2012



skog+
landskap

NORSK INSTITUTT FOR
SKOG OG LANDSKAP

INTENSIV SKOGOVERVÅKING I 2011

Resultater fra ICP Forests Level 2 flater i Norge

Intensive forest monitoring in 2011.

Results from ICP Forests Level 2 plots in Norway.

Kjell Andreassen, Nicholas Clarke og Volkmar Timmermann



Rapport
fra Skog og landskap

17/2012

Intensiv skogovervåking i 2011

Resultater fra ICP Forests Level 2 flater i Norge

Intensive forest monitoring in 2011.

Results from ICP Forests Level 2 plots in Norway

Kjell Andreassen, Nicholas Clarke og Volkmar Timmermann

ISBN 978-82-311-0170-3

ISSN 1891-7933

Omslagsfoto: Overvåkingsflata i Lardal. Bildet viser lysemeteranlegg (jordvannsinnsamling, i blå kasse) og kronedryppssamlere. Foto: Volkmar Timmermann.

Norsk institutt for skog og landskap, Pb 115, NO-1431 Ås

SAMMENDRAG

Andreassen, K., Clarke, N., Timmermann, V. Intensiv skogovervåking i 2011. Resultater fra ICP Forests Level 2 flater i Norge. *Rapport fra Skog og landskap 17/2012*. 19 s.

I 2011 inngikk seks flater i den intensive skogovervåkingen der utviklingen av skogøkosystemet i Norge blir fulgt. Disse flatene inngår i det nasjonale "Overvåkingsprogram for skogskader", og de er også en del av det europeiske nettverket av intensive skogovervåkingsflater, der 39 europeiske land deltar med mer enn 800 flater (ICP Forests). Intensiv skogovervåking er utført her i landet siden midten av 1980-tallet, med tidsserier som beskriver endringer i skogøkosystemet. Hovedformålet er å beskrive skogens helsetilstand og belyse virkninger av langtransporterte forurensninger på skogøkosystemet. Observasjonene fra 2011 og utviklingen siden 1986 presenteres i denne rapporten.

Vi finner fortsatt de høyeste avsetningene av syre, sulfat og uorganiske nitrogenforbindelser i frittfallende nedbør og i kronedrypp lengst sør i landet. Konsentrasjonen av sulfat og uorganiske nitrogenforbindelser i nedbør har avtatt i Norge de siste 20 årene, og dette samsvarer med reduksjonen av utslipp i Europa. Reduksjonen av både antropogent sulfat og uorganiske nitrogenforbindelser i nedbør ser imidlertid ut til å ha stoppet opp de aller siste årene. Kjemiske analyser av makronæringsstoffer i barnåler viser at den sørligste landsdelen fortsatt har høyest konsentrasjon av nitrogen og svovel i barnålene, og at det fins en tydelig nord-sør gradient for nitrogen- og svovelinnhold i barnåler der konsentrasjonene avtar med økende breddegrad.

Gjennomsnittlig kronetetthet for gran på de intensive overvåkingsflatene økte med 2,5 % til 82,8 % fra 2010 til 2011. Det var også noe mindre misfarging enn i 2010, men her er forskjellene store mellom flatene.

I Norge har vi ingen indikasjoner på at skogen er direkte eller indirekte skadet av langtransporterte luftforurensninger. Her i landet er luftforurensninger og aluminiumsforbindelser i jordvann observert med normalt lavere konsentrasjoner enn grenseverdier for skadelige effekter, selv om temporært høyere aluminiumkonsentrasjoner kan forekomme som et resultat av sjøsaltilførsel etter stormer. Sulfatkonsentrasjoner i jordvann er påvirket av langtransportert svoveltilførsel, men foreløpig tyder det ikke på at skogen er blitt skadet. Uorganisk nitrogendeposisjon har ført til økt tilvekst i skog i Norge mens redusert tilvekst grunnet deposisjon av sulfat har vært vanskelig å påvise. Det er betydelige forskjeller i måleverdier mellom flatene, og disse forskjellene kan også tilskrives geologiske, klimatiske, topografiske og skoglige forhold.

Nøkkelord: Skogskader, overvåking, luftforurensninger, nedbør, jordvann, kronetilstand, nålekjemi.

SUMMARY

Andreassen, K., Clarke, N., Timmermann, V. Intensive forest monitoring in 2011. Results from ICP Forests Level 2 plots in Norway. *Report from Norwegian forest and landscape institute 17/201: IV, 19 p.*

In 2011, intensive forest monitoring was carried out on six plots. These plots are included in the Norwegian Monitoring Programme for Forest Damage, and are also a part of the European intensive forest monitoring network (ICP Forests) where 39 European countries participate with more than 800 plots. This intensive forest monitoring has been carried out since the middle of the 1980s in Norway, leaving us with time series that describe changes in the forest ecosystems. The aim is to describe forest condition and to study effects of long-range trans-boundary air pollution on the forest ecosystems. The observations from 2011 are presented in this report.

We still observe the highest deposition of strong acids, sulphate and inorganic nitrogen in southern Norway. The average concentrations of sulphate and inorganic nitrogen compounds in precipitation have declined during the last 20 years in Norway, and correspond well with reduced emissions in Europe. However, the decline in concentrations of both anthropogenic sulphate and inorganic nitrogen compounds in precipitation seems to have stopped during the last few years. Chemical analysis of macronutrients in conifer needles shows that the southernmost parts of Norway still have the highest contents of sulphur and nitrogen in the needles, and also displays a distinct north-south gradient for sulphur and nitrogen contents in the needles where concentrations decline with increasing latitude.

Mean crown density for Norway spruce on the intensive monitoring plots increased with 2.5 % to 82.8% from 2010 to 2011, while discolouration of spruce crowns decreased.

We have no indications that Norwegian forests are directly or indirectly damaged from long-range trans-boundary pollutants. In Norway, the concentrations of air pollutants and of potentially toxic aluminium in soil water have generally been below the threshold values for damage, although temporarily elevated concentrations of aluminium can occur due to sea salt inputs after storms. The effects of nitrogen and sulphate deposition on forest growth counteract each other. Sulphate concentrations in soil water have been influenced by deposition of long-range trans-boundary sulphur, but there are no indications of forest damage. In Norway, inorganic nitrogen deposition has probably increased forest growth, while reduced growth due to sulphate deposition is difficult to identify. There were considerable differences in the measured values between the plots, which can be related to natural differences in climate, geology, topography, and forest condition in addition to long-range trans-boundary air pollutants.

Key words: Forest damage, monitoring, air pollution, precipitation, soil water, crown condition, foliar chemistry

INNHold

Sammendrag.....	ii
Summary.....	iii
Innhold	iv
1. Innledning.....	1
2. Oversikt over flatene.....	1
3. Resultater og diskusjon	3
3.1 Nedbør og kronedrypp.....	3
3.2 Jordvann	6
3.3 Trærnes kronetilstand.....	9
3.4 Nålekjemi	13
4. Litteratur	18

1. INNLEDNING

Intensiv overvåking av skog blir utført på seks flater i Norge og disse målingene inngår i Overvåkingsprogram for skogskader (OPS). Dette programmet ble opprettet i 1984/85 (Horntvedt et al. 1992). Målsettingen for OPS er å beskrive skadeomfanget på norsk skog, vise utviklingstendenser over tid, og analysere i hvilken grad langtransporterte luftforurensninger fører til skogskader i Norge. Det er særlig sterk syre, svovel- og nitrogenforbindelser og bakkenært ozon som er av stor interesse i denne sammenheng. Videre skal OPS foreta kritisk vurdering og utvikling av eksisterende og eventuelt nye metoder for overvåking av endringer i skogens vekst og trærnes tilstand, samt jordsmonnets egenskaper.

Bakgrunnen for skogovervåkingen var en bekymring for at luftforurensninger kunne skade skog. Tidlig på 1980-tallet ble det også rapportert om økende omfang av skogskader i Europa. Særlig oppmerksomhet var det omkring misfarging av barnåler og utglisning av trekroner (Schütt & Cowling 1985).

De intensive overvåkingsflatene inngår i det europeiske nettverket av slike flater (Level II-flater) i overvåkingsopplegget ICP Forests, International Cooperative Programme on Assessment and Monitoring of Air Pollution Effects on Forests (Fischer et al. 2010, Lorenz 1995, EC 1996). I Europa deltar 39 land i dette arbeidet med ca. 500 intensivt overvåkede flater (Fischer et al. 2010). Ved siden av de intensive overvåkingsflatene har deltakerlandene et nett av systematisk utlagte flater for representative registreringer av trærnes helsetilstand (Level I-flater) (Timmermann et al. 2012). ICP Forests er underlagt FN-konvensjonen om langtransporterte grenseoverskridende luftforurensninger (LRTAP).

I denne rapporten presenterer vi resultater fra registreringene på de intensive flatene i 2011 og oppsummerer utviklingen fra 1986 til 2011.

2. OVERSIKT OVER FLATENE

I Sør-Norge er det seks intensive skogovervåkingsflater med fem syd for Dovre og én i Nord-Norge (Figur 1). Driften på overvåkingsflatene i Voss og Kårvatn ble innstilt i 2011. I Voss ble det likevel utført en sluttrevisjon av kronetilstand og nålekjemi i forbindelse med oppryddingen på flata (se kap. 3.3 og 3.4). Tabell 1 gir en oversikt over noen karaktertrekk ved de gjenværende flatene. Hver flate har et areal på omkring ett dekar, og er omgitt av en ytre sone hvor enkelte av registreringene foretas. Skogen på de fleste flatene er dominert av gran (*Picea abies*). Innblanding av furu (*Pinus sylvestris*) forekommer på mange av flatene, og er størst på Osen. På Osen er flaten også større enn de andre overvåkingsflatene og her registreres kronetilstand både hos gran og furu. I figurer og tabeller er flatene sortert fra sør til nord, noe som omtrentlig gjenspeiler tilførselsmønstre for langtransporterte luftforurensninger.

Med unntak for luftmålinger, har alle flatene identisk måleprogram, og det har stort sett vært uforandret siden oppstarten. Et annet unntak er jordvannsinnsamlingen som på de fleste flatene kom i gang noen år etter opprettelse. De siste årene er imidlertid intensiteten i målingene redusert, noe som kan gjøre det vanskeligere å oppdage endringer. Kjemiske analyser er utført ved Skog og landskaps kjemiske laboratorier etter metoder beskrevet av Ogner et al. (1999).

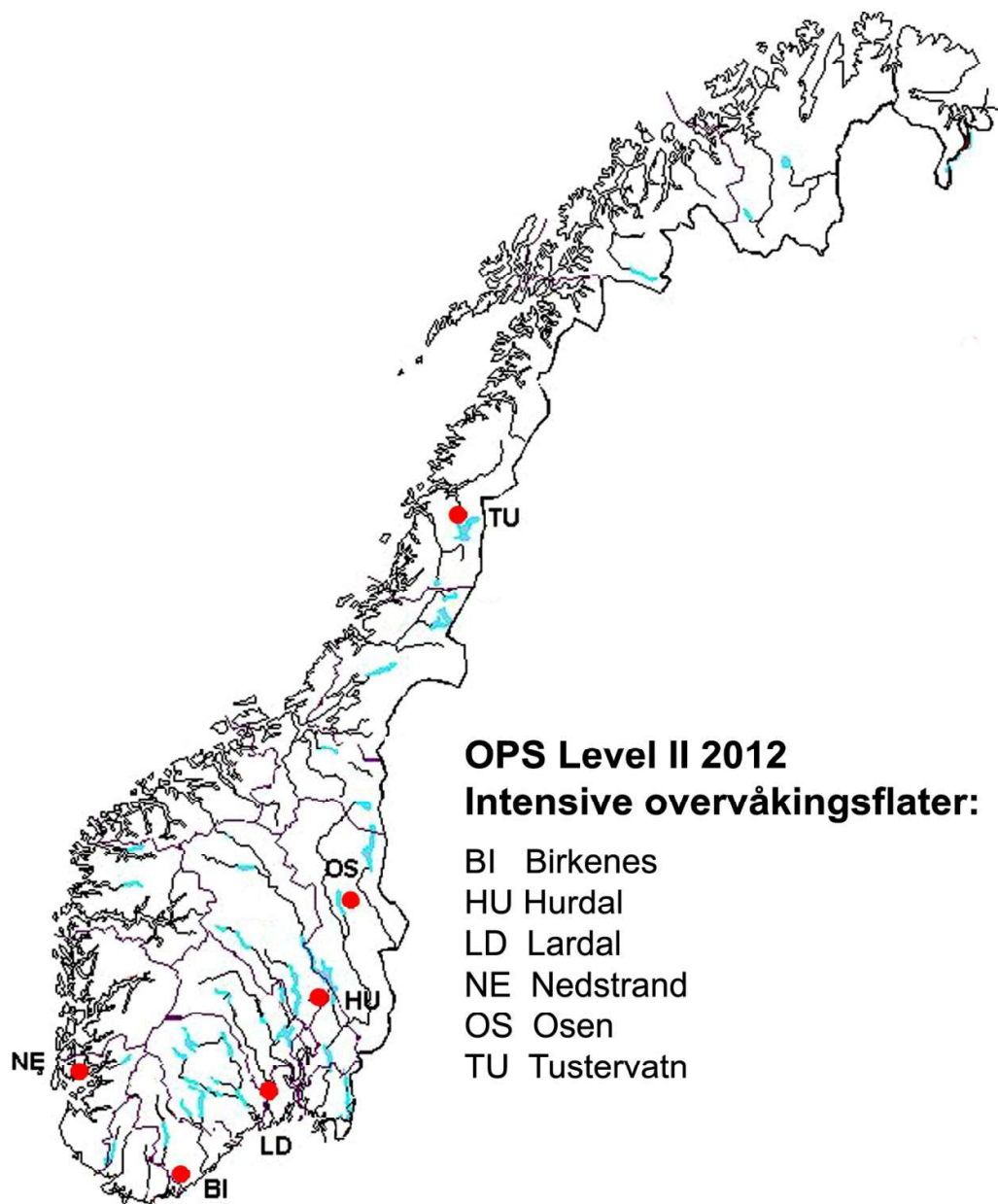


Fig. 1 Intensivt overvåkkete flater i Norge (Level II)

Tabell 1. Oversikt over flatene, ordnet fra sør til nord.

Flate	Treslag	Bonitet (H40)	Alder 2005	Etablering	Vegetasjonstype	Kvartærgeologi	
BI	Birkenes	gran	12,9	119	naturlig	Bærlingskog	morene
NE	Nedstrand	gran	17,5	71	plantet	Blåbærskog	morene
LD	Lardal	gran	13,2	131	naturlig	Blåbærskog	bunnmorene
HU	Hurdal	gran	17,0	77	naturlig	Blåbærskog	morene
OS	Osen	gran+furu	12,4	151	naturlig	Bærlingskog	morene
TU	Tustervatn	gran	5,6	156	Naturlig	Småbregneskog	morene

3. RESULTATER OG DISKUSJON

3.1 Nedbør og kronedrypp

Som i tidligere år er nedbør og kronedrypp samlet inn annenhver uke om vinteren og hver uke om sommeren. Med nedbør menes her frittfallende nedbør innsamlet på ei åpen flate nær skogen, mens kronedrypp er nedbør samlet inn i skogen omtrent 50 cm over bakken. Som tidligere, ble de ukentlige prøvene slått sammen til en fellesprøve for hver 4 ukers periode. Analysemetodene var som i tidligere år (jmf. Ogner et al. 1999).

Volumveide årsmiddelkonsentrasjoner er beregnet for noen viktige elementer og forbindelser, mens pH er beregnet ut fra volumveide årsmiddelverdier av H⁺-aktivitet (Tabell 2). Ved konsentrasjoner under analysemetodens deteksjonsgrense, er verdien satt lik halve deteksjonsgrensen. Sulfat fra menneskeskapt utslipp er beregnet ut fra sjøsaltkorrigerede konsentrasjoner av sulfat-S (ikke marint, nmSO₄-S) etter formelen: nmSO₄-S = SO₄-S - (0,054 * Cl). Beregnet deposisjon (årlige mengder per kvadratmeter, dvs. konsentrasjon ganget med vannmengde) er vist i Tabell 3. Deposisjon består både av våtavsetning fra nedbør og av tørravsetning. Trærnes kroner fanger opp en del av denne tørravsetningen, hvilket bidrar til at deposisjon og konsentrasjoner i kronedrypp under trekronene ofte er høyere enn i nedbør. I tillegg forekommer det prosesser i kronen, for eksempel utvasking fra barnåler, og det bidrar også til forskjell i konsentrasjon og deposisjon mellom frittfallende nedbør og kronedrypp.

I 2011 hadde Tustervatn i Nord-Norge de laveste konsentrasjonene av antropogent sulfat og uorganiske nitrogenforbindelser i nedbør og kronedrypp, men deposisjon av uorganisk nitrogen var lavest på Osen, sannsynligvis fordi nedbørsmengden var lavest der. Disse resultat er sammenligningsbare med tidligere år.

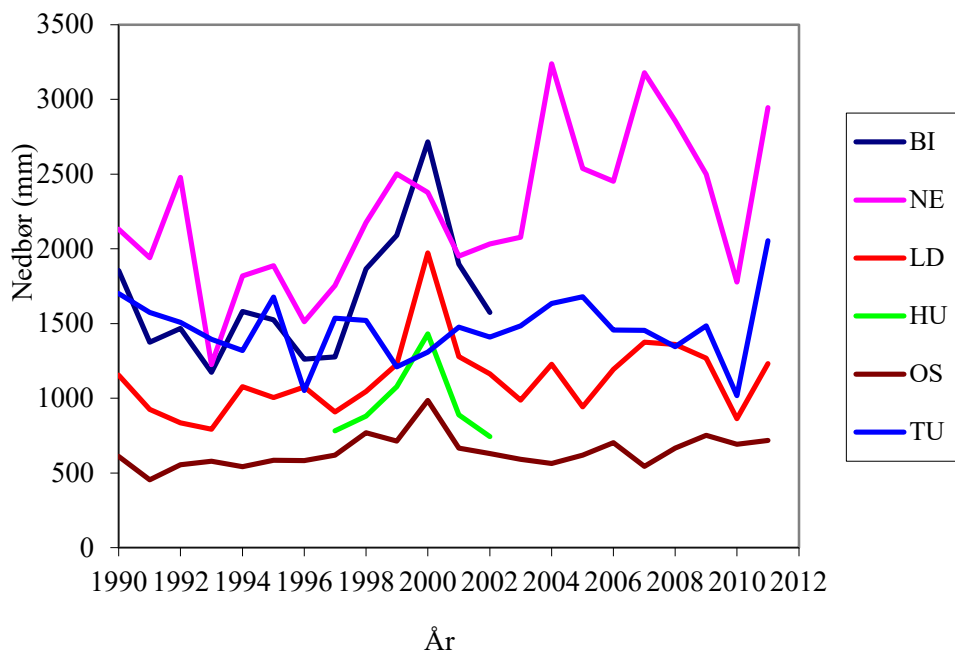
Tabell 2. Volumveide årsmiddelkonsentrasjoner (mg/l) i frittfallende nedbør og kronedrypp i 2011, der mm = nedbørsmengde (mm), Led = ledningsevne (µS/cm), Tot-N = total N, DOC = løst organisk karbon, nm = ikke marint

Felt	mm	Led	pH	NH ₄ ⁻		NO ₃ ⁻		Tot-		SO ₄ ⁻		nmSO ₄ ⁻		Ca	K	Mg	Na	Cl	DOC
				N	N	N	N	S	S	S	S								
<i>Frittfallende nedbør</i>																			
NE	2944	28	5,1	0,23	0,26	0,51	0,45	0,12	0,15	0,15	0,35	3,46	6,1	1,3					
LD	1233	17	4,9	0,21	0,27	0,50	0,26	0,21	0,06	0,12	0,03	0,48	0,8	1,0					
OS	718	10	5,2	0,15	0,16	0,43	0,18	0,17	0,08	0,27	0,02	0,24	0,3	3,3					
TU	2054	16	5,6	0,08	0,08	0,19	0,19	0,04	0,08	0,10	0,13	1,58	2,8	0,8					
<i>Kronedrypp</i>																			
BI	1591	33	5,1	0,25	0,28	0,74	0,47	0,26	0,32	1,31	0,26	2,07	3,9	8,4					
NE	2018	89	5,1	0,29	0,53	1,20	1,39	0,12	0,81	1,78	1,50	12,51	23,5	6,1					
LD	1247	22	5,1	0,13	0,17	0,41	0,26	0,19	0,17	1,34	0,08	0,63	1,2	7,8					
HU	823	19	5,3	0,21	0,19	0,57	0,25	0,21	0,15	1,24	0,06	0,44	0,8	7,2					
OS	522	14	5,2	0,13	0,09	0,39	0,17	0,15	0,13	1,03	0,05	0,30	0,5	9,9					
TU	1671	41	5,1	0,07	0,06	0,21	0,37	0,01	0,30	1,10	0,39	3,69	6,6	9,0					

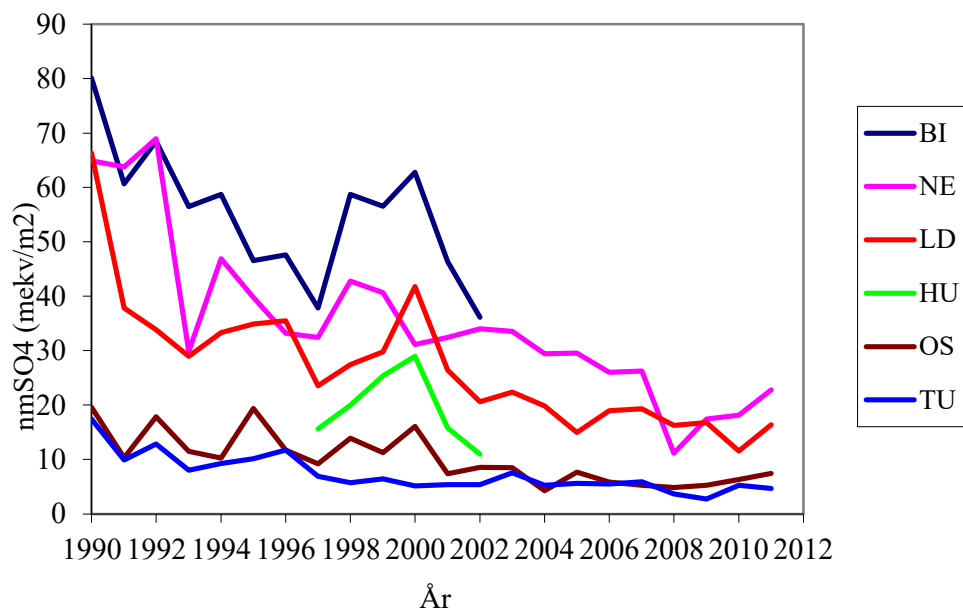
Tabell 3. Deposisjon (mg/m²) i 2011. Tot-N = total N, nm = ikke-marint, DOC = løst organisk karbon

Felt	H	NH ₄ -N	NO ₃ -N	Tot-N	SO ₄ -S	nmSO ₄ -S	Ca	K	Mg	Na	Cl	DOC
<i>Frittfallende nedbør</i>												
NE	0,024	677	765	1501	1325	365	442	453	1033	10197	18016	3827
LD	0,014	259	333	616	320	262	74	150	36	588	974	1233
OS	0,005	108	115	309	129	119	57	195	16	174	230	2368
TU	0,006	164	164	390	390	75	164	212	265	3237	5731	1643
<i>Kronedrypp</i>												
BI	0,013	398	445	1177	748	409	509	2076	407	3294	6155	13360
NE	0,015	585	1069	2421	2805	234	1634	3592	3029	25231	47497	12308
LD	0,010	162	212	511	324	242	212	1667	100	789	1472	9727
HU	0,004	173	156	469	206	173	123	1016	49	362	625	5923
OS	0,003	68	47	203	89	77	68	537	23	155	261	5163
TU	0,012	117	100	351	618	24	501	1843	643	6164	11059	15035

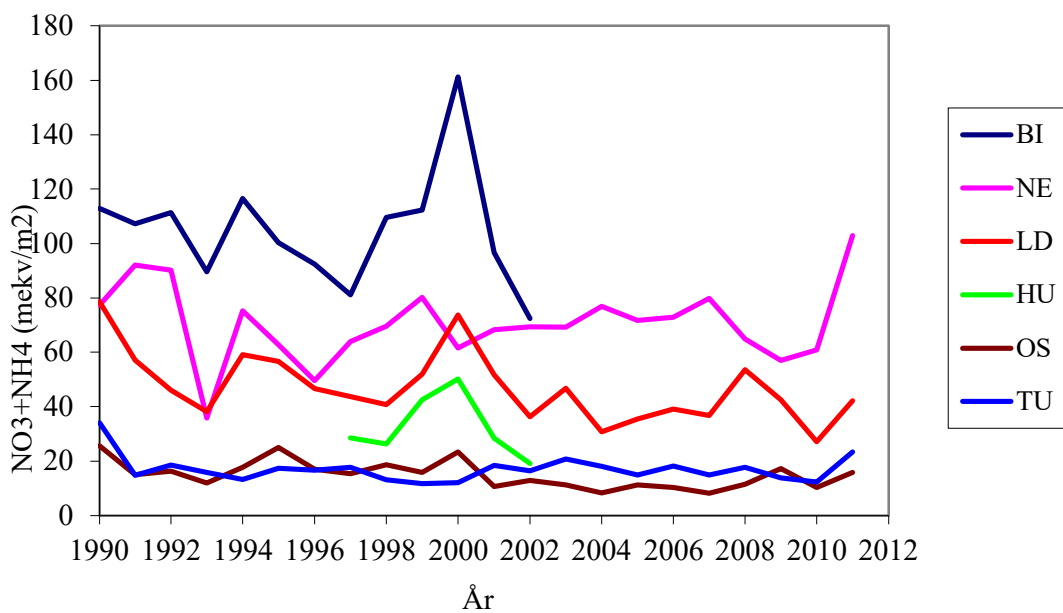
Figur 2a-c viser langtidstrender i deposisjon av ikke-marint SO₄²⁻ og (NO₃⁻ + NH₄⁺) i frittfallende nedbør på alle seks gjenværende felter. Årlige fluktuasjoner i deposisjon beror i stor grad på variasjoner i nedbørmengde (Fig. 2a), men det kan også finnes langtidstrender. I 2011 var det mye nedbør på flere av flatene, og det har bidratt til økt deposisjon, noe man ser tydeligst i deposisjon av uorganisk nitrogen på Nedstrand.



2a. Frittfallende nedbør.



2b. Ikke-marint SO_4^{2-} .



2c. $\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$.

Fig. 2(a-c). Langtidstrender i nedbørsmængde, ikke-marint SO_4^{2-} og ($\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$) i frittfallende nedbør.

3.2 Jordvann

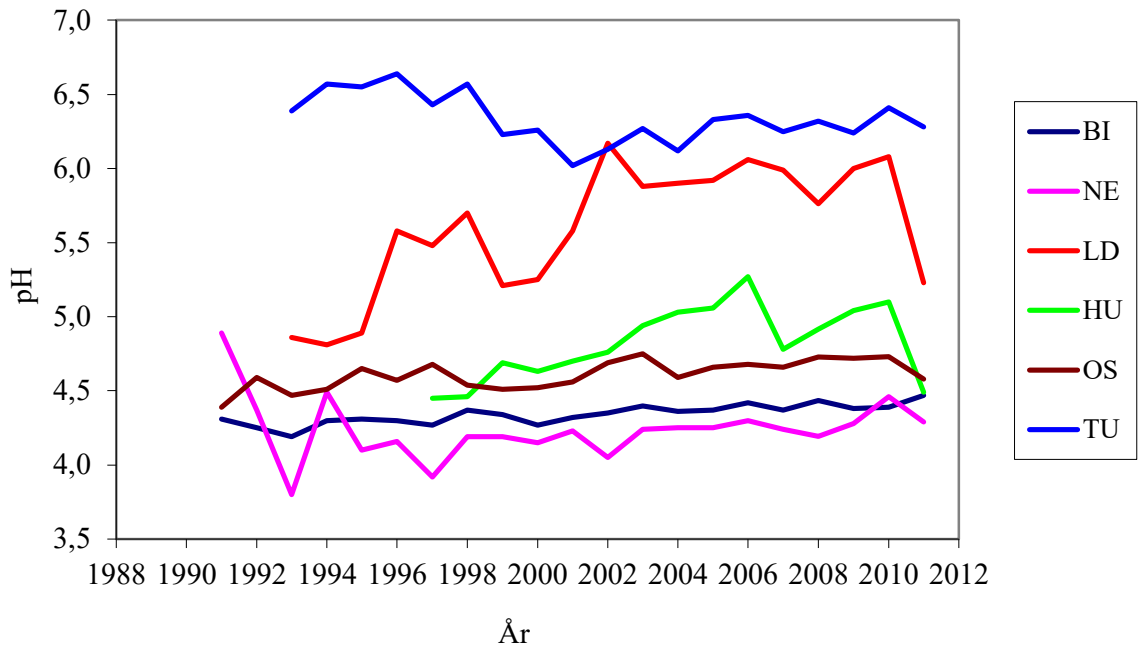
Jordvannprøver fra lysimeteranlegg er innsamlet på samme måte som i tidligere år. Lysimetrene er plassert slik at de suger vann fra omkring den nedre grensen av humussjiktet (5 cm jorddybde), og fra både øvre og nedre del av mineraljorda (15 og 40 cm jorddybde). For det meste har feltene sylindrerformede tensjonslysometre (lysometre med sug), oftest tre i hvert sjikt. Disse vil suge vann fra et område både over og under den teoretiske dybden. Overvåkingsflaten på Birkenes har tensjonsplatelysometre i 15 cm-sjiktet. Platelysimetrene suger vann bare fra området over lysimeteret. I 2011 ble jordvannet samlet inn hver uke i den frostfrie og telefrie delen av året, og slått sammen til en prøve for hver 4 ukers periode, på samme måte som i tidligere år. Analysemetodene var som i tidligere år i h.h.t. Ogner et al. (1999).

Tabell 4 viser volumveide årsmiddelkonsentrasjoner (unntatt ledningsevne, som ikke er volumveid), mens pH er beregnet ut fra volumveide årsmiddelverdier for H⁺-aktivitet. Der konsentrasjonen har vært under deteksjonsgrensen, er den satt lik halve deteksjonsgrensen. Sjøsaltkorrigerede konsentrasjoner av sulfat-S (ikke marint, nmSO₄-S) er beregnet ut fra formelen: nmSO₄-S = SO₄-S - (0,054 * Cl).

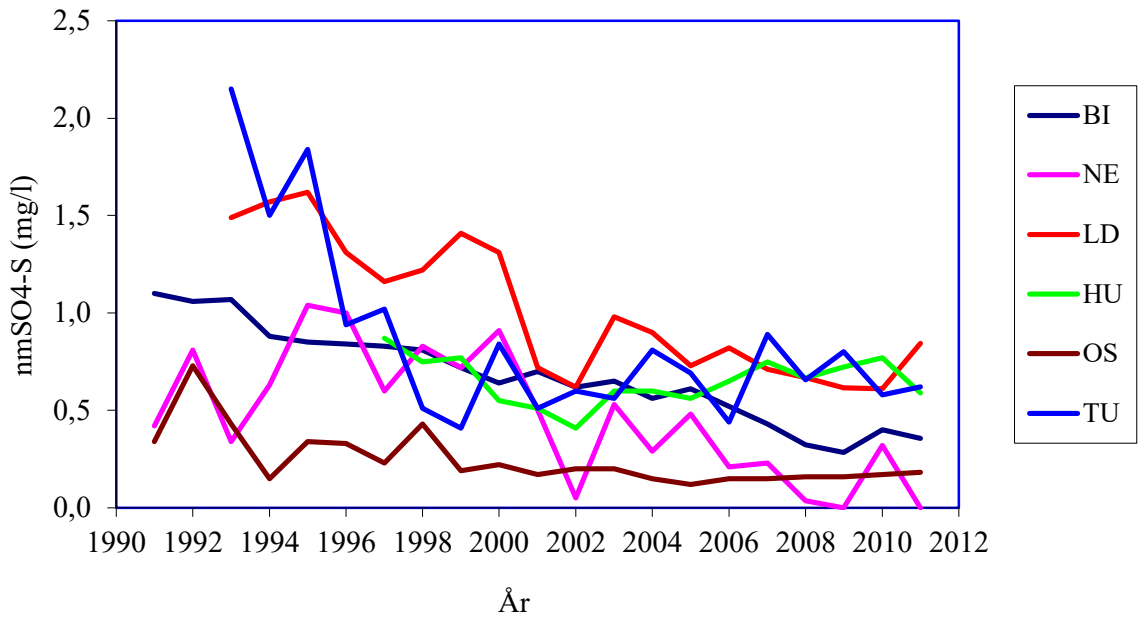
Tabell 4. Volumveide middelkonsentrasjoner (mg/l) i jordvann i 2011, der Led = ledningsevne (μS/cm), Tot = total, Lab = labil, nm = ikke marint, DOC = løst organisk karbon, * = platelysimeter

Felt	Sjikt	Led	pH	Tot- Lab-		Ca	Fe	K	Mg	Mn	Na	NH ₄ -N	NO ₃ ⁻		SO ₄ ⁻		nmSO ₄ ⁻		DOC
				Al	Al								N	Tot-N	S	S	Cl		
BI	15*	28	4,5	0,67	0,26	0,16	0,11	0,07	0,09	0,001	2,07	0,07	0,03	0,28	0,46	0,36	2,0	17,2	
BI	40	32	4,8	0,57	0,46	0,14	0,05	0,05	0,19	0,001	3,67	0,04	0,03	0,16	1,32	1,09	4,3	5,9	
NE	5	52	4,4	0,86	0,41	0,92	0,15	0,13	0,65	0,006	5,80	0,22	0,04	0,49	0,47	0,00	12,7	13,9	
NE	15	84	4,3	0,78	0,52	0,59	0,10	0,20	0,98	0,028	8,91	0,12	0,07	0,36	0,77	0,00	17,6	15,3	
NE	40	65	4,9	0,42	0,38	0,12	0,00	0,36	0,90	0,083	8,76	0,06	0,04	0,09	1,44	0,61	15,3	1,4	
LD	5	20	4,9	0,99	0,25	0,33	1,53	0,29	0,18	0,017	1,41	0,24	0,04	0,62	0,39	0,31	1,5	12,9	
LD	15	20	5,2	0,23	0,06	0,68	0,46	0,15	0,22	0,037	1,48	0,23	0,03	0,41	0,93	0,84	1,7	6,2	
LD	40	16	6,4	0,01	0,00	0,72	0,28	0,06	0,24	0,007	1,62	0,08	0,03	0,14	0,73	0,67	1,2	2,3	
HU	15	27	4,5	0,31	0,10	0,09	0,04	0,06	0,03	0,010	1,25	0,09	0,03	0,23	0,61	0,59	0,4	15,9	
HU	40	10	5,5	0,04	0,04	0,05	0,00	0,05	0,02	0,010	1,29	0,03	0,03	0,05	0,80	0,78	0,4	1,0	
OS	5	32	4,3	0,95	0,37	0,61	0,92	0,27	0,43	0,094	0,51	0,07	0,03	0,52	0,15	0,13	0,4	37,4	
OS	15	21	4,6	0,64	0,24	0,52	0,68	0,24	0,44	0,012	0,57	0,05	0,03	0,40	0,20	0,18	0,3	26,4	
OS	40	12	5,1	0,47	0,31	0,17	0,03	0,47	0,14	0,012	0,66	0,03	0,03	0,18	0,40	0,38	0,5	8,9	
TU	5	14	6,1	0,17	0,06	0,16	0,01	0,35	0,14	0,001	1,78	0,12	0,03	0,28	0,31	0,24	1,4	7,6	
TU	15	30	6,3	0,04	0,03	0,54	0,00	0,32	0,50	0,001	3,90	0,05	0,03	0,09	0,86	0,62	4,4	2,4	
TU	40	27	6,4	0,01	0,01	0,33	0,00	0,41	0,34	0,001	3,84	0,03	0,03	0,05	1,04	0,85	3,5	1,4	

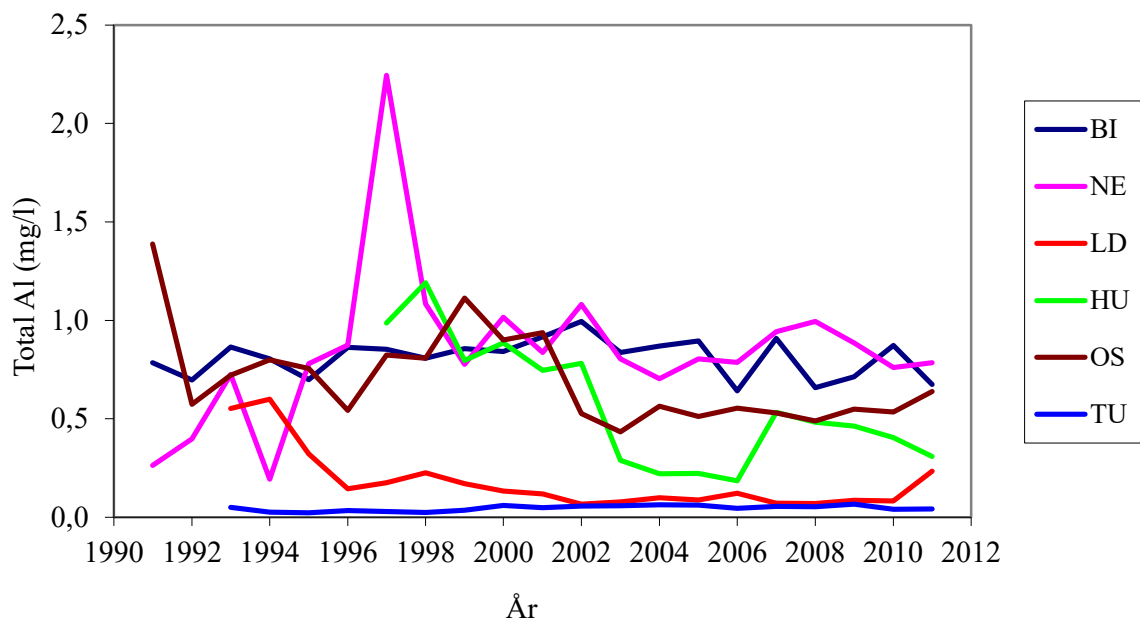
Konsentrasjonene av antropogent sulfat viste ingen tydelig regionale mønster, kanskje fordi vi har for få flater igjen for å kunne se noen slike mønstre. Ammoniumkonsentrasjonene var høyest sør i landet. Nitratkonsentrasjonene var nære eller under deteksjonsgrensen ved alle flater. pH var høyest ved Tustervatn. Konsentrasjonene av labilt aluminium var normalt lavere enn grenseverdiene for skadelige effekter. De var høyest ved de sørlige flatene Birkenes og Nedstrand, eventuelt grunnet tilførsel av antropogene forsurende forbindelser og/eller sjøsalter.



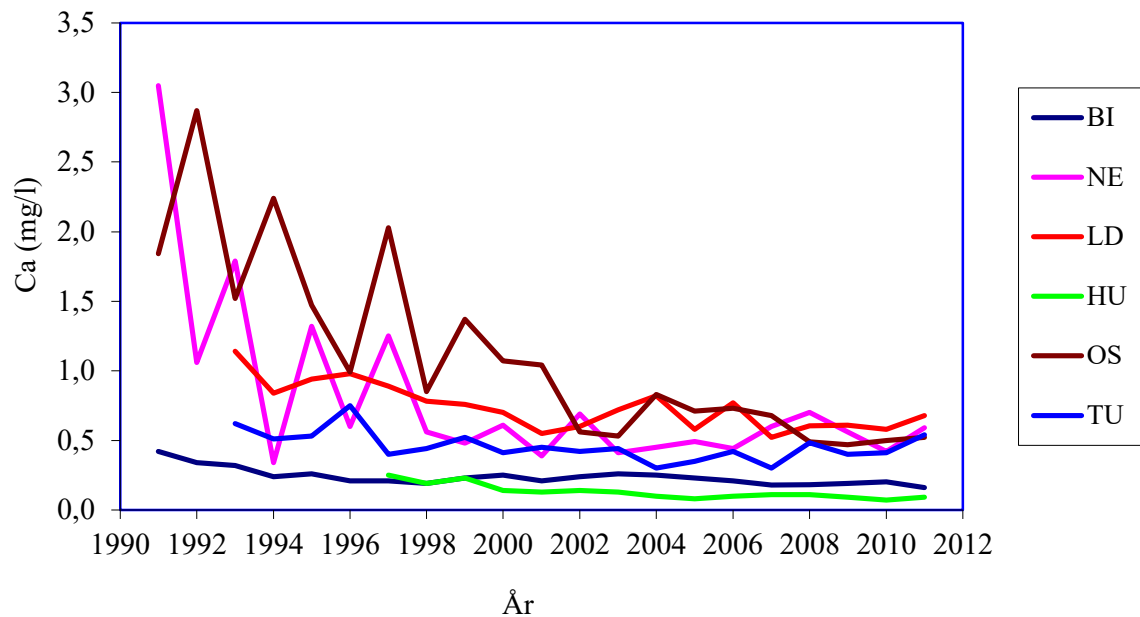
3a. pH.



3b. Ikke-marint SO₄-S.



3c. Total Al



3d. Ca

Fig. 3(a-d). Langtidstrender i pH, ikke-marint $\text{SO}_4\text{-S}$, total Al og Ca i jordvann fra 15 cm-sjiktet.

Langtidstrender for pH, Ca, total Al og ikke-marint sulfat i 15 cm dybde på de seks gjenværende flatene er vist i Fig. 3. Både Hurdal og Lardal viste uvanlig lave pH-verdier. For Hurdal, kan disse har sammenheng med relativt høye konsentrasjoner av løst organisk karbon (som består i stor grad av svake syrer). Årsaken til den lave pH-verdien på Lardal er uklart, men det kan finnes forbindelse med høye jernkonsentrasjoner på høsten 2011. For

antropogent sulfat, aluminium og kalsium var det ingen stor endring sammenlignet med tidligere år. Konsentrasjonene av disse stoffer ser ut til å holde seg.

3.3 Trærnes kronetilstand

Kronebedømmelse er en subjektiv vurdering av trærnes kronetilstand (vitalitet) basert på individuelle registreringer av blant annet kronetetthet, kronefarge, skader, blomst- og konglemengde etter ICP Forests' standardmetoder (UNECE 2010). Kronebedømmelse utføres på alle trær som tilhører hovedtreslaget på hver flate, og som ikke er undertrykt, har toppbrekk eller andre betydelige mekaniske skader. Kronetetthet er definert som mengden av levende bar i krona, oppgitt i prosent (0-99 %) av en antatt fulltett krone, der det er tatt hensyn til treets potensial på voksestedet og dets sosiale status. Redusert barmasse som følge av påvirkning fra nabotrær (sidetrykking og pisking), naturlig utskygging eller blomstring skal ikke registreres som redusert kronetetthet. For å bestemme kronefarge, anslås omfanget av misfarget bar (og intensiteten av misfargingen) og registreres på en skala fra 1 til 4 (normal grønn: 0-10 % gule nåler, svak gul: 11-25 %, middels gul: 26-60 %, sterk gul: >60 %). Hos gran vurderes kronas øvre halvdel, hos furu kronas øvre 2/3-del. I tillegg registreres det en rekke andre parametere, med særlig vekt på biotiske og abiotiske skader. Treer vurderes fra flere sider der dette er mulig. Bedømmelsen gjennomføres med kikkert. Flata i Osen er et barblandingsbestand og har et større areal og flere trær enn de andre overvåkingsflatene, og presenteres derfor både som én granflate og én furuflate i resultatoversikten for kronetilstand. I 2010 og 2011 ble bare halvparten av grantrærne bedømt på denne flata slik at treantallet skulle bli mer tilpasset de andre flatene. Ingen kronebedømmelse ble utført på flata i Kårvatn i 2011, der driften ble innstilt før feltarbeidet startet. På flata i Voss, der driften også ble innstilt i 2011, ble det gjennomført en sluttrevisjon i forbindelse med nedrigging av utstyr. Feltarbeidet på de intensive flatene ble utført mellom 16. august og 15. september 2011.

Tabell 5. Kronetetthet (%) og kronefarge (%-andel grønne trær) for hovedtreslaget på flatene i 2011 med endringer fra 2010 i parentes. Gjennomsnittstall for granflatene.

Flate	Treslag	Kronetetthet	Kronefarge
BI	Gran	84,0 (0,9)	98 (43)
NE	Gran	90,2 (6,9)	100 (2)
LD	Gran	83,4 (2,3)	66 (18)
HU	Gran	80,4 (-1,1)	47 (-32)
VO	Gran	81,1 (8,3)	97 (8)
OS	Gran	87,3 (2)	97 (-1)
OS	Furu	89,3 (0)	82 (-12)
TU	Gran	73,4 (-1,9)	72 (-19)
Gj.snitt	Gran	82,8 (2,5)	82 (3)

Tabell 6. Kronetetthets- og misfargingsklasser i henhold til UNECE og EU klassifisering (modifisert etter Lorenz et al. 2009). Klassene 3-5 refereres til som skade, både på tre- og flatenivå (Lorenz et al. 2009).

Klasse	Kronetetthet	Misfarging	Skadenivå
1	≥ 90 %	≤ 10 %	Ingen
2	89 - 75 %	> 10 - 25 %	Lett ("warning stage")
3	74 - 40 %	> 25 - 60 %	Moderat
4	39 - 1 %	> 60	Alvorlig
5	0 %		Dødt tre

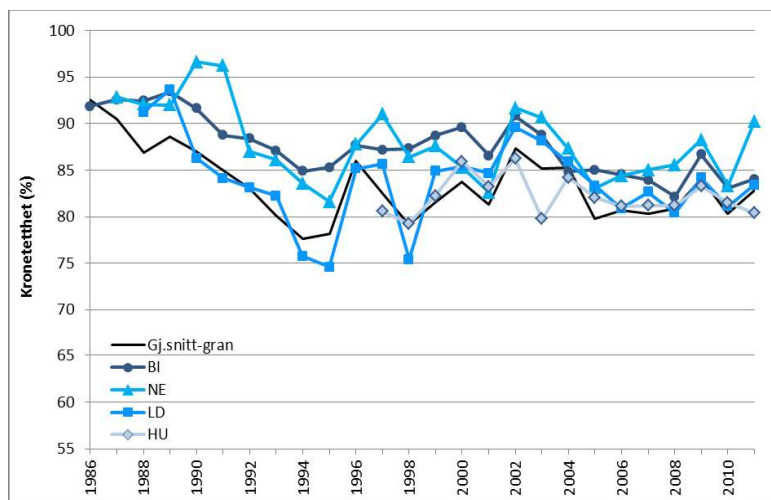
Kronetetthet

Gran

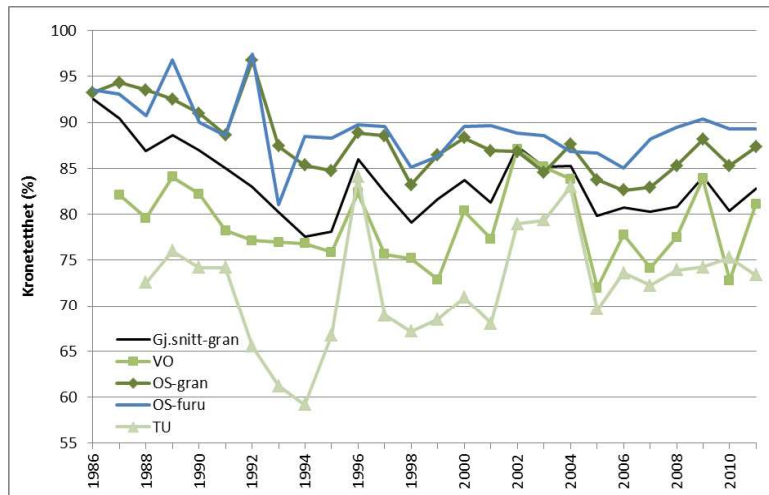
I 2011 økte kronetettheten på alle granflatene med unntak av Hurdal og Tustervatn, og gjennomsnittet for de sju granflatene lå på 82,8 %, en økning på 2,5 % i forhold til 2010 (Tabell 5). Voss og Nedstrand hadde den største økningen i kronetetthet med hhv. 8,3 og 6,9 %, mens det var små endringer på de andre flatene. Det var flatene i Nedstrand og Osen som hadde høyest kronetetthet i 2011 (hhv. 90,2 og 87,3 %), mens Tustervatn og Hurdal hadde lavest (hhv. 73,4 og 80,4 %). Forskjellen mellom flata med høyest kronetetthet (Nedstrand) og den med lavest (Tustervatn) var på 16,8 %. På de sørøstlige flatene (Birkenes, Lardal, Hurdal, Osen) samt på flata i Nedstrand har kronetettheten for gran ligget over eller rundt gjennomsnittet i nesten hele overvåkingsperioden, med unntak av Lardal og Hurdal i enkelte år (Figur 4). Flatene i Voss og Tustervatn har i hele perioden ligget under gjennomsnittet (Figur 5), og særlig Tustervatn har hatt gjennomgående lav kronetetthet med minimum i 1994 (under 60 %). Det er ingen tydelig trend for utviklingen i kronetetthet over tid for noen av flatene, men det var store svingninger i kronetettheten på 1990-tallet og i begynnelsen av 2000-tallet (Figur 4 og 5).

Furu

Kronetettheten for furu i Osen var i 2011 uforandret på 89,3 % (Tabell 5). Kronetettheten på furuflata har vært relativt stabil siden midten av 1990-tallet og har holdt seg mellom 85 og 90 % helt siden 1994 (Figur 5). Den hadde sitt minimum i 1993 med 81 %.



Figur 4. Utvikling i kronetetthet (%) på granflatene i Birkenes, Nedstrand, Lardal og Hurdal 1986-2011. Gj.snitt: Gjennomsnitt for alle granflatene.



Figur 5. Utvikling i kronetetthet (%) på granflatene i Voss, Osen og Tustervatn, samt på furuflata i Osen, 1986-2011. Gj.snitt: Gjennomsnitt for alle granflatene.

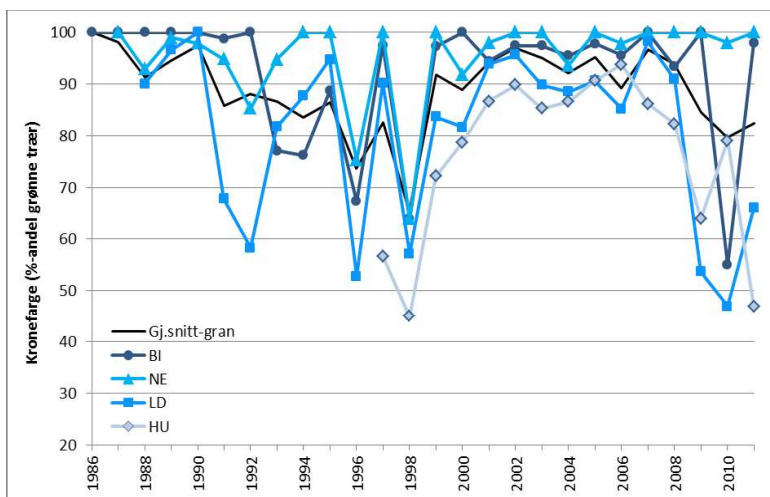
Kronefarge

Gran

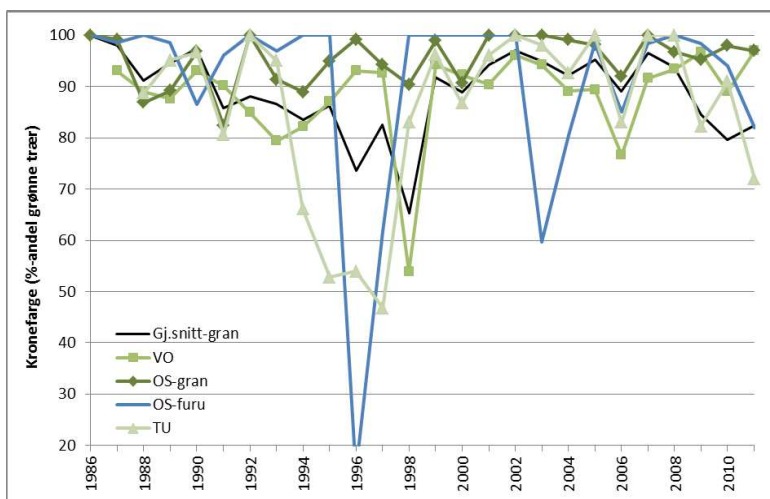
Andelen grantrær med normal grønn farge sank fra 2010 til 2011 på flatene i Hurdal og Tustervatn, mens den økte i Birkenes, Lardal og Voss (Tabell 5). På granflatene i Nedstrand og Osen var det små endringer. Gjennomsnittlig andel grantrær med normal, grønn farge var 82 % i 2011, mot 80 % året før. Mest misfarging ble registrert i Hurdal, hvor mer enn halvparten av trærne var misfargete, og i Lardal der en tredjedel av trærne var misfargete i 2011 til tross for en sterk forbedring fra 2010. I Hurdal er det ikke registrert like omfattende misfarging siden slutten av 1990-tallet. Omfanget av misfargingen minket noe: 97 % av de misfargete trærne i 2011 hadde bare lett misfarging (11-25 % av barmassen misfarget, Tabell 6) og bare 2,7 % moderat eller alvorlig misfarging (> 25 % misfarging), mens denne andelen var på 4,4 % i 2010. På flatene i Nedstrand, Birkenes, Voss og Osen var de aller fleste grantrærne normalt grønne (97-100 %). På 1990-tallet var det store variasjoner i kronefarge og generelt mye misfarging (Figur 6 og 7), som sannsynligvis var relatert til hyppige tørkeperioder i 1990-årene. Fra 1999 fram til 2008 har andelen normalt grønne grantrær på de intensive overvåkingsflatene generelt vært høy med over eller rundt 90 %. De siste årene (2009-2011) har det igjen vært store svingninger i grantrærnes kronefarge, særlig på flatene i Birkenes, Lardal, Hurdal og Tustervatn, samtidig som kronetettheten i denne perioden har holdt seg relativt stabilt på disse fire flatene.

Furu

Andelen normalt grønne furutrær gikk ned i Osen for tredje år på rad (Tabell 5). Omfanget av misfargingen var likevel lavt i 2011. Det har vært store svingninger i kronefarge for furu gjennom overvåkingsperioden, særlig på midten av 1990-tallet (Figur 7). I de aller fleste årene av overvåkingsperioden har andelen normalt grønne furutrær i Osen likevel ligget på eller nær 100 %.



Figur 6. Utvikling i kronefarge (%-andel grønne trær) på granflatene i Birkenes, Nedstrand, Lardal og Hurdal 1986-2011. Gj.snitt: Gjennomsnitt for alle granflatene.



Figur 7. Utvikling i kronefarge (%-andel grønne trær) på granflatene i Voss, Osen og Tustervatn, samt på furuflata i Osen, 1986-2011. Gj.snitt: Gjennomsnitt for alle granflatene.

Skader og avdøying

Etter ICP Forests' kriterier (Lorenz et al. 2009) defineres trær som skadet når de har en kronetetthet lavere enn 75 % og/eller mer enn 25 % misfarging (Tabell 6). Av de 484 trærne som ble kronebedømt på de intensive overvåkingsflatene i 2011, hadde 64 trær (13 %) en kronetetthet lavere enn 75 %, mens 13 (3 %) hadde mer enn 25 % misfarging (Tabell 7). Imidlertid var størsteparten av disse trærne bare "moderat skadet" etter ICP Forests' definisjon (Tabell 6), og det var kun åtte trær som var "alvorlig skadet" med en kronetetthet lavere enn 40 % eller mer enn 60 % misfarging. En tredjedel av de moderat eller sterkt skadete trærne stod på flata i Tustervatn i Nordland. Med en gjennomsnittlig kronetetthet lavere enn 75 % er hele flata i Tustervatn "moderat skadet" etter ICP Forests' kriterier (Lorenz et al. 2009). Denne flata har i hele overvåkingsperioden, med unntak av noen få år, hatt en gjennomsnittlig kronetetthet på under 75 %. Flata i Tustervatn ligger relativt høyt (400 m over havet) og har noen av de eldste trærne (> 160 år) blant overvåkingsflatene. Høyde over havet kombinert med høy trealder og den nordlige beliggenheten (65°53'N) bidrar sannsynligvis til nedsatt trevitalitet. Flata vender dessuten mot nordøst med lite direkte solinnstråling som følge. I Tustervatn ble det i tillegg registrert mange trær med "dieback"-

symptomer i varierende omfang (5-60 % av krona). "Dieback" er avdøying av små og store kvister fra ytterst i krona og innover mot stammen, og kan blant annet skyldes honningsoppangrep (toppskranting) eller tørke. Hele 49 grantrær (73 %) hadde slike symptomer i Tustervatn. Dette bidrar til den reduserte kronetettheten som vi observerte i Tustervatn. "Dieback"-symptomer ble også observert i større omfang i Lardal (11 trær = 19 %), samt på to trær i Birkenes og sju i hhv. Hurdal og Voss. Det var ellers få skader på overvåkingsflatene (Tabell 7): Det ble registrert nye toppbrekk på to grantrær i Birkenes. På flatene i Lardal, Hurdal og Osen ble det i alt observert seks grantrær med sår eller kvæutflod og én furu med tyritopp. To undertrykte grantrær i Birkenes og en bjørk i Lardal hadde dødd siden forrige registrering i 2010. Bjørka var sterkt angrepet av råte. Rundt flata i Lardal stod det mange tørrgraner og nylig barkbilledrepte grantrær, men så langt har kun ett av trærne på flata vært angrepet av barkbiller (gammel skade). Flere av de vindfelte trærne i buffersonen rundt flata hadde store råteskader.

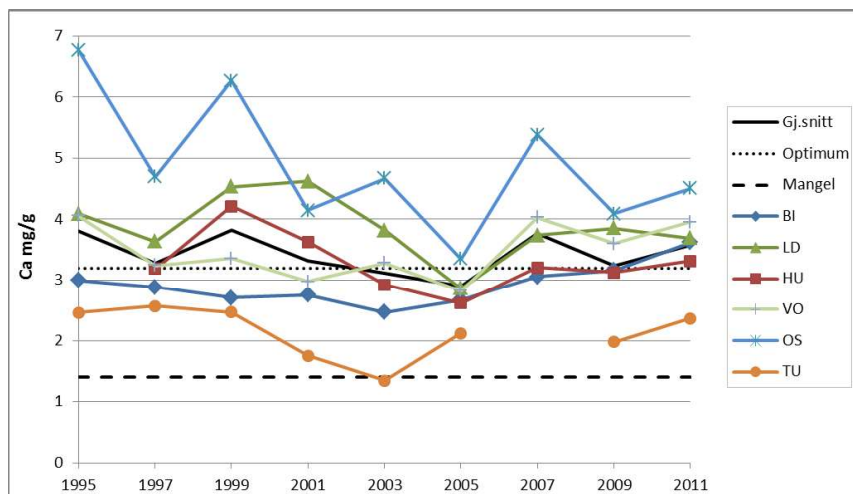
Tabell 7. Trærnes status og skader i 2011: Antall bedømte, ikke-bedømte og døde trær, samt antall registrerte skader. Osen: bare annethvert ble grantre bedømt i 2011.

Flate	Hovedtreslag	Kronebedømt	Levende, ikke bedømt				Døde trær		SUM	Skader						
			Hengende	Topp-/kronebrekk	Undertrykt	Annet	Stående døde	Liggende døde		Kronetetthet <75 %	Misfarging >25 %	Dieback	Nye topp-/kronebrekk	Sår/kvæutflod	Tyritopp	Nye døde trær
BI	Gran	54		8	31	7	32	17	149	7		2	2			2
NE	Gran	49		9	23	7	27	4	119							
LD	Gran	58		5	21	7	5	6	102	6	3	11		1		1
HU	Gran	62			6		5	1	74	13	9	7		4		
VO	Gran	61	2	3	25	9	18	8	126	13		7				
OS	Gran	66	8		165	64	13	6	322	1				1		
OS	Furu	67			1		1		69	1	1					1
TU	Gran	67	1	3	16	2	25	7	121	23		49				
SUM		484	11	28	288	96	126	49	1082	64	13	76	2	6	1	3

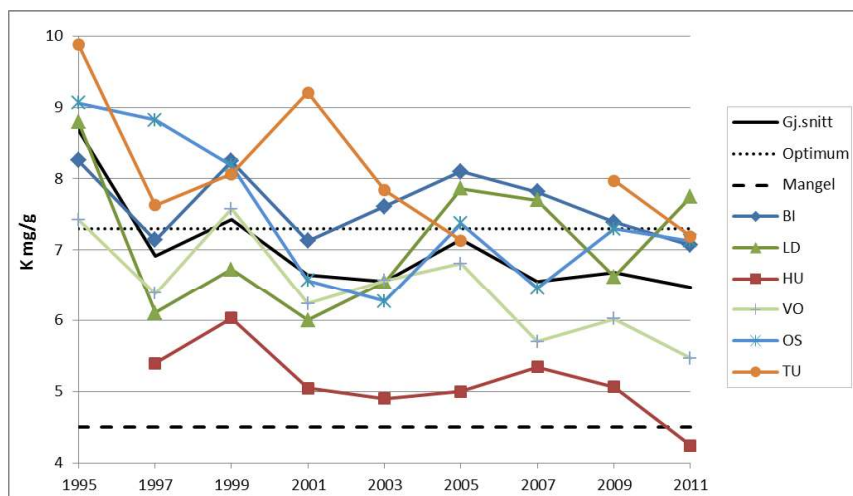
3.4 Nålekjemi

Kjemisk analyse av nåleprøver blir gjennomført annethvert år på nåleprøver fra fem trær pr. flate. Prøvetrærne som brukes til nåleinnsamling befinner seg i randsona rundt flatene, og har med ett unntak vært de samme siden 1995, da de ble valgt ut ved systematisk sampling. Prøvetrærne skulle ha sosial status dominant, kodominant eller subdominant (Krafts klasse 1-3), dvs. at de ikke skulle være undertrykte. Fra hvert prøvetre blir det tatt en prøvegrein fra den øvre del av krona, omtrent mellom den 7. og den 15. greinkrans fra toppen. Provetreinebene bør være upåvirket av nabotrær, slik at de får direkte lys og ikke er pisket, og tas fra ulike himmelretninger mellom trærne innen samme flate. Provetreinebene ristes fri for vann før de veies og måles i felt (lengde, diameter, antall nåleårganger m.m.). Deretter blir det tatt prøver av årets og fjorårets nåler. Omtrent like store mengder, sju til ti skudd, klippes av hver prøvegrein og hver nåleårgang, altså ti prøver totalt pr. flate. Metodikken er nærmere omtalt i ICP Forests manual (UNECE 2010). Nålenes farge (jf. metodeomtalen i avsnittet om trærnes kronetilstand) og evt. skader noteres i felt. Prøvene blir lufttørket enkeltvis i åpne papirposer og i løpet av få dager fraktet til Skog og landskaps laboratorium for tørking ved 70 grader, oppmaling og kjemisk analyse. Både makro- og mikronæringsstoffer samt andre

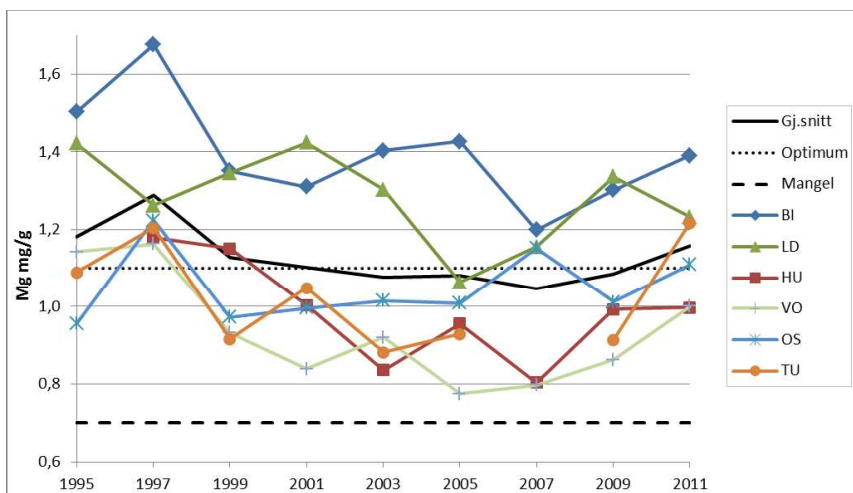
elementer måles med standard analysemetoder (FIA for Kjeldahl nitrogen og ICP-AES for alle andre elementer, se Ogner et al. 1999) i både årets og fjorårets nåler. I resultatdelen presenteres tall for makronæringsstoffer i årets nåler. Nåleprøvetaking i 2011 ble utført 28.8.-1.9. (HU, OS, TU) og 21.-23.10. (LD, BI, VO). På flata i Tustervatn, der prøvetrærne er lavere enn på de andre flatene (mellom 15,6 og 17,2 m i 2009), ble prøvegreinene klipt ned v.h.a. en teleskopstang fra bakken, mens prøvegreinene på de andre flatene ble hentet ned av en treklatrer. I Hurdal og Tustervatn ble det kun tatt prøver fra tre trær, i Birkenes fra fire. Det ble ikke tatt noen prøver fra Nedstrand i 2011. For fire år siden ble det ikke tatt nåleprøver i Tustervatn, slik at denne flata mangler data for 2007 i langtidsserien i Figur 8-13.



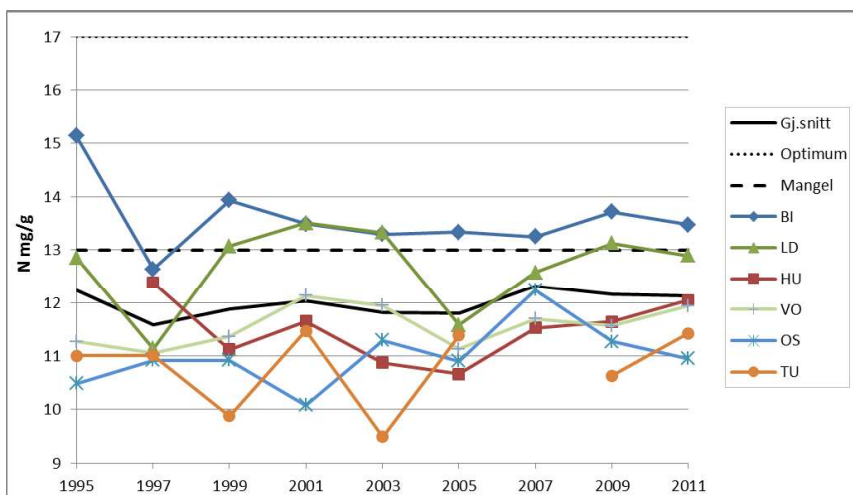
Figur 8. Endringer i kalsiumkonsentrasjon i barnåler (Ca mg/g tørrstoff) på flatene i Birkenes, Lardal, Hurdal, Voss, Osen og Tustervatn 1995-2011. Gj.snitt: Gjennomsnitt.



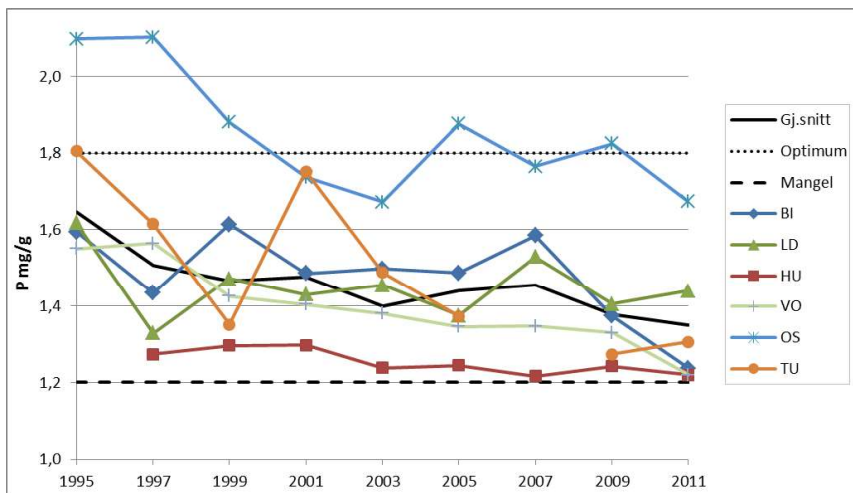
Figur 9. Endringer i kaliumkonsentrasjon i barnåler (K mg/g tørrstoff) på flatene i Birkenes, Lardal, Hurdal, Voss, Osen og Tustervatn 1995-2011. Gj.snitt: Gjennomsnitt.



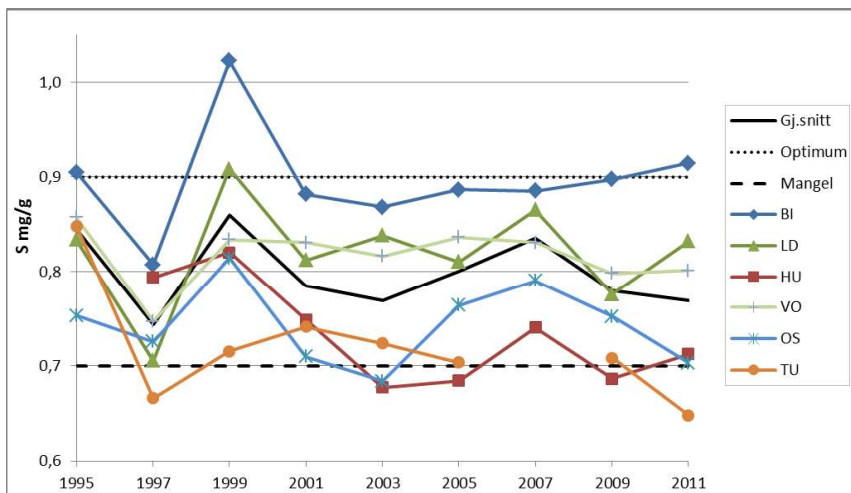
Figur 10. Endringer i magnesiumkonsentrasjon i barnåler (Mg mg/g tørrstoff) på flatene i Birkenes, Lardal, Hurdal, Voss, Osen og Tustervatn 1995-2011. Gj.snitt: Gjennomsnitt.



Figur 11. Endringer i nitrogenkonsentrasjon i barnåler (N mg/g tørrstoff) på flatene i Birkenes, Lardal, Hurdal, Voss, Osen og Tustervatn 1995-2011. Gj.snitt: Gjennomsnitt.



Figur 12. Endringer i fosforkonsentrasjon i barnåler (P mg/g tørrstoff) på flatene i Birkenes, Lardal, Hurdal, Voss, Osen og Tustervatn 1995-2011. Gj.snitt: Gjennomsnitt.



Figur 13. Endringer i svovelkonsentrasjon i barnåler (S mg/g tørrstoff) på flatene i Birkenes, Lardal, Hurdal, Voss, Osen og Tustervatn 1995-2011. Gj.snitt: Gjennomsnitt.

Næringsmangel i barnåler defineres her som elementinnhold i nåler som sammenlignet med normale forhold fører til dårligere vekst og, ved enda lavere konsentrasjoner, til synlige mangelsymptomer. Konsentrasjoner av makronæringsstoffer i området mellom mangel- og optimumsgrense anses for å være normale eller tilstrekkelige for gran, mens konsentrasjoner over optimumsgrensa ikke lenger fører til bedre vekst (UNECE 2000). Mangel- og optimumsgrenser i tabellene og figurene er beregnet etter Aamlid et al. (1991), Brække (1994), Hüttl (1991) og Stefan et al. (1997).

I 2011 hadde konsentrasjonen av makronæringsstoffene i årets barnåler med noen unntak forandret seg lite i forhold til 2009 (Tabell 8). Konsentrasjonen av næringsstoffer kan variere kraftig fra år til år (Figur 8-13). Temperatur og nedbør påvirker næringsstoffenes tilgjengelighet, og dette kan forklare noe av svingningene i næringsstoffenes konsentrasjon i barnålene mellom årene (Hüttl 1991).

Konsentrasjonen av kalsium (Ca), kalium (K) og magnesium (Mg) i barnålene lå i området for normal eller optimal næringskonsentrasjon på alle flater i 2011 (Tabell 8, Figur 8-10), med unntak av Hurdal, der konsentrasjonen av K lå under mangelgrensa. Kaliummangel kan føre til misfarging av nåler og – ved svært lave verdier – til nåletap (Aamlid et al. 1991). Konsentrasjonen av fosfor (P) var lav i Birkenes, Hurdal og Voss (Tabell 8, Figur 12).

Konsentrasjonen av nitrogen (N) i barnålene avtok med 0,2 mg/g tørrstoff i Birkenes og Lardal, og med 0,3 mg/g i Osen fra forrige nåleanalyse i 2009 (Tabell 8, Figur 11). I Hurdal og Voss økte N-konsentrasjonen med 0,4 mg/g, i Tustervatn med 0,8 mg/g. Flata på Sørlandet (Birkenes) hadde den høyeste konsentrasjonen av N i barnålene av alle flater, 13,7 mg/g, mens Osen og Tustervatn lengst nord hadde lavest innhold av N i nålene (hvh. 10,9 og 11,4 mg/g). Kun i Birkenes var N-innholdet i området for tilstrekkelig næringskonsentrasjon i 2011. På de andre flatene lå N-konsentrasjonen under mangelgrensa. N-mangel er imidlertid normal i boreale barskoger, hvor dette er det viktigste vekstbegrensende næringsstoffet (Binkley & Högborg 1997). Birkenes har hatt relativt stabile N-verdier i barnålene siden 1999.

Tabell 8. Konsentrasjoner av makronæringsstoffer i mg/g tørrstoff i årets barnåler 2011 (endringer fra 2009 i parentes). Gj.snitt: Gjennomsnittet for granflatene. Normal: Området mellom mangel- og optimumsgrense med normale/tilstrekkelige konsentrasjoner av makronæringsstoffer for gran.

Flate	Ca	K	Mg	N	P	S
BI	3,6 (0,5)	7,1 (-0,3)	1,4 (0,1)	13,5 (-0,2)	1,2 (-0,1)	0,91 (0,02)
LD	3,7 (-0,2)	7,7 (1,1)	1,2 (-0,1)	12,9 (-0,2)	1,4 (0)	0,83 (0,06)
HU	3,3 (0,2)	4,2 (-0,8)	1,0 (0)	12,0 (0,4)	1,2 (0)	0,71 (0,03)
VO	4,0 (0,4)	5,5 (-0,6)	1,0 (0,1)	11,9 (0,4)	1,2 (-0,1)	0,80 (0)
OS	4,5 (0,4)	7,1 (-0,2)	1,1 (0,1)	10,9 (-0,3)	1,7 (-0,2)	0,70 (-0,05)
TU	2,4 (0,4)	7,2 (-0,8)	1,2 (0,3)	11,4 (0,8)	1,3 (0)	0,65 (-0,06)
Gj.snitt	3,6 (0,3)	6,5 (-0,3)	1,2 (0,1)	12,1 (0,1)	1,3 (-0,1)	0,77 (0)
Normal	1,4 -3,2	4,5 -7,3	0,7 -1,1	13,0 -17,0	1,2 -1,8	0,70 -0,90

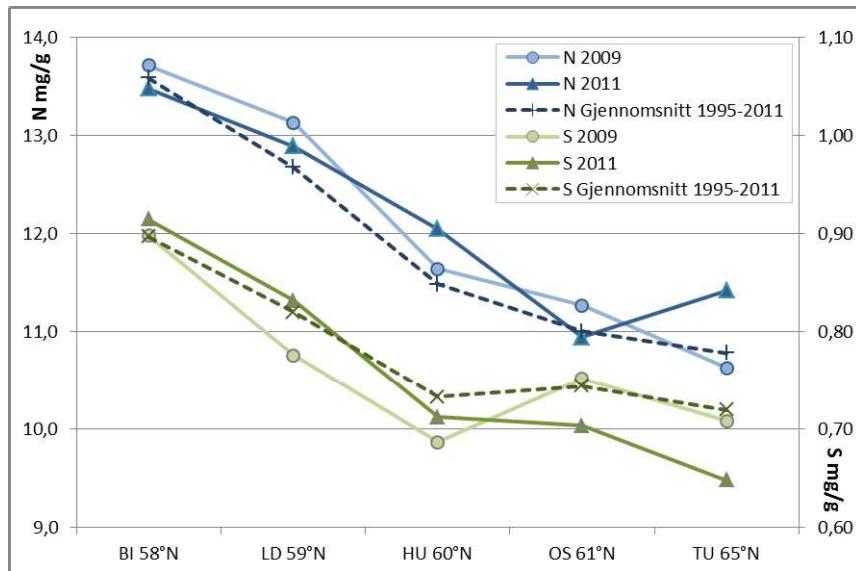
Tabell 9. Forholdet mellom N og de andre makronæringsstoffer, årets barnåler 2011. Gj.snitt: Gjennomsnittet for granflatene. Normal: Området der næringsstoffenes forhold til hverandre er "harmonisk", dvs. at de fins i tilstrekkelige konsentrasjoner i forhold til hverandre.

Flate	N/Ca	N/K	N/Mg	N/P	N/S
BI	3,7	1,9	9,7	10,9	14,7
LD	3,5	1,7	10,5	9,0	15,5
HU	3,6	2,8	12,1	9,9	16,9
VO	3,0	2,2	11,9	9,8	14,9
OS	2,4	1,5	9,9	6,5	15,6
TU	4,8	1,6	9,4	8,7	17,6
Gj.snitt	3,5	2,0	10,6	9,1	15,9
Normal	2-16	1-4	8-29	7-14	11-21

Flata på Sørlandet (Birkenes), som er mest utsatt for langtransporterte forurensinger, hadde, som i tidligere år, de høyeste svovel (S) -verdier i barnålene av alle overvåkingsflater i 2011, og Birkenes var også den eneste flata som hadde verdier over optimumsgrensa for S (Tabell 8, Figur 13). Konsentrasjonen av S i barnålene i Birkenes har siden 2001 hatt en økende tendens, til tross for en reduksjon i svoveldeposisjonen gjennom nedbøren. Innholdet av S i barnålene økte på de tre sørlige flatene fra 2009 til 2011 (Birkenes, Lardal, Hurdal), mens det avtok på de nordlige flatene i Osen og Tustervatn. I Tustervatn lå konsentrasjonen av S under mangelgrensa, og i Hurdal og Osen så vidt over denne.

Næringsstoffenes konsentrasjon i forhold til hverandre er også viktig for optimale vekstforhold. Hvis et næringsstoff fins i for høy eller for lav konsentrasjon i forhold til et annet, kan dette føre til næringsubalanse og over tid til næringsmangel (Kjønaas & Stuanes 2008), og dermed til redusert tilvekst. Tabell 9 viser forholdet mellom konsentrasjonen av nitrogen og andre viktige elementer i barnålene, der tall lavere enn normalen indikerer for lite N i forhold til de andre næringsstoffene, mens tall høyere enn normalen indikerer for lite Ca, K, Mg, P eller S i forhold til N. Selv om barnålenes P-konsentrasjoner var lave på noen av flatene, var de likevel på et tilstrekkelig nivå i forhold til de lave N-konsentrasjonene, med unntak av Osen. Denne flata, som har hatt de høyeste konsentrasjonene av Ca og P av alle flater i nesten alle år siden 1995 (Figur 8 og 12), hadde imidlertid lave verdier for forholdet mellom N og P og til en viss grad også mellom N og Ca, noe som indikerer at det er for lite nitrogen på denne flata i forhold til disse næringsstoffene. De andre makronæringsstoffene fantes i tilstrekkelige konsentrasjoner i forhold til N på alle flater.

Figur 14 viser nord-sør gradienten for nitrogen- og svovelinhold i barnåler fra Birkenes i sør (58°23'N) via Lardal (59°26'N), Hurdal (60°22'N) og Osen (61°16'N) til Tustervatn i nord (65°53'N). Det fremgår tydelig at konsentrasjonen av både N og S avtar nordover med økende breddegrad.



Figur 14. Nord-sør gradienten fra Birkenes i sør via Lardal, Hurdal og Osen til Tustervatn i nord for nitrogen- (øverst) og svovelinnhold (nederst) i barnåler. Data fra 2009 og 2011 og gjennomsnittet for hele perioden (1995-2011) for hver av de fem flatene.

LITTERATUR

- Andreassen, K., Timmermann, V., Clarke, N., Røseberg, I., Solheim, H. & Aas, W. 2010. Overvåkingsprogram for skogskader. Årsrapport 2009. *Norwegian monitoring programme for forest damage. Annual report 2009*. Forskning fra Skog og landskap. 3/10:1-20.
- Binkley, D. & Högberg, P. 1997. Does atmospheric deposition of nitrogen threaten Swedish forests? *For. Ecol. Manage.* 92: 119-152.
- Brække, F.H. 1994. Diagnostiske grenseverdier for næringselementer i gran- og furunåler. *Aktuelt fra skogforskningen* 15/94: 1-11.
- De Wit, H.A. 2000. Solubility controls and phyto-toxicity of aluminium in a mature Norway spruce forest. *Doctor Scientiarum Theses* 2000: 14. Norges landbrukshøgskole, Ås, Norge.
- EC (European Commission) 1996. European programme for the intensive monitoring of forest ecosystems. Protection of forests against atmospheric pollution. Regulation (EC) 3528/86 and its amendments. 40 pp. + annexes.
- Eldhuset, T.D. 1988. Virkninger av aluminium på høyere planter ved lav pH: En litteraturoversikt. *Medd. Norsk Inst. Skogforsk.* 40(8): 1-19.
- Fischer, R., Lorenz, M., Granke, O., Mues, V., Iost, S., Van Dobben, H., Reinds, G.J & De Vries, W. 2010: Forest Condition in Europe, 2010 Technical Report of ICP Forests. Work Report of the Institute for World Forestry 2010/1. ICP Forests, Hamburg, 2010, 175pp.
- Horntvedt, R., Aamlid, D., Rørå, A. & Joranger, E. 1992. Monitoring programme for forest damage. An overview of the Norwegian programme. *Norwegian Journal of Agricultural Sciences* 6: 1-17.
- Hüttel, R.F. 1991. Die Blattanalyse als Monitoring-Instrument im Waldökosystem. *In: Proceedings from IUFRO and ICP-Forests Workshop on monitoring, Prachatice, CSFR.* 139-147.

- Kjønaas, O.J. & Stuanes, A.O. 2008. Effects of experimentally altered N input on foliage, litter production and increment in a Norway spruce stand, Gårdsjön, Sweden over a 12-year period. *International Journal of Environmental Studies* 65: 433-465.
- Kvaalen, H., Solberg, S., Clarke, N., Torp, T. & Aamlid, D. 2002. Time series study of concentrations of SO_4^{2-} and H^+ in precipitation and soil waters in Norway. *Environmental Pollution* 117: 215–224.
- Lorenz, M. 1995. International co-operative programme on assessment and monitoring of air pollution effects on forests - ICP forests. *Water Air and Soil Pollution* 85(3): 1221-1226.
- Lorenz, M., Fischer, R., Becher, G., Granke, O., Seidling, W., Ferretti, M., Schaub, M., Calatayud, V., Bacaro, G., Gerosa, G., Rocchini, D. & Sanz, M., 2009: Forest Condition in Europe. 2009 Technical Report of ICP Forests. Work report of the Institute for World Forestry 2009/1, Hamburg, 111 pp+Annexes.
- Ogner, G., Wickstrøm, T., Remedios, G., Gjelsvik, S., Hensel, G.R., Jacobsen, J.A., Olsen, M., Skretting, E. & Sørli, B. 1999. The chemical analysis program of the Norwegian Forest Research Institute 2000. Norwegian Forest Research Institute. Chemical Laboratories, Ås. ISBN 82-7169-917-2. 23 pp.
- OPS 1989 Overvåkingsprogram for skogskader. Årsrapport 1988. Norsk Institutt for Skogforskning. Ås, Norway. 52 pp.
- Schütt, P. & Cowling, E.B. 1985. Waldsterben, a general decline of forests in Central Europe: Symptoms, development and possible causes. *Plant Disease* 69: 548-558.
- Solberg, S., Breivik, K., Clarke, N., Groeggen, T., Røsberg, I., Tørseth, K., Aamlid, D. & Aas, W. 1999. Intensive skogovervåkingsflater. Resultater fra 1998. *Aktuelt fra skogforskningen* 5/99:1-24.
- Solberg, S. 2004. Summer drought, - a driver for crown condition and mortality of Norway spruce in Norway. *Forest Pathology* 34:93–104.
- Stefan, K. A. Fürst, Hacker, R. & Bartels, U. 1997. Forest Foliar Condition in Europe. Results of large-scale foliar chemistry surveys (survey 1995 and data from previous years). EC-UN/ECE, 1997, Brussels, Geneva, 207 pp.
- Timmermann, V. Andreassen, K. & Hysten, G. 2012. Helsetilstanden i norske skoger. Resultater fra den landsrepresentative skogovervåkingen i 2011. *The condition of Norwegian forests. Results from national survey in 2011*. Rapport fra Skog og landskap 11/2012: 27 s. + vedlegg
- UNECE (United Nations Economic Commission for Europe) 2010. Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests. Revised 2010. UNECE ICP Forests Programme Co-ordinating Center, Hamburg. ISBN: 978-3-926301-03-1. [<http://www.icp-forests.org/Manual.htm>]
- UNECE (United Nations Economic Commission for Europe) 2000. Intensive Monitoring of Forest Ecosystems in Europe, 2000 Technical Report. EC, UN/ECE 2000, Brussels, Geneva, 191 pp.
- Aamlid, D., Solheim, H. & Venn, K. 1991. Skogskader. Veiledning i overvåking av skogskader. Norsk institutt for skogforskning, Ås. 53 s. ISBN 82-7169-505-3.
- Aas, W., Solberg, S., Manø, S. & Yttri, K.E. 2011. Overvåking av langtransportert forurenset luft og nedbør. Atmosfærisk tilførsel 2010. Norsk institutt for luftforskning. ISBN 978-82-425-2223-8. Statlig program for forurensningsovervåking. Rapport 1074/2010. TA-2664/2010.187s.