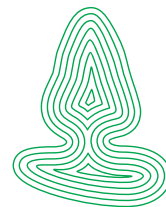


Rapport  
fra Skog og landskap

08/2010



skog+  
landskap

NORSK INSTITUTT FOR  
SKOG OG LANDSKAP

---

## INTENSIV SKOGOVERVÅKING I 2009

Resultater fra ICP Forests Level 2 flater i Norge  
*Intensive forest monitoring in 2009. Results from  
ICP Forests Level 2 plots in Norway*

---

Kjell Andreassen, Nicholas Clarke, Ingvald Røsberg,  
Volkmar Timmermann



---

**INTENSIV SKOGOVERVÅKING I 2009.**  
**Resultater fra ICP Forests Level 2 flater i Norge.**  
Intensive forest monitoring in 2009. Results from ICP Forests  
Level 2 plots in Norway

---

Kjell Andreassen, Nicholas Clarke, Ingvald Røsberg, Volkmar Timmermann

ISBN 978-82-311-0115-4

ISSN 1891-7933

Omslagsfoto:

Klatring til toppen av treet for å samle inn grenprøver for kjemisk analyse av grannåler. Fra Lardal. Foto Volkmar Timmermann.

---

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

---

## SAMMENDRAG

I 2009 inngikk åtte 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 37 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 2009 presenteres i denne rapporten.

Vi finner fortsatt de høyeste avsetningene av syre, svovel- og uorganiske nitrogenforbindelser i frittfallende nedbør og i kronedrypp lengst sør i landet. Konsentrasjonen av svovel- og nitrogenforbindelser i nedbør har avtatt i Norge de siste 20 årene, og dette samsvarer med reduksjonen av utslipp i Europa. Reduksjonen av uorganiske nitrogenforbindelser i nedbør ser imidlertid ut til å ha stoppet opp de aller siste årene.

Utbredelsen av smyle har økt i mengde etter 1999 på flata i Osen der det ble gjennomført vegetasjonsanalyse i 2009. Samme flata har også fått en kraftig reduksjon i dekningsgraden av blåbærlyng fra 40 til 11 %, sammen med en økning i uorganisk nitrogendeposisjon de to siste årene. De to andre flatene som ble analysert i 2009 var det lite endringer.

Gjennomsnittlig kronetetthet for gran økte med 3 % til 84 % fra 2008 til 2009. Dette er en økning fra ca 80 % de fem foregående år. Trenden med økt misfarging hos gran fortsatte imidlertid på noen flater, og andelen trær med misfarget krone økte fra 6 % i 2008 til 15 % i 2009.

I Norge har vi ikke beviser for 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 sjøsalttilførsel 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.

## SUMMARY

In 2009, intensive forest monitoring was carried out on eight 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 37 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 2009 are presented in this report.

We still observe the highest deposition of strong acids, sulphur and inorganic nitrogen in southern Norway. The average concentrations of sulphur and 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 inorganic nitrogen compounds in precipitation seems to have stopped during the last few years.

The coverage of wavy hair-grass (*Avenella flexuosa*) has increased from 1999 on one of the three plots with vegetation monitoring. For the same plot, a significant decline in bilberry (*Vaccinium myrtillus*) coverage from 40 to 11 % is observed. On the same plot, a considerable increase in inorganic nitrogen deposition has been observed during the last two years. For the other two plots with vegetation monitoring, only small changes were observed.

Mean crown density for Norway spruce increased with almost 3% to 84 % compared to about 80 % observed in the last five years. However, the trend with increased discolouration of spruce crowns continued and in 2009 the number of discoloured trees increased from 6 % in 2008 to 15 % in 2009.

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 salts 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.

**Nøkkelord:** Skogskader, overvåking, luftforurensninger, nedbør, jordvann, vegetasjon, kronetilstand, nålekjemi, tilvekst.

**Key word:** Forest damage, monitoring, precipitation, soil water, vegetation, crown condition, foliar chemistry, forest growth.

# INNHOOLD

1.	Innledning .....	1
2.	Oversikt over flatene og måleprogrammet .....	2
3.	Nedbør og kronedrypp .....	3
4.	Jordvann .....	8
5.	Vegetasjon .....	10
6.	Trærnes kronetilstand .....	14
6.1	Kronetetthet .....	14
6.2	Kronefarge .....	17
6.3	Skader og avdøying .....	18
7.	Nålekjemi .....	18
8.	Tilvekst .....	23
9.	Litteratur .....	26

# 1. INNLEDNING

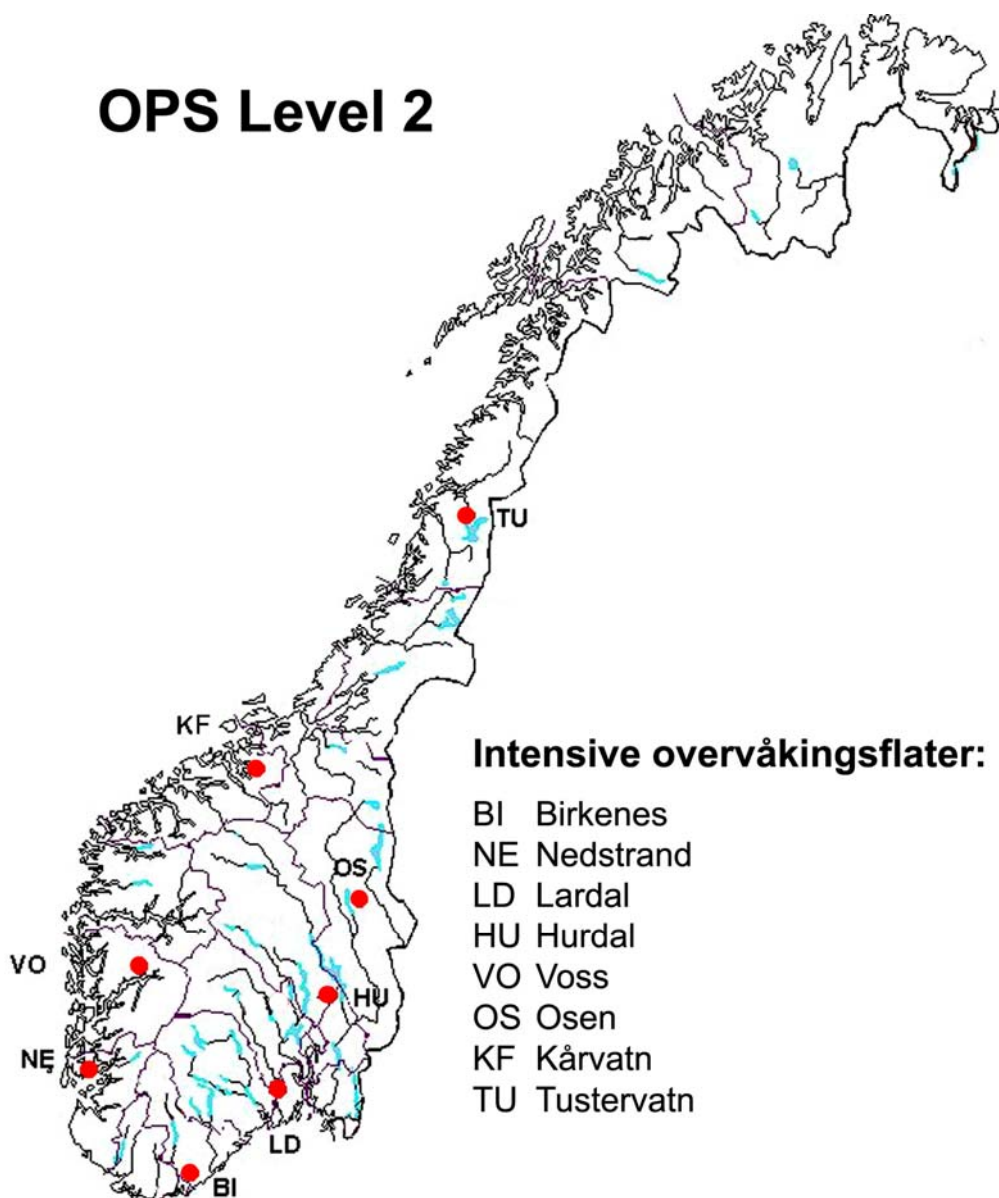
Intensiv overvåking av skog blir utført på åtte flater i Norge og disse målingene inngår i Overvåkingsprogram for skogskader (OPS). Dette programmet ble opprettet i 1984/85 (Hornthvedt et al. 1992). Målsettingen for OPS er å beskrive skadeomfanget på norsk skog, vise utviklingstendenser over tid, og 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 (Lorenz et al. 2009, Lorenz 1995, EC 1996). I Europa deltar 37 land i dette arbeidet med ca 800 intensivt overvåkede flater (Lorenz et al. 2009). 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. 2010). To av Level II-flatene (Birkenes og Kårvatn) inngår også i Integrated Monitoring-overvåkingen (ICP Integrated Monitoring of Air Pollution Effects on Ecosystems - IM). Både ICP Forests og ICP IM er underlagt FN-konvensjonen om langtransporterte grenseoverskridende luftforurensninger (LRTAP).

I denne rapporten presenterer vi resultater fra registreringene på de intensive flatene i 2009 og oppsummere utviklingen fra 1986 til 2009.

## OPS Level 2



Figur 1. Intensivt overvåkede flater i Norge (Level II).

## 2. OVERSIKT OVER FLATENE OG MÅLEPROGRAMMET

I Sør-Norge er det seks intensive skogovervåkingsflater, mens én ligger på Nordvestlandet ved Kårvatn og én i Nord-Norge ved Tustervatn (Figur 1). Tabell 1 gir en oversikt over noen karaktertrekk ved 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*). Kårvatn er imidlertid i ren furuskog. Innblanding av furu (*Pinus sylvestris*) forekommer på mange av de øvrige flatene, og er størst på Osen. I figurer og tabeller er flatene sortert fra sør til nord, noe som omtrentlig gjenspeiler tilførselsmønstre for langtransporterte luftforurensninger.

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	Bærlyngskog	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
VO	Voss	gran	9,6	153	naturlig	Blåbærskog	morene
OS	Osen	gran+furu	12,4	151	naturlig	Bærlyngskog	morene
KF	Kårvatn-furu	furu	8,1	134	naturlig	Røsslyng-skinstryteskog	morene
TU	Tustervatn	gran	5,6	156	naturlig	Småbregneskog	morene

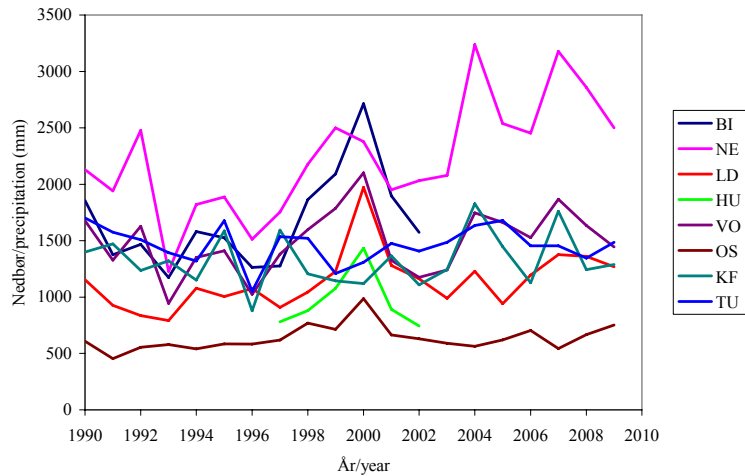
Med unntak for luftmålinger, har alle flatene identisk måleprogram, og det har stort sett vært uforandret siden oppstarten. Et annet unntak er jordvannsinnsamlingen som på de fleste flatene kom i gang noen år etter opprettelse. De siste årene er imidlertid intensiteten i målingene redusert, noe som kan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

### 3. NEDBØR OG KRONEDRYPP

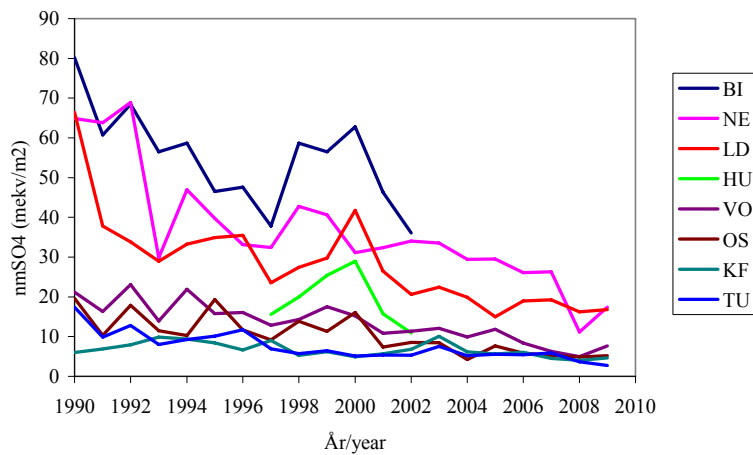
Som i tidligere år er nedbør og kronedrypp samlet inn annenhver uke om vinteren og hver uke om sommeren. Med nedbør menes her frittfallende nedbør innsamlet på ei åpen flate nær skogen, mens kronedrypp er nedbør samlet inn i skogen omtrent 50 cm over bakken. I 2009 ble de ukentlige prøvene slått sammen til en fellesprøve for hver 4 ukers periode. Prøvene som samles inn oppbevares i kjølerom for å unngå reaksjoner som kan forringe kvaliteten på vannet. Analysemetodene var som i tidligere år (Ogner et al. 1999).

Volumveide årsmiddelkonsentrasjoner er beregnet for noen elementer og forbindelser, mens pH er beregnet ut fra volumveide årsmiddelverdier av  $H^+$ -aktivitet (Figur 2). Ved konsentrasjoner under analysemetodens deteksjonsgrense, er verdien satt lik halve deteksjonsgrensen. Sulfat fra menneskeskapte utslipp er beregnet ut fra sjøsaltkorrigerede konsentrasjoner av sulfat-S (ikke marint,  $nmSO_4-S$ ) etter formelen:  $nmSO_4-S = SO_4-S - (0,054 * Cl)$ . Beregnet deposisjon (årlige mengder per kvadratmeter, dvs. konsentrasjon ganget med vannmengde) er vist i Figur 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 nedbør og kronedrypp.

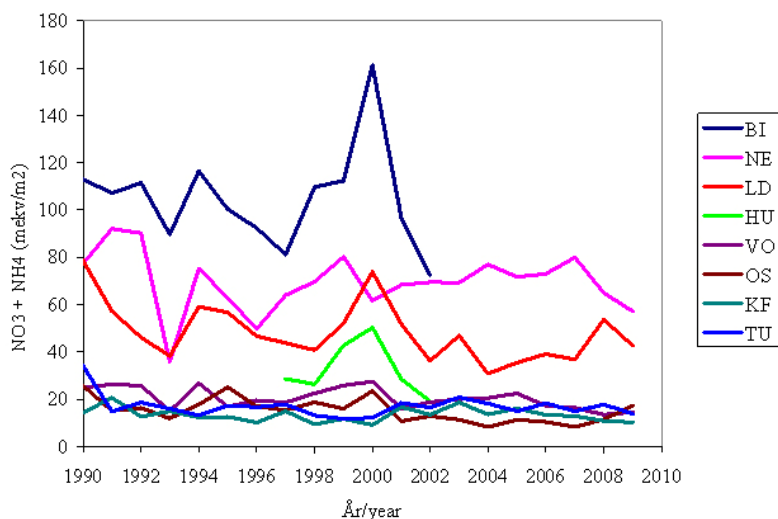




Figur 2a. Nedbør.

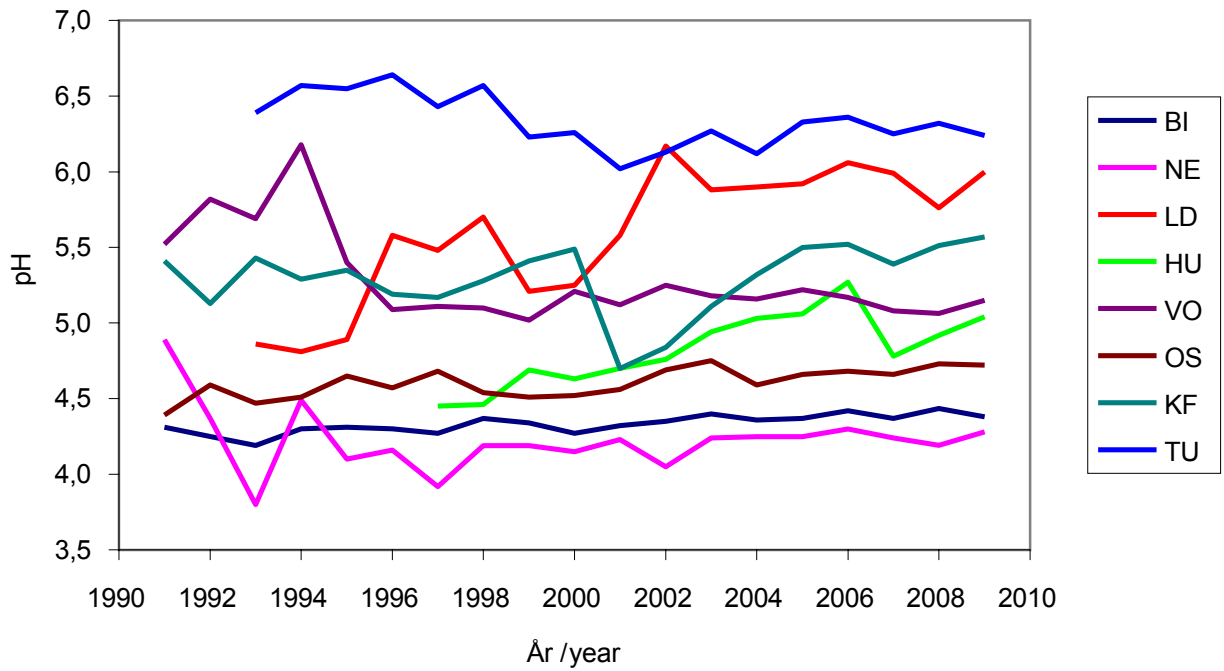


Figur 2b. Ikke-marint.

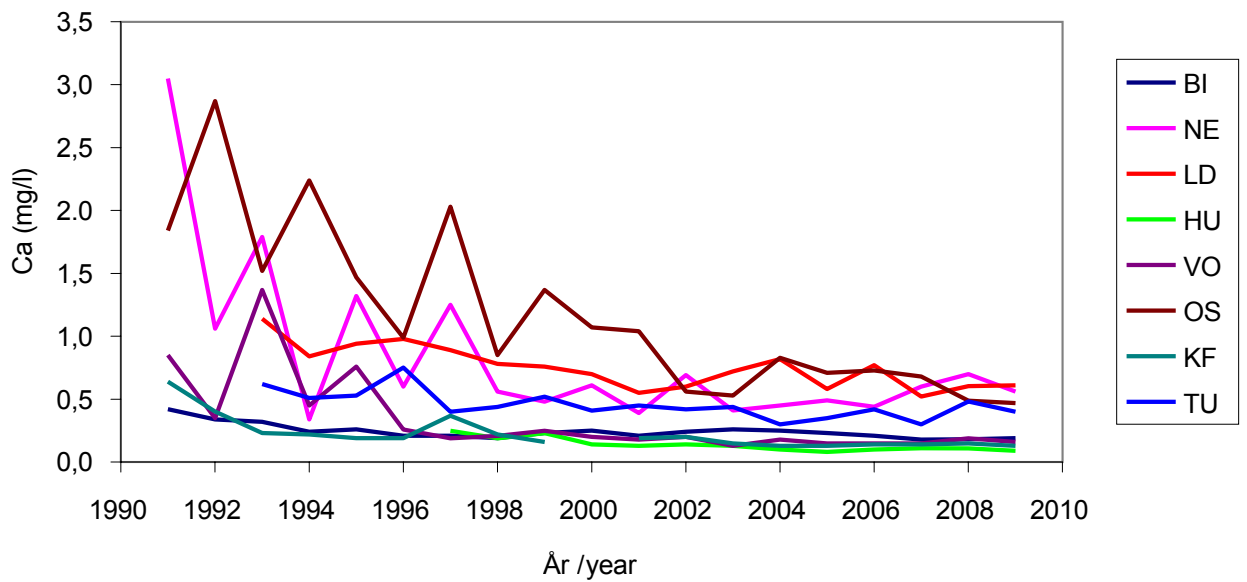


Figur 2c. Langtidstrender i nedbørsmengde, ikke-marint  $\text{SO}_4^{2-}$  og  $(\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+)$  i frittfallende nedbør.

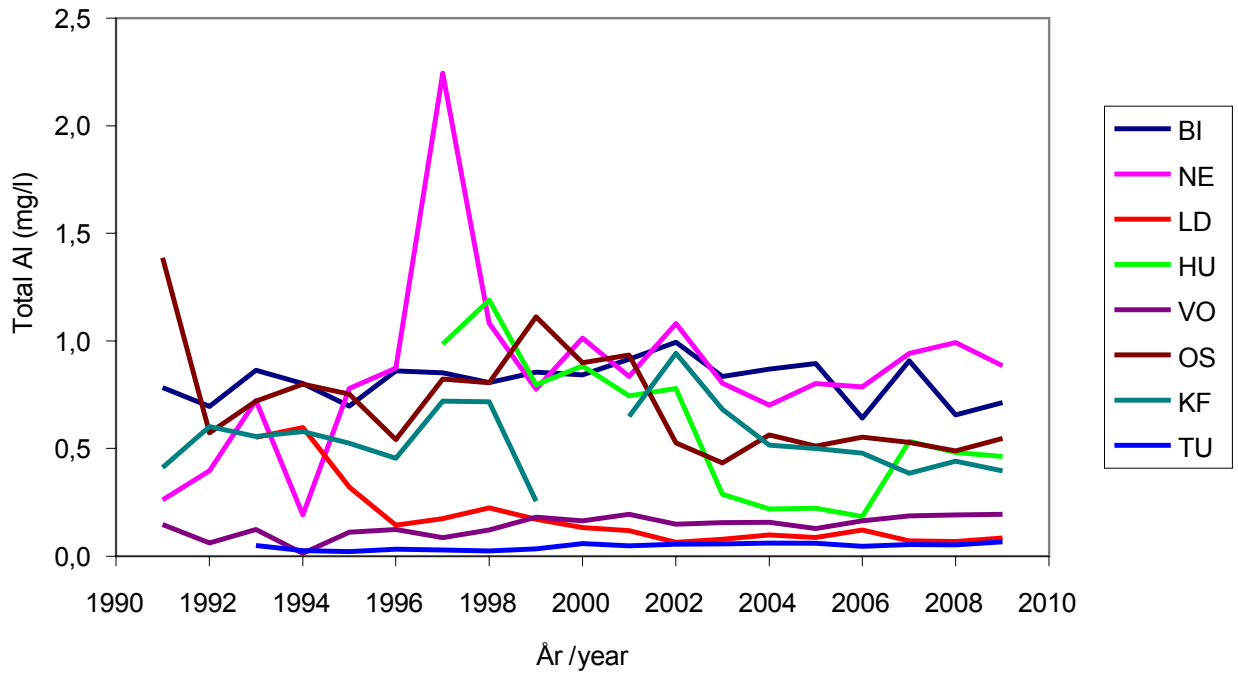
Som i tidligere år, var pH i både frittfallende nedbør og kronedrypp generelt litt lavere sør i landet enn i nord, men forskjellen var liten. Konsentrasjoner og deposisjon av uorganiske nitrogenforbindelser og antropogent sulfat var generelt høyest sør i landet.



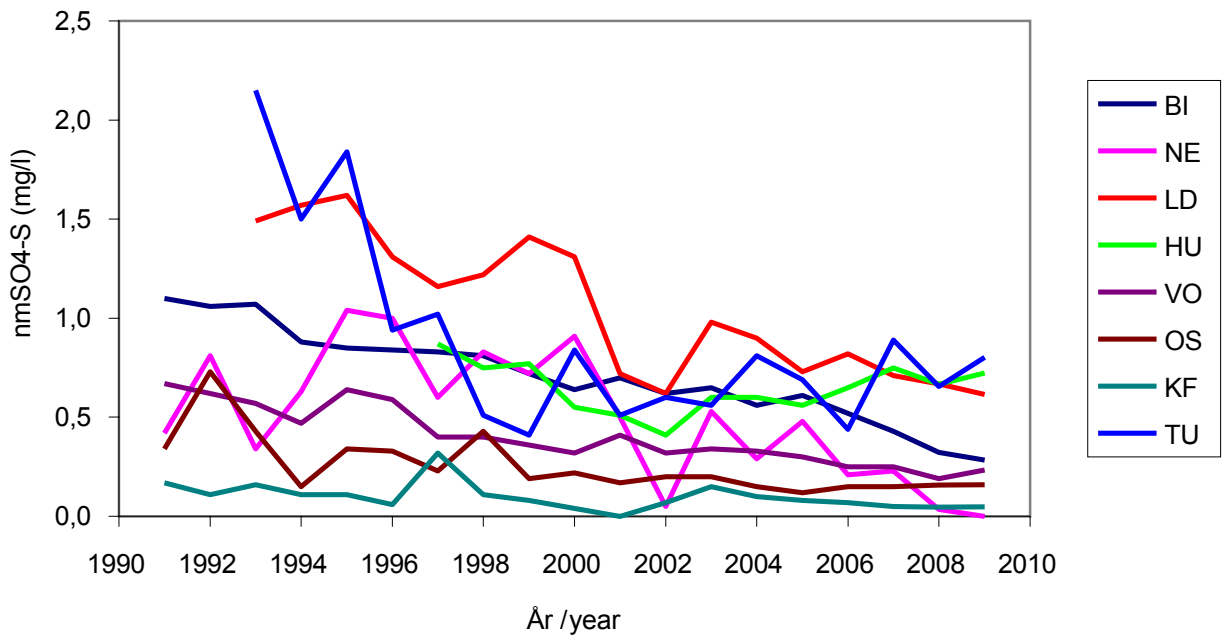
Figur 3a. Langtidstrender i pH, Ca, total Al og ikke-marint  $SO_4$ -S i jordvann fra 15 cm-sjiktet.



Figur 3b. Ca.



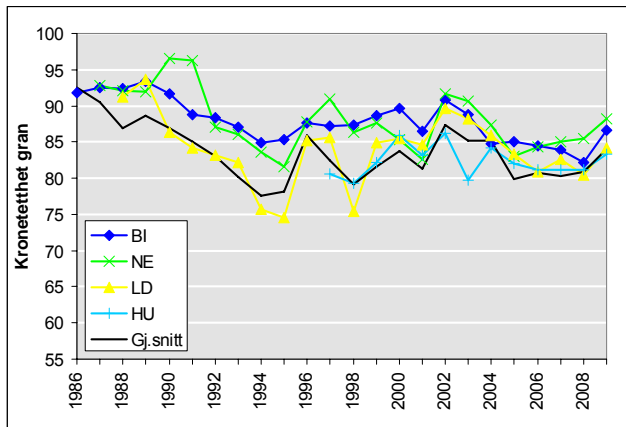
Figur 3c. Al.



Figur 3d. Ikke-marint SO<sub>4</sub>-S.

Figur 3 viser langtidstrender i deposisjon av ikke-marint SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> og (NO<sub>3</sub><sup>-</sup> + NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) av frittfallende nedbør på alle feltene. Årlige fluktuasjoner i deposisjon beror i stor grad på variasjoner i nedbørsmengde (Fig.

2a), men det finnes også langtidstrender for  $\text{SO}_4^{2-}$  og  $(\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+)$  (Fig 3 og 4). Den svake trenden med redusert deposisjon av antropogent sulfat fortsetter (Fig 3), mens det nå er ingen tydelig nedgang i deposisjon av uorganisk nitrogen (Fig 4).



Figur 4. Langtidstrender i pH, Ca, total Al og ikke-maritimt  $\text{SO}_4\text{-S}$  i jordvann fra 15 cm-sjiktet.

Tabell 2. Volumveide årsmiddelkonsentrasjoner (mg/l) i nedbør og kronedrypp i 2009, der mm = nedbørsmengde, Led = ledningsevne ( $\mu\text{S/cm}$ ), Tot-N = total N, DOC = løst organisk karbon, nm = ikke marint.

Felt	mm	Led	pH	Ca	K	Mg	Na	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>			SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>		Cl	DOC
								NH <sub>4</sub> -N	N	Tot-N	S	nmSO <sub>4</sub> <sup>-</sup>		
<i>Frittfallende nedbør</i>														
NE	2500	24	5,1	0,14	0,10	0,25	2,56	0,15	0,17	0,39	0,37	0,11	4,8	1,0
LD	1269	13	4,9	0,08	0,09	0,03	0,39	0,20	0,27	0,56	0,25	0,21	0,6	0,8
VO	1445	8	5,3	0,07	0,05	0,02	0,51	0,07	0,07	0,20	0,13	0,08	0,8	0,7
OS	753	9	5,2	0,06	0,11	0,01	0,16	0,16	0,16	0,46	0,12	0,11	0,2	1,2
KF	1289	10	5,3	0,08	0,08	0,04	0,72	0,07	0,04	0,22	0,13	0,06	1,3	1,9
TU	1485	11	5,3	0,08	0,08	0,08	1,07	0,08	0,05	0,19	0,13	0,03	1,8	1,0
<i>Kronedrypp</i>														
BI	1716	28	5,0	0,30	1,08	0,22	1,90	0,23	0,27	0,72	0,48	0,29	3,5	6,7
NE	1639	79	5,1	0,54	1,52	1,00	8,96	0,30	0,40	1,06	1,02	0,08	17,4	5,6
LD	1070	17	5,0	0,17	1,09	0,07	0,53	0,12	0,18	0,47	0,27	0,22	0,9	6,7
HU	646	17	5,1	0,15	1,12	0,04	0,47	0,16	0,14	0,55	0,22	0,17	0,8	7,8
VO	1184	13	5,3	0,11	0,58	0,05	0,86	0,09	0,07	0,27	0,14	0,07	1,4	4,6
OS	601	13	5,1	0,12	1,03	0,04	0,27	0,03	0,07	0,26	0,10	0,08	0,4	8,9
KF	1170	12	5,3	0,09	0,28	0,04	0,77	0,09	0,04	0,21	0,11	0,04	1,3	3,4
TU	1183	29	5,1	0,24	1,09	0,27	3,14	0,05	0,04	0,21	0,27	0,00	5,5	9,1

Tabell 3. Deposisjon (mg/m<sup>2</sup>) i 2009. Tot-N = total N, nm = ikke-marint, DOC = løst organisk karbon

Felt	H	Ca	K	Mg	Na	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	Tot-N	SO <sub>4</sub> -S	nmSO <sub>4</sub> -S	Cl	DOC
<i>Frittfallende nedbør</i>												
NE	0,022	350	255	612	6409	375	425	975	925	279	11873	2500
LD	0,017	102	117	38	495	254	343	711	317	269	787	1015
VO	0,007	101	78	30	740	101	101	289	188	123	1142	1012
OS	0,005	45	83	5	117	120	120	346	90	84	173	903
KF	0,006	103	102	57	924	90	52	284	168	75	1611	2449
TU	0,007	119	122	111	1581	119	74	282	193	44	2657	1485
<i>Kronedrypp</i>												
BI	0,019	515	1854	372	3253	395	463	1236	824	506	5956	11500
NE	0,012	885	2495	1646	14684	492	656	1738	1672	132	28457	9180
LD	0,010	182	1167	71	572	128	193	503	289	233	995	7172
HU	0,005	97	723	28	305	103	90	355	142	112	542	5037
VO	0,006	130	690	63	1015	107	83	320	166	80	1610	5447
OS	0,005	72	619	22	161	18	42	156	60	48	265	5352
KF	0,006	105	332	48	903	105	47	246	129	45	1544	3978
TU	0,009	284	1291	318	3718	59	47	248	319	0	6504	10761

## 4. JORDVANN

Jordvannprøver fra lysimeteranlegg er innsamlet på samme måte som i tidligere år og er beskrevet av Kvaalen et al 2002. Lysimetrene er plassert slik at de suger vann fra omkring den nedre grensen av humussjiktet (5 cm jorddybde), og både fra 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 like over og like under de aktuelle dybden. Overvåkingsflaten på Birkenes har tensjonsplatelysometre i 15 cm-sjiktet. Platelysometrene suger vann bare fra området over lysimeteret. I 2009 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 henhold til Ogner et al. (1999).

Tabell 4. Volumveide middelkonsentrasjoner (mg/l) i jordvann i 2009, der Led = ledningsevne ( $\mu\text{S/cm}$ ), Tot = total, Lab = labil, nm = ikke marint, DOC = løst organisk karbon, \* = platelysimeter, M = manglende verdi.

Felt	Sjikt	Led	Tot-		Lab-		Ca	Fe	K	Mg	Mn	Na	NH <sub>4</sub> -	NO <sub>3</sub> -	Tot-	SO <sub>4</sub> -	nmS	
			N	N	N	S							O <sub>4</sub> -S	Cl	DOC			
BI	15*	29	4,4	0,71	0,30	0,19	0,13	0,02	0,09	0,001	2,10	0,03	0,03	0,29	0,41	0,28	2,3	17,7
BI	40	34	4,7	0,59	0,50	0,17	0,04	0,02	0,17	0,002	3,72	0,03	0,03	0,13	1,29	1,02	5,0	4,5
NE	5	55	4,4	0,98	0,13	0,90	0,20	0,11	0,52	0,006	7,14	0,13	0,03	0,49	0,57	0,00	13,4	15,2
NE	15	96	4,3	0,89	0,48	0,56	0,14	0,38	0,87	0,027	11,10	0,09	0,03	0,42	1,00	0,00	23,8	16,0
NE	40	83	4,8	0,57	0,55	0,15	0,01	0,47	0,90	0,071	11,03	0,03	0,03	0,09	1,67	0,52	21,4	1,4
LD	5	17	5,2	0,34	0,03	0,26	0,18	0,14	0,15	0,015	1,75	0,12	0,03	0,43	0,53	0,44	1,6	6,4
LD	15	19	6,0	0,09	0,02	0,61	0,03	0,05	0,24	0,023	1,84	0,13	0,03	0,29	0,71	0,62	1,7	4,1
LD	40	20	6,3	0,03	0,02	0,98	0,01	0,02	0,29	0,009	1,71	0,04	0,03	0,12	1,05	0,97	1,6	1,9
HU	5	26	4,4	0,51	0,17	0,15	0,08	0,12	0,03	0,014	1,30	0,04	0,03	0,34	0,41	0,38	0,5	20,4
HU	15	15	5,0	0,46	0,35	0,09	0,06	0,03	0,04	0,006	1,65	0,03	0,03	0,16	0,77	0,72	1,0	5,2
HU	40	12	5,3	0,15	0,14	0,11	0,02	0,06	0,02	0,018	1,23	0,03	0,03	0,08	0,78	0,75	0,6	0,9
VO	5	17	4,9	0,37	0,18	0,11	0,04	0,01	0,15	0,037	1,51	0,06	0,03	0,24	0,38	0,29	1,7	7,8
VO	15	15	5,2	0,20	0,10	0,16	0,02	0,01	0,17	0,084	1,44	0,05	0,03	0,17	0,35	0,23	2,2	4,1
VO	40	13	5,4	0,22	0,15	0,21	0,03	0,01	0,16	0,111	1,47	0,04	0,03	0,12	0,40	0,29	2,0	3,3
OS	5	28	4,4	0,90	0,39	0,62	0,80	0,51	0,31	0,090	0,83	0,04	0,03	0,58	0,15	0,13	0,5	32,1
OS	15	18	4,7	0,55	0,21	0,47	0,49	0,23	0,30	0,013	0,89	0,04	0,03	0,39	0,18	0,16	0,3	21,2
OS	40	10	5,2	0,33	0,21	0,17	0,03	0,40	0,10	0,004	0,59	0,02	0,03	0,17	0,42	0,41	0,2	6,4
KF	5	25	4,7	0,58	0,22	0,19	0,61	0,24	0,14	0,003	2,25	0,08	0,03	0,35	0,06	0,00	2,2	18,9
KF	15	16	5,6	0,40	0,22	0,13	0,17	0,10	0,16	0,001	2,22	0,05	0,03	0,18	0,18	0,05	2,5	7,7
KF	40	14	5,5	0,45	0,25	0,12	0,26	0,16	0,15	0,001	1,99	0,05	0,03	0,20	0,20	0,08	2,2	8,0
TU	5	16	6,1	0,16	0,06	0,24	0,02	0,25	0,17	0,001	2,09	0,06	0,03	0,21	0,34	0,24	1,9	4,1
TU	15	29	6,2	0,07	0,05	0,40	0,00	0,28	0,36	0,001	4,11	0,02	0,03	0,08	1,02	0,80	3,9	2,2
TU	40	29	6,3	0,02	0,02	0,31	0,00	0,33	0,32	0,001	4,21	0,02	0,03	0,04	1,40	1,21	3,5	1,3

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

Som for nedbør, var pH i jordvann generelt lavest på flatene i Sør-Norge. Konsentrasjonene av antropogent sulfat var høyest ved Tustervatn i Nordland. Gjennomsnittskonsentrasjoner av nitrat var lave

på alle flater, og ammoniumkonsentrasjoner var også lave på de fleste flater. Aluminiumkonsentrasjoner var under grenseverdier for skader på grantrær.

Langtidstrender for pH, Ca, total Al og ikke-marint sulfat i 15 cm dybde på alle flater er vist i Fig. 3. I 2009 var det ingen stor endring i noen av disse.

I perioden etter 2000 har innholdet av kjemiske elementer i kronedrypp og jordvann bare i liten grad endret seg her i landet. Lengst sør i landet har vi observert de høyeste konsentrasjoner og mengder av langtransporterte luftforurensninger (svovel i formen sulfat, uorganisk nitrogenforbindelser, ozon) og laveste pH i nedbør (Andreassen et al 2010). Mange steder i Europa er det dokumentert skogskader som skyldes overskridelser av kritiske grenseverdier for atmosfæriske luftforurensninger og ozon (Lorenz et al. 2009). Skogskader som skyldes langtransporterte luftforurensninger i gassform har vi ikke kunnet påvise i Norge, unntatt i Sør-Varanger nært Russland. Siden konsentrasjonene av mulige toksiske Al-forbindelser er lave, særlig i humussjiktet hvor det er mest finrøtter, er risikoen for aluminiumsforgiftning av skog i Norge fortsatt lav (Eldhuset 1988, De Wit 2000).

## 5. VEGETASJON

På de intensive overvåkingsflatene er vegetasjonen blitt fulgt siden etableringen i 1986 (OPS 1989), og de første registreringene ble gjort i løpet av 1986-89. Det er utlagt 10 ruter á 1x1 m langs ytterkanten av hver overvåkingsflate. Registreringene utføres som frekvensanalyser ved at ei ramme inndelt i 25 småruter ble lagt over ruta (OPS 1989). For hver art telles det deretter opp antall småruter med forekomster av hver planteart. Ved andre gangs registrering i 1991-93 ble antall ruter utvidet til 50 pr flate (Solberg et al. 1999). De nye rutene er primært anlagt i ei 5 m randsone, men med visse tilpasninger til terrengforhold. Det store antallet ruter antas å dekke variasjonen i felt- og bunnvegetasjonen på flatene.

I 2009 registrerte vi dekning og frekvens i prosent av rutearealet på 1x1 m av enkeltarter på de tre flatene Hurdal, Osen og Kårvatn. Her presenteres data for dekningen på de tre feltene (Tabell 5). Alle flatene har et komplett sett ruter fra 1999 som er reanalysert i både 2004 og i 2009. På Kårvatn fins det i tillegg registreringer fra 1991 på 41 ruter. I femårsperioden 2004 til 2009 har det ikke skjedd noen store endringer i mengde eller frekvens av artene når man sammenligner registreringer i 2004 med de fra 2009. Ett tydelig unntak er dekningen av blåbær (*Vaccinium myrtillus*) på Osen som har falt dramatisk, se nedenfor.

Tresjiktet er stabilt med ubetydelige endringer av dekningsgrad. På Kårvatn var det en liten nedgang på vel 2 % i gjennomsnittlig dekning for furu fra 18,7 % 2004 til 16,5 % i 2009 (Tabell 5).

I feltsjiktet er det en dominans av blåbær i Hurdal og Osen. I Hurdal var dekningen 41 % i 2009, mens den på Osen var falt fra 40 til 11 %. I Hurdal og på Kårvatn var dekningen av blåbær ikke vesentlig forskjellig fra 2004. Heller ikke for de øvrige lyngartene, som tyttebær (*Vaccinium vitis-idaea*), blokkebær (*Vaccinium uliginosum*) og røsslyng (*Calluna vulgaris*) var det særlige endringer i dekningsgraden fra 2004. Et unntak er dekningen av tyttebær på Osen som minket til 5 % og som nå bare er 2/3 av de første registreringene fra 1999. På Kårvatn som har mange lyngarter, er samlet dekning av lyng økt fra 55 % i 1999 til 62 % i 2009. I perioden fra 1991 til 1999 økte også røsslyng økte voldsomt fra 10 til 16 %. Ved senere registreringer har det bare vært mindre endringer for denne arten. På Kårvatn har røsslyng, blåbær og tyttebær en omtrent jamnstor dekning i 2009 (15,3 % - 18,1 %).

Tabell 5. Utvalg av de vanligste artene med dekning i % på flatene i 1999-2009. Arter som hadde svært liten dekning er ikke tatt med. Opphold betyr at arten mangler på flata. F=feltsjikt, B=busksjikt, Sum= sum dekning av flere arter innen samme slekt. Signifikante endringer er markert med ulike bokstaver ("a" vs. "b") mellom to årstall. To bokstaver "ab" viser betydelige, men ikke signifikante skillnader i forhold til andre årstall.

	Hurdal			Kårvatn				Osen		
	1999	2004	2009	1991	1999	2004	2009	1999	2004	2009
Dunbjørk ( <i>Betula pubescens</i> )	0	0	0	1.22	1.7	1.1	0.6	0	0	0
" ( <i>B. pubescens</i> ) F+B	0.12	0.16	0.14	2.17	1.26	0.68	0.54	0	0	0
Gran ( <i>Picea abies</i> )	29.8	26.9	26.4	0	0	0	0	15.7	17.7	18.8
" ( <i>P. abies</i> ) F+B	1.52	1.5	1.6	0	0	0	0	2.28	2.06	2.62
Furu ( <i>Pinus sylvestris</i> )	0	0	0	20.6	19	18.7	16.5	16.6	17.4	17.4
" ( <i>P. sylvestris</i> ) F+B	0	0	0	0.46	1.12	0.94	1.08	0	0	0
Rogn ( <i>Sorbus aucuparia</i> )	0	0	0	0	0.1	0.18	0.12	0	0	0
" ( <i>S. aucuparia</i> ) F+B	0.96	0.96	0.96	0.27	1.25	1.46	1.4	0.06	0.04	0.02
Kvitlyng ( <i>Andromeda polifolia</i> )	0	0	0	0.63	0.72	0.6	0.7	0	0	0
Røsslyng ( <i>Calluna vulgaris</i> )	0	0	0	b9.82	a16.3	a16.7	a17.64	0	0	0
Krekling ( <i>Empetrum nigrum</i> )	0	0	0	3.44	2.62	2.18	1.86	0	0	0
Einer ( <i>Juniperus communis</i> )	0	0	0	0	1.12	1.04	0.92	0	0	0
Blålyng ( <i>Phylodoce caerulea</i> )	0	0	0	0.07	0.32	0.38	0.38	0	0	0
Blåbær ( <i>Vaccinium myrtillus</i> )	b24.04	a 41.3	a41.48	16.22	13.5	16.9	15.3	a39.6	a36.16	b11.34
Blokkebær ( <i>V. uliginosum</i> )	0	0	0	8.49	8.4	8.4	7.8	0	0	0
Tyttebær ( <i>V. vitis-idaea</i> )	3.9	3.98	3.66	16.85	17.3	17.5	18.1	a7.92	ab6.86	b5.22
Slåtestarr ( <i>Carex nigra</i> )	0	0.02	0.02	0.05	0.04	0.08	0.08	0	0	0
Sveltstarr ( <i>Carex pauciflora</i> )	0	0	0	0.07	0.02	0.02	0.02	0	0	0
Slirestarr ( <i>Carex vaginata</i> )	0	0	0	0.02	0.02	0.02	0.04	0	0	0
Smyle ( <i>Avenella flexuosa</i> )	1.36	1.62	1.6	a2.24	b 1.32	b1.18	b 1.14	b2.56	ab3.38	a 4.24
Hårfrytle ( <i>Luzula pilosa</i> )	0	0	0	0	0	0	0	0.16	0.2	0.16
Blåtopp ( <i>Molinia caerulea</i> )	0	0	0	3.88	4.44	4.06	3.74	0	0	0
Finnskjegg ( <i>Nardus stricta</i> )	0	0	0	0	0.06	0.08	0.08	0	0	0
Bjønnskjegg ( <i>Trichophorum cespitosum</i> )	0	0	0	0	0.5	0.5	0.4	0	0	0
Kvitveis ( <i>Anemone nemorosa</i> )	0.04	0.04	0.04	0	0.04	0.02	0.02	0	0	0
Bjønnekam ( <i>Blechnum spicant</i> )	0	0	0	7.51	9.6	9.12	8.22	0	0	0
Skrubbær ( <i>Cornus suecica</i> )	0	0	0	2.68	3.42	3.76	3.08	0	0	0
(...fortsatt)	Hurdal			Kårvatn				Osen		
Flekkmarhand ( <i>Dactylorhiza maculata</i> )	0	0	0	0.07	0.14	0.16	0.16	0	0	0
Sauetelg ( <i>Dryopteris expansa</i> )	1.7	1.64	1.34	0	0	0	0	0.02	0.04	0.04
Knerot ( <i>Goodyera repens</i> )	0	0	0	0	0	0	0	0	0.04	0.06



Fugletelg ( <i>Gymnocarpium dryopteris</i> )	0.82	0.74	0.74	0	0	0	0	1.66	1.38	1.22
Linnea ( <i>Linnaea borealis</i> )	2.46	3.06	2.84	0.83	0	0	0	4.52	4.8	3.82
Småtteblad ( <i>Listera cordata</i> )	0	0	0	0	0	0	0	0.04	0.04	0.06
Stri kråkefot ( <i>Lycopodium annotinum</i> )	0.4	0.32	0.32	0	0	0	0	0.04	0.1	0.04
Olavsstake ( <i>Moneses uniflora</i> )	0	0	0	0	0	0	0	0.06	0.06	0.02
Maiblom ( <i>Maianthemum bifolium</i> )	3.98	4.64	4.48	0.68	0	0	0	2.3	4.28	4.3
Stormarimjelle ( <i>Melampyrum pratense</i> )	0	0	0	a3.07	b 2	c 1.1	c 1.1	0.3	0.16	0.02
Småmarimjelle ( <i>M. sylvaticum</i> )	0	0	0	0	0.02	0.04	0	0.24	0.16	0.22
rome ( <i>Narthecium ossifragum</i> )	0	0	0	0.17	0.4	0.28	0.34	0	0	0
Nikkevintergrønn ( <i>Orthilia secunda</i> )	0.26	0.04	0.04	0.07	0.06	0.08	0.08	0	0	0
Gaukesyre ( <i>Oxalis acetosella</i> )	0.04	0.1	0.1	0	0	0	0	0.6	0.8	0.82
Fugletelg ( <i>Phegopteris connectilis</i> )	0.1	0.04	0.04	0	0	0	0	0	0	0
Tepperot ( <i>Potentilla erecta</i> )	0.02	0.02	0.02	1.29	1.08	0.94	1.08	0	0	0
Einstape ( <i>Pteridium aquilinum</i> )	0	0	0	0.27	0.98	1.2	1.16	0	0	0
Gullris ( <i>Solidago virgaurea</i> )	0	0	0	0.10	0.1	0.04	0.02	0.06	0.08	0.06
Skogstjerne ( <i>Trientalis europaea</i> )	0.08	0.14	0.16	0.63	0.68	0.66	0.96	0.3	0.48	0.56
Myrfiltmose ( <i>Aulacomnium palustre</i> )	0	0	0	1.68	0.5	0.24	0.18	0	0	0
Glesemoser ( <i>Cephalozia</i> spp.)	0	0	0.02	0	0	0	0	0.14	0.1	0.04
Blondemose ( <i>Chiloscyphus</i> sp.)	0.12	0.12	0.12	0.07	0	0	0	0	0	0
Etasjemose ( <i>Hylocomium splendens</i> )	17.3	16.3	19.3	23.39	18.1	18.5	18.6	57.5	50.3	49.2
Skuggehusmose ( <i>Hylocomiastrum umbratum</i> )	0	0	0.36	0	0	0	0	0	0	0
Blåmose ( <i>Leucobryum glaucum</i> )	0	0	0	0	0.04	0.02	0.04	0	0	0
Flikmoser ( <i>Lophozia</i> spp.)	0.24	0.24	0.28	0	0.04	0.06	0.14	0.06	0.02	0.08
Tornemose ( <i>Mnium</i> sp.)	0.02	0.02	0.02	0	0	0	0	0.02	0	0
Prakthinnemose ( <i>Plagiochila asplenioides</i> )	1.32	1.42	1.4	0	0	0	0	0	0	0
Jamnemoser ( <i>Plagiothecium</i> spp.)	0.1	0.1	0.12	0	0	0	0	0	0	0
Furumose ( <i>Pleurozium schreberi</i> )	a11.48	b 7.16	b 6.78	a 23.5	ab18.86	bc15.96	c 12.1	11.6	10.3	8.82
Heigråmose ( <i>Racomitrium lanuginosum</i> )	0	0	0	0.29	0.02	0.02	0.04	0	0	0
Bakkefrynse ( <i>Ptilidium ciliare</i> )	0	0	0	1.05	0.32	0.3	0.38	0.06	0.06	0.02
Fjormose ( <i>Ptilium crista-castrensis</i> )	1.02	1.06	1	2.68	3.02	2.66	2.84	19.1	20.7	23.8
Rosettmose ( <i>Rhodobryum roseum</i> )	0	0	0	0	0	0	0	0.02	0.02	0.04
Kystkransmose ( <i>Rhytidiadelphus loreus</i> )	0	0	0	0.83	0.34	0.1	0.08	0	0	0
(...fortsatt)		Hurdal			Kårvatn			Osen		
Kransmose ( <i>Rhytidiadelphus</i> sp.)	0	0.08	0.08	0	0	0	0.04	0	0	0
Kobleikmose ( <i>Sanionia uncinata</i> )	0	0	0	0	0	0	0.02	0	0	0

Skjeggmoser, sum ( <i>Barbilophozia</i> spp.)	1	0.84	0.72	a 1.27	b 0.42	b 0.38	b 0.64	a 1.4	ab 1.1	b 0.6
Sigdmoser, sum ( <i>Dicranum</i> spp.)	a28.36	b 20.1	b 19.1	7.80	7.56	5.76	4.82	3.82	3.92	3.26
Bjørnemoser, sum ( <i>Polytrichum</i> spp.)	4.42	4.1	4.06	0.76	0.64	0.74	0.74	0	0	0
Torvmoser, sum ( <i>Sphagnum</i> spp.)	19.3	23.8	25.1	8.68	3.68	4.64	6.34	1.36	1.28	0.82
Reinlav, sum ( <i>Cladonia</i> spp.)	0	0	0	8.34	7.1	6.9	7.1	0	0	0

Det framgår av tabell 5 at det er relativt få urter og grasarter på de tre flatene. I 2009 var dekningsgraden av urter 18, 15 og 14 % på henholdsvis Kårvatn, Osen og Hurdal mot 21, 14 og 13 % i 1999. Det framgår at det for siste 10-årsperiode har vært en tilbakegang hos tre urter på Kårvatn og en framgang av maiblom (*Maianthemum bifolium*) både i Hurdal og på Osen. Graset smyle (*Avenella flexuosa*) opptre på alle flatene, men i moderate mengder. På Kårvatn og Hurdal har dekningsgraden av smyle vært forholdsvis konstant fra 1999, mens den på Osen har økt fra 2,5 % i 1999 til 4,2 % i 2009. På Kårvatn har graset blåtopp (*Molinia caerulea*) en dekningsgrad på 3,7 % i 2009, og har høyere dekningsgrad enn smyle. Smyle er ofte en konkurrent til blåtopp på Vestlandet.

Urtene (inkludert bregner) forekommer i mindre mengder sammenlignet med de andre vegetasjonsgruppene, og opptre bare på en eller to flater. Bare skogstjerne (*Trientalis europaea*) var til stede på alle flatene. I Hurdal og Osen ble for eksempel linnea (*Linnea borealis*), maiblom, og gaukesyre (*Oxalis acetosella*) funnet på begge flatene. Av øvrige arter kan nevnes storbregnen saueteleg (*Dryopteris expansa*), dekningsgrad 1,3 % i Hurdal, og småbregnene fugleteleg (*Gymnocarpium dryopteris*) på Hurdal og Osen med dekningsgrad, henholdsvis 0,7 og 1,2 % og hengeving (*Phegopteris connectilis*) i Hurdal. Marimjeller (*Melampyrum pratense* og *M. sylvaticum*) er registrert på Osen, mens bare småmarimjelle opptre på Kårvatn. Både den og tepperot (*Potentilla erecta*) har 1,1 % dekningsgrad på Kårvatn.

Flatene preges ellers av mose- og levermoseslekter som hører til i blåbærgranskogen. Viktigste blant levermosene er skjeggmoser (*Barbilophozia* spp.) og blant dem har gåsefotskjemose (*B. lycopodioides*) størst dekningsgrad. Sum skjeggmoser varierte mellom 0,6-0,7 % på flatene. Sigdmosene (*Dicranum* spp.) dominerte i Hurdal med 19 % dekningsgrad i 2009, men hadde en betydelig mindre dekningsgrad på de to andre flatene. Etasjemose (*Hylocomium splendens*) dominerte på Osen med 49 % dekningsgrad i 2009. Også furumose (*Pleurozium schreberi*) har fortsatt høy dekningsgrad på Kårvatn med 12 %. På alle flatene har det imidlertid vært en tilbakegang av furumose siden registreringene startet. Torvmoser (*Sphagnum* spp.) forekommer også på alle flatene, og særlig i Hurdal er dekningsgraden høy med 25,1 %. Siden registreringene i 1999 har mengden torvmoser økt på alle tre flatene.

Følgende signifikante endringer i dekningsgrad blant felt- og bunnsjiktarter er registrert:

Dekningsgraden av blåbær økte signifikant i Hurdal fra 1999 til 2004, mens økningen fra 2004 til 2009 var ikke signifikant. På Osen var reduksjonen av blåbærdekningsgraden fra 2004 til 2009 sterkt signifikant, mens reduksjonen av tyttebærdekningsgraden ikke var signifikant. Mye innslag av soppen *Valdensinia heterodoxa*, som angriper bladene, er en av årsakene til skadene hos flere av lyngartene. Dekningsgraden av smyle økte betydelig på Osen fra 2004 til 2009 og økningen var signifikant fra 1999 til 2009. Det er mulig at økningen i smyledekningsgrad kan forklares med økt lystilgang som følge av en nedgang i blåbærdekningsgraden. For karplantene er det generelle bildet små endringer på de tre flatene fra 2004 til 2009. Det samme stabile inntrykket gir også utviklingen i dekningsgraden av kryptogamer (levermoser, moser og lav) fra 2004 til 2009. At det kan være betydelige, men ikke signifikante endringer skyldes også at datamaterialet er lite. De største endringene har skjedd over lengre perioder fra 1991 og frem til 2009, eller fra 1999 til 2009. Det gjelder for eksempel for furumose og levermoser.

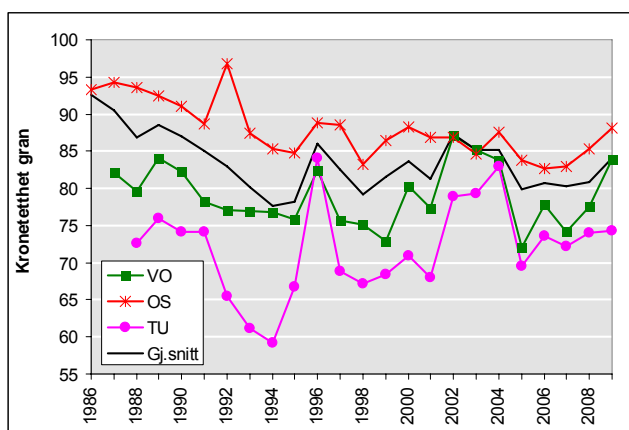
Ser vi på siste 10-årsperiode (1999-2009), har det vært observert en sterk økning i dekningsgraden av graset smyle på flaten i Osen. På de to andre flatene som ble vegetasjonsregistrert i 2009 har dekningsgraden av smyle vært litt varierende i observasjonsperioden. Økningen av smyle, som også er observert tidligere, kan derfor tyde på økt nitrogen på flatene (Andreassen et al. 2007). En annen betydelig vegetasjonsendring som ble observert i 2009 er den kraftige nedgangen av blåbærlyng i Osen der dekningsgraden er redusert fra 40 til 11 % i løpet av siste 10 års periode. Hvilke årsaker som har mest betydning for reduksjonen av blåbær i Osen er ikke undersøkt, men det er mulig smyle har overtatt for blåbær.

## 6. TRÆRNES KRONETILSTAND

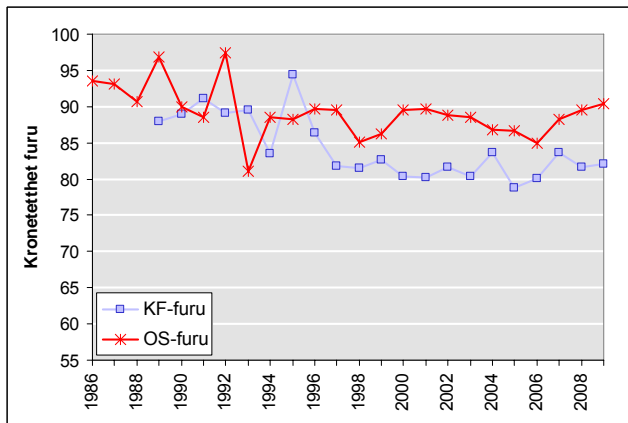
Kronebedømmelse er en subjektiv vurdering av treets kronetilstand (vitalitet) registrert som blant annet kronetetthet, kronefarge, skader, blomst- og konglemengde (UNECE 2010). Kronebedømmelse utføres på alle trær som tilhører hovedtreslaget og som ikke er undertrykt, har toppbrekk eller andre betydelige 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 andelen misfarget bar (og intensiteten av misfargingen) og registrert 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. Treet vurderes fra flere sider der dette er mulig. Bedømmelsen gjennomføres med kikkert. Feltarbeidet i 2009 ble utført mellom 28. august og 16. september. Flata i Osen er et barblandingsbestand og har et større areal og flere trær enn de andre overvåkingsflatene (Tabell 8), og presenteres derfor både som én granflate og én furuflate i resultatoversikten for kronetilstand. I Lardal ble det våren 2009 utført slutthogst i et belte sørvest og et belte nordøst for flata. Dette vil på sikt kunne påvirke kronetilstanden på deler av flata på grunn av uttørring og økt vindpress, selv om det ble avsatt en ganske bred buffersone rundt flata.

### 6.1. Kronetetthet

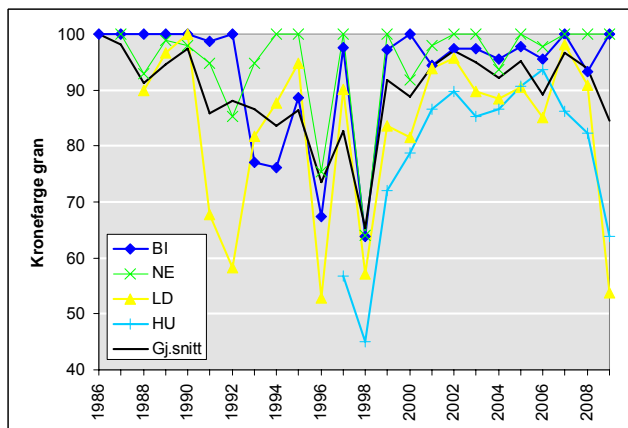
**Gran:** Det er ingen tydelige trender for utviklingen av kronetetthet over tid for noen av flatene, men det har vært store svingninger i kronetettheten på 1990-tallet og i begynnelsen av 2000-tallet (Figur 5 og 6). I 2009 økte kronetettheten på alle granflatene fra 2008, og gjennomsnittet lå på 84,1 %, en økning på over 3 % i forhold til 2008 (Tabell 6). Voss hadde den største økningen i kronetetthet med 6,4 %, mens kronetettheten i Tustervatn var omtrent uforandret fra året før. Det var flatene i Nedstrand og Osen som hadde høyest kronetetthet i 2009 (henholdsvis 88,2 og 88,1 %), mens Tustervatn hadde lavest (74,2 %), som i tidligere år. Forskjellen mellom flata med høyest kronetetthet (Nedstrand) og den med lavest (Tustervatn) var på 14 %. På de sørøstlige flatene (Birkenes, Lardal, Hurdal, Osen) samt flata i Nedstrand har kronetettheten for gran ligget over eller rundt gjennomsnittet i nesten hele overvåkingsperioden. Unntaket har vært i Lardal og Hurdal i enkelte år (Figur 5 og 6). Flatene i Voss og Tustervatn, som ligger på henholdsvis 540 og 400 m over havet, har i hele perioden ligget under gjennomsnittet.



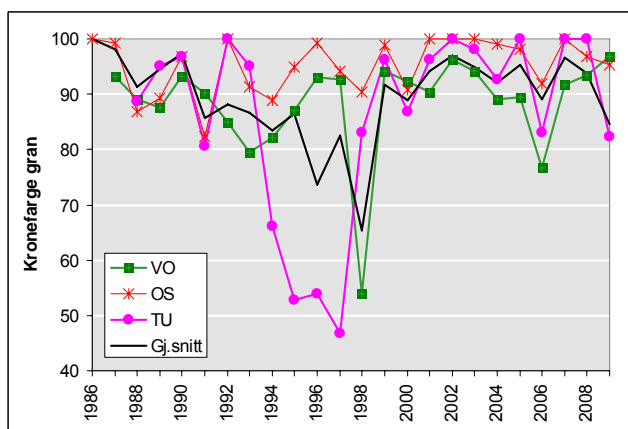
Figur 5. Utvikling av kronetetthet (%) på granflatene i Voss, Osen og Tustervatn. Gj.snitt: Gjennomsnitt for alle granflatene.



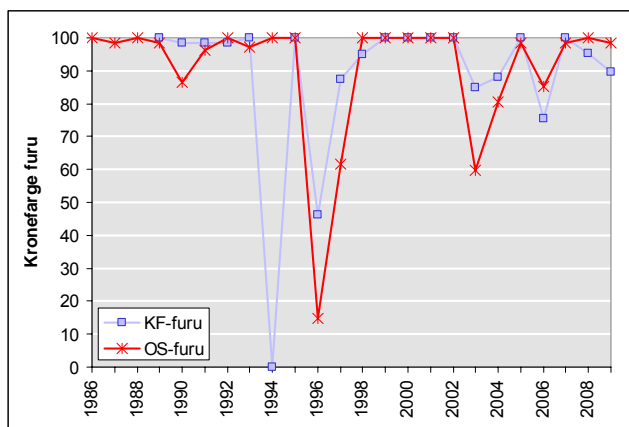
Figur 6. Utvikling av kronetetthet (%) på furuflatene i Kårvatn og Osen.



Figur 7. Utvikling av kronefarge (%-andel grønne trær) på granflatene i Birkenes, Nedstrand, Lardal og Hurdal. Gj.snitt: Gjennomsnitt for alle granflatene.



Figur 8. Utvikling av kronefarge (%-andel grønne trær) på granflatene i Voss, Osen og Tustervatn. Gj.snitt: Gjennomsnitt for alle granflatene.



Figur 9. Utvikling av kronefarge (%-andel grønne trær) på furuflatene i Kårvatn og Osen.

Tabell 6. Kronetetthet (%) og kronefarge (%-andel grønne trær) for hovedtreslaget på flatene i 2009 og endringer fra 2008 i parentes. Gjennomsnittstall for granflatene.

Flate	Treslag	Kronetetthet	Kronefarge
BI	Gran	86,7 (4,6)	100 (7)
NE	Gran	88,2 (2,6)	100 (0)
LD	Gran	84,2 (3,8)	54 (-37)
HU	Gran	83,3 (2,1)	64 (-20)
VO	Gran	83,9 (6,4)	97 (3)
OS	Gran	88,1 (2,8)	95 (-1)
Flate	Treslag	Kronetetthet	Kronefarge
OS	Furu	90,4 (0,9)	99 (-1)
KF	Furu	82,1 (0,5)	90 (-6)
TU	Gran	74,2 (0,3)	82 (-18)
Gj.snitt	Gran	84,1 (3,2)	85 (-9)

Tabell 7. 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

**Furu:** Kronetetthet for furu i 2009 økte i Osen med 0,9 % og i Kårvatn med 0,5 % (Tabell 7). Kronetetthet blant furutrærne på Osen-flata i 2009 var 90,4 %, mens den i Kårvatn var 82,1 %. Kronetetthet på de to furuflatene har vært relativt stabil siden 1998 (Figur 8). Blant furutrærne på Osen-flata har den holdt seg mellom 85 og 90 %, og i Kårvatn mellom 80 og 85 %. Tettheten for furu i Kårvatn var på det laveste i 2005 (78,7 %), mens den på Osen-flata hadde sitt minimum i 1993 med 81 %.

Tabell 8. Trærnes status og skader i 2009: Antall bedømte, ikke-bedømte og døde trær, samt antall registrerte skader i 2009.

Flate	Hovedtreslag	Kronebedømt	Levende, ikke bedømt				Døde trær		SUM	Skader 2009									
			Hengende	Topp-/kronebrekk	Undertrykt	Annet	Stående døde	Liggende døde		Kronetetthet <75 %	Misfarging >25 %	Tørkeskader	Dieback	Nye topp-/kronebrekk	Sår/kvæufflod	Tyritopp	Nye døde trær		
BI	Gran	46		7	42	7		31	16	149	3			1					2
NE	Gran	50		8	23	7		27	4	119									
LD	Gran	54	1	6	25	6		6	4	102	7	4		11	1	1			
HU	Gran	61		1	6			5	1	74	11	7		8		2			1
VO	Gran	61	2	3	25	9		18	8	126	5	1							1
OS	Gran	127	8		168			13	6	322				2		1			
OS	Furu	67			1			1		69									1
KF	Furu	68		8	29	1		1		107	10	4	10		3				
TU	Gran	62	1	3	21	2		25	7	121	24			39					
<b>SUM</b>		596	12	36	340	32		127	46	1189	60	16	10	61	4	4		1	4

## 6.2. Kronefarge

**Gran:** Andelen misfargete grantrær økte fra 2008 til 2009 på flatene i Lardal, Hurdal og Tustervatn, mens det på de andre granflatene var små endringer (Tabell 7). Gjennomsnittlig andel trær med normal grønn farge på granflatene var 85 % i 2009, mot 94 % året før. Mest misfarging ble registrert i Lardal, hvor omtrent halvparten av trærne var misfargete, og i Hurdal, der litt over en tredjedel av trærne var misfargete. Omfanget av misfargingen var imidlertid lavt hos de fleste trærne (11-25 % av barmassen misfarget), bare fire trær i Lardal og sju i Hurdal hadde mer enn 25 % misfarging (Tabell 7). Også Tustervatn hadde en relativt høy andel misfargete grantrær (nesten 1/5-del), mens de fleste trærne på de andre flatene var normalt grønne (95-100 %). Fra 1999 fram til 2008 har andelen normalt grønne grantrær på de intensive overvåkingsflatene generelt vært høy med over eller rundt 90 % normal grønnfarge. På 1990-tallet var det derimot store variasjoner i kronefarge og generelt mye misfarging (Figur 7 og 8), og som sannsynligvis var relatert til hyppige tørkeperioder i 1990-årene.

**Furu:** Andelen normalt grønne furutrær gikk noe ned i både Osen og Kårvatn. (Tabell 6). Det var likevel nesten ingen misfarging på furutrærne i Osen, og bare 10 % i Kårvatn i 2009. På sistnevnte flate er det sannsynligvis tørke som har forårsaket misfargingen. Det har vært store svingninger i kronefarge for furu

gjennom overvåkingsperioden, særlig på midten av 1990-tallet (Figur 9). I de aller fleste årene av overvåkingsperioden har andelen normalt grønne furutrær likevel ligget på eller nær 100 %.

### 6.3. Skader og avdøying

Etter internasjonale kriterier (Lorenz et al. 2009) defineres trær som skadet når de har en kronetetthet lavere enn 75 % og/eller mer enn 25 % misfarging (Tabell 7). Av de 596 trær som ble kronebedømt på de intensive overvåkingsflatene i 2009, hadde 60 trær (10 %) en kronetetthet lavere enn 75 %, mens 16 trær (3 %) hadde mer enn 25 % misfarging (Tabell 8). Imidlertid var størsteparten av disse trærne bare "moderat skadet" etter ICP Forests' definisjon (kronetetthet 74-40 %, Tabell 7), og det var kun sju trær som var "alvorlig skadet" med en kronetetthet lavere enn 40 % eller mer enn 60 % misfarging.

Mer enn en tredjedel av trærne med kronetetthet lavere enn 75 % stod på flata i Tustervatn, som ligger høyt (400 m.o.h.) og langt nord (65°53'N). Hele 61 grantrær, hvorav to tredjedeler i Tustervatn, hadde "dieback"-symptomer i varierende omfang (5-40 % av krona). "Dieback" er avdøying av små og store kvister fra ytterst i krona og innover mot stammen, og kan blant annet skyldes honningsopp (toppskranting) eller tørke. I mange tilfeller vil dette gi redusert kronetetthet, slik vi observerte i Tustervatn. Med en gjennomsnittlig kronetetthet lavere enn 75 % er hele flata i Tustervatn "moderat skadet" etter ICP Forests' kriterier (Lorenz et al. 2009).

Det ble ellers registrert få skader på overvåkingsflatene (Tabell 8): Ti furutrær i Kårvatn hadde tørkeskader som misfarging og nåletap, og tre av furuene der hadde nye toppbrekk. Det ble registrert ett grantre med kronebrekk i Lardal. På flatene i Lardal, Hurdal og Osen ble det i alt observert fire grantrær med sår eller kvaeutflod og én furu med tyritopp. To grantrær i Birkenes, ett i Hurdal og ett i Voss hadde dødd siden forrige registrering i 2008.

Kronetettheten økte både hos gran og furu på de intensive overvåkingsflatene i 2009. Kronefargen ble derimot sterkt svekket og for gran gikk andelen trær med normalt grønn farge betydelig ned fra 94 til 85 % i 2009. En stor del av endringene i kronetilstand og skogskader kan tilskrives variasjoner i været (Solberg 2007). Langtransporterte forurensninger kan også virke inn og forstyrre bildet, for eksempel gjennom økt vekst ved uorganisk nitrogendeposisjon (Solberg et al. 2004, 2009, Andreassen et al. 2009).

## 7. NÅLEKJEMI

Kjemisk analyse av barnåler blir gjennomført annethvert år på nåleprøver fra fem trær pr. flate. Prøvetrærne som brukes til nåleinnsamling er i randsona rundt flatene, og har med ett unntak vært de samme siden 1995, da de ble valgt ut ved systematisk sampling. Prøvetrærne har sosial status dominant, kodominant eller subdominant (Krafts klasse 1-3), det vil si at de ikke skal være undertrykte. Fra hvert prøvetre blir det tatt en prøvegrein fra den øvre del av krona mellom den 7. og den 15. greinkrans fra toppen. Prøvegreinene skal være upåvirket av nabotrær, slik at de får direkte lys og ikke er pisket, og tas fra ulike himmelretninger mellom trærne innen samme flate. Prøvegreinene ristes fri for vann før de veies og måles i felt (lengde, diameter, og antall nåleårganger). 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 eventuelle 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 (Ogner et al. 1999) i både årets og fjorårets nåler. I resultatdelen presenteres tall for makronæringsstoffer i årets nåler. Feltarbeidet i 2009 ble utført mellom 28. august og 16. september. For to år siden ble det ikke tatt nåleprøver i Kårvatn og Tustervatn, slik at disse to flatene mangler data for 2007 i langtidsserien i Figur 10-15 og i Tabell 10. I Birkenes har det vært et nytt prøvetre siden 2007 da et av de opprinnelige prøvetrærne samt flere reservetrær blåste ned vinteren 2006/2007.

Tabell 9. Konsentrasjoner av makronæringsstoffer i mg/g tørrstoff i årets barnåler 2009 (endringer fra 2007 i parentes. KF og TU: ingen nåleanalyse i 2007). Gj.snitt: Gjennomsnittet for granflatene. Normal: Området mellom mangel- og optimumsgrense med normale/tilstrekkelige konsentrasjoner av makronæringsstoffer for gran og furu.

Flate	Ca	K	Mg	N	P	S
BI	3,2 (0,1)	7,4 (-0,4)	1,3 (0,1)	13,7 (0,5)	1,4 (-0,2)	0,90 (0,01)
NE	2,9 (-0,4)	6,4 (0,1)	1,2 (0)	13,1 (0,6)	1,2 (-0,1)	0,84 (-0,07)
LD	3,9 (0,1)	6,6 (-1,1)	1,3 (0,2)	13,1 (0,6)	1,4 (-0,1)	0,78 (-0,09)
HU	3,1 (-0,1)	5,1 (-0,3)	1,0 (0,2)	11,6 (0,1)	1,2 (0)	0,69 (-0,05)
VO	3,6 (-0,4)	6,0 (0,3)	0,9 (0,1)	11,6 (-0,1)	1,3 (0)	0,80 (-0,03)
OS	4,1 (-1,3)	7,3 (0,8)	1,0 (-0,1)	11,3 (-1,0)	1,8 (0,1)	0,75 (-0,04)
KF-furu	1,8	6,3	0,8	9,3	1,0	0,61
TU	2,0	8,0	0,9	10,6	1,3	0,71
<b>Gj.snitt</b>	3,2 (-0,5)	6,7 (-0,1)	1,1 (0,1)	12,2 (0,1)	1,4 (-0,1)	0,78 (-0,04)
<b>Normal</b>	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 10. Forholdet mellom N og de andre makronæringsstoffer, årets barnåler 2009. 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.

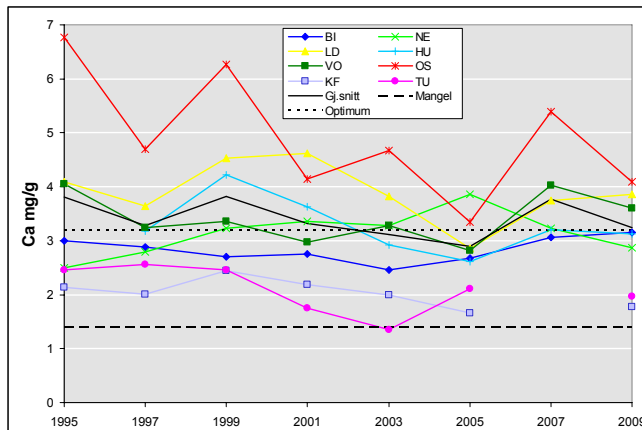
Flate	N/Ca	N/K	N/Mg	N/P	N/S
BI	4,3	1,9	10,5	10,0	15,3
NE	4,6	2,0	11,2	11,1	15,7
LD	3,4	2,0	9,8	9,3	16,9
HU	3,7	2,3	11,7	9,4	17,0
VO	3,2	1,9	13,4	8,7	14,5
OS	2,8	1,5	11,1	6,2	15,0
KF-furu	5,2	1,5	11,5	9,3	15,1
TU	5,4	1,3	11,6	8,3	15,0
<b>Gj.snitt</b>	4,1	1,8	11,4	9,0	15,6
<b>Normal</b>	2-16	1-4	8-29	7-14	11-21

Analysene i 2009 viste at konsentrasjonen av makronæringsstoffene i årets barnåler hadde forandret seg relativt lite i forhold til 2007 (Tabell 9). Konsentrasjonen av slike næringsstoffer kan variere kraftig fra år til år (Figur 10-15). Temperatur og nedbør påvirker næringsstoffenes tilgjengelighet i jordvannet, og dette kan forklare noe av svingningene i næringsstoffenes konsentrasjon i barnålene mellom årene (Hüttl 1991). Det må også bemerkes at tidspunktet for nåleprøvetaking (første halvdel av september) antakelig er for tidlig i forhold til når trærnes hvileperiode begynner, noe som også kan føre til svingninger i de målte næringskonsentrasjonene fra år til år.

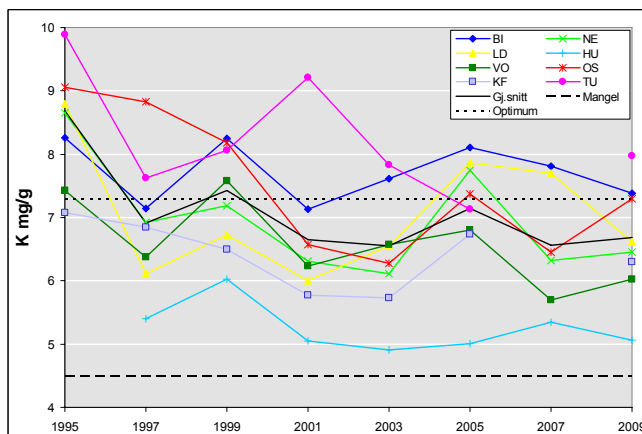
Næringsmangel i barnåler defineres her som et elementinnhold i nåler som sammenlignet med normale forhold fører til dårligere vekst. Ved enda lavere konsentrasjoner av næringsstoffet fører dette til synlige



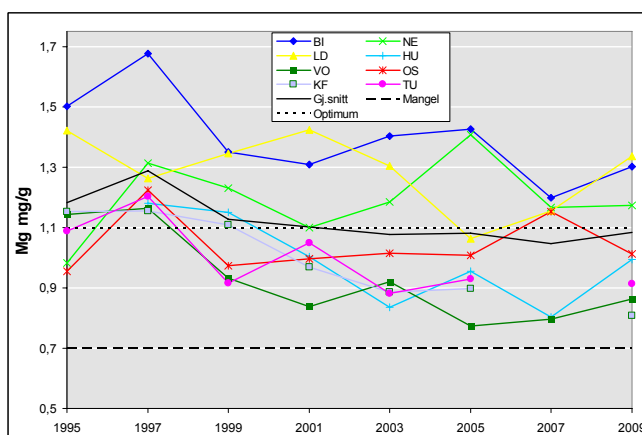
mangelsymptomer. Konsentrasjoner av makronæringsstoffer i området mellom mangel- og optimumsgrense anses for å være normale eller tilstrekkelige for gran, mens konsentrasjoner over optimumsgrensa ikke lenger fører til bedre vekst (UNECE 2000). Mangel- og optimumsgrenser i tabellene og figurene er beregnet etter Brække (1994), Hüttl (1991) og Stefan et al. (1997).



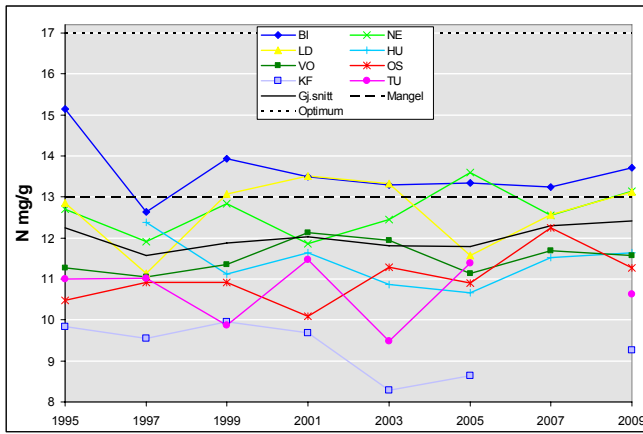
Figur 10. Endringer i kalsiumkonsentrasjon i barnåler (Ca mg/g tørrstoff) på flatene i Birkenes, Nedstrand, Lardal, Hurdal, Voss, Osen, Kårvatn og Tustervatn 1995-2009. Gj.snitt: Gjennomsnitt.



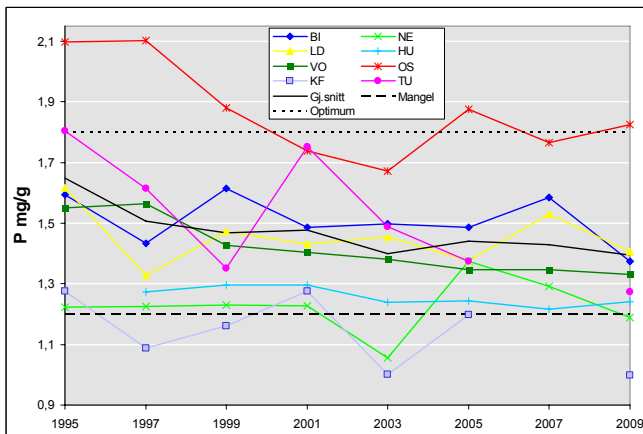
Figur 11. Endringer i kaliumkonsentrasjon i barnåler (K mg/g tørrstoff) på flatene i Birkenes, Nedstrand, Lardal, Hurdal, Voss, Osen, Kårvatn og Tustervatn 1995-2009. Gj.snitt: Gjennomsnitt.



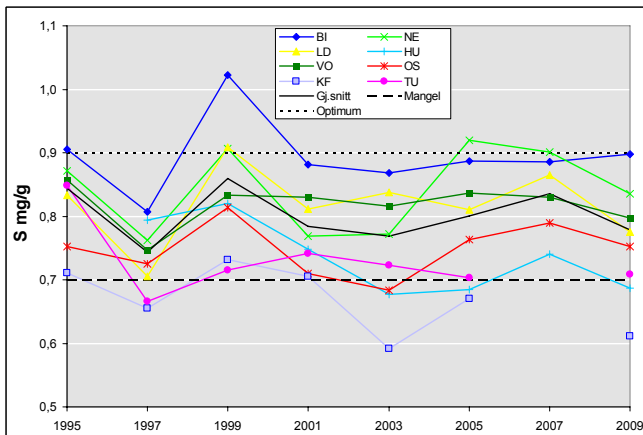
Figur 12. Endringer i magnesiumkonsentrasjon i barnåler (Mg mg/g tørrstoff) på flatene i Birkenes, Nedstrand, Lardal, Hurdal, Voss, Osen, Kårvatn og Tustervatn 1995-2009. Gj.snitt: Gjennomsnitt



Figur 13. Endringer i nitrogenkonsentrasjon i barnåler (N mg/g tørrstoff) på flatene i Birkenes, Nedstrand, Lardal, Hurdal, Voss, Osen, Kårvatn og Tustervatn 1995-2009. Gj.snitt: Gjennomsnitt



Figur 14. Endringer i fosforkonsentrasjon i barnåler (P mg/g tørrstoff) på flatene i Birkenes, Nedstrand, Lardal, Hurdal, Voss, Osen, Kårvatn og Tustervatn 1995-2009. Gj.snitt: Gjennomsnitt.



Figur 15. Endringer i svovelkonsentrasjon i barnåler (S mg/g tørrstoff) på flatene i Birkenes, Nedstrand, Lardal, Hurdal, Voss, Osen, Kårvatn og Tustervatn 1995-2009. Gj.snitt: Gjennomsnitt..

Konsentrasjonen av kalsium (Ca), kalium (K) og magnesium (Mg) i barnålene lå i området for normal eller optimal næringskonsentrasjon på alle flater. Konsentrasjonen av fosfor (P) var lav på flatene i Nedstrand, Hurdal, Tustervatn, og Kårvatn (Tabell 9, Figur 10-12, 14).

Konsentrasjonen av nitrogen (N) i barnålene økte med 0,5-0,6 mg/g tørrstoff i Birkenes, Nedstrand og Lardal og var på disse tre flatene i området for tilstrekkelig næringskonsentrasjon. På de andre flatene lå N-konsentrasjonen klart under mangelgrensa (Tabell 8). N-mangel er imidlertid normal i boreale barskoger, hvor dette er det vanligste vekstbegrensende næringsstoffet (Binkley & Högberg 1997). Flata på Sørlandet (Birkenes) hadde den høyeste konsentrasjonen av N i barnålene, 13,7 mg/g (Tabell 9). Bare i 1995 og 1999 ble det målt høyere konsentrasjoner av N i barnålene i Birkenes (Figur 13). Lardal hadde like høye N-konsentrasjoner i nålene som Nedstrand (13,1 mg).

De to flatene på Sørvestlandet (Birkenes, Nedstrand), som er mest utsatt for langtransporterte forurensinger, hadde de høyeste svovel (S) -verdier i barnålene av alle overvåkingsflater, og Birkenes var den eneste som hadde verdier rundt optimumsgrensa for S (Tabell 9). Med unntak av Birkenes gikk innholdet av S i barnålene ned på alle flater fra 2007 til 2009 (Figur 15). Konsentrasjonen av S var lavest i Hurdal, Kårvatn og Tustervatn.

Næringsstoffenes konsentrasjon i forhold til hverandre er også viktig for optimale vekstforhold. Hvis et næringsstoff fins i veldig høye eller lave konsentrasjoner i forhold til et annet, kan dette føre til næringsubalanse og redusert tilvekst. Tabell 10 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. Også de andre makronæringsstoffene fantes i tilstrekkelige konsentrasjoner i forhold til N på alle flater (Tabell 10). Osen, som har hatt de høyeste konsentrasjonene av Ca og P av alle flater i nesten alle år siden 1995 (Figur 10 og 14), hadde imidlertid lave verdier for forholdet mellom N og henholdsvis Ca og P, noe som indikerer at det er for lite nitrogen på denne flata i forhold til disse næringsstoffene.

Uorganisk nitrogendeposisjon påvirker næringsbalansen og siden nitrogen vanligvis er en minimumsfaktor for de fleste trær i Norge (Brække 1994), vil økt uorganisk nitrogendeposisjon øke veksten hos trær som mangler nitrogen (Solberg et al. 2004, Andreassen et al. 2009). Nitrogen er viktigste vekstbegrensende næringsstoff i boreale barskoger (Binkley & Högberg 1997). Uorganisk nitrogendeposisjon kan også medføre en forsterkning av underoptimale nivåer for andre næringsstoffer, for eksempel fosfor, ved at næringsbalansen forstyrres. Siden vi har både nitrogendeposisjon og sulfatdepisisjon samtidig, og disse har henholdsvis positiv og negativ effekt på trærns tilvekst, vil disse to effektene motvirke hverandre.

Nåleprøvene er i vår analyse tatt bare en gang på høsten av fem trær pr. flate. Sannsynligvis ville vi fått et mer variert bilde dersom det hadde blitt tatt prøver flere ganger eller flere prøver pr. flate, eller til andre tider på året (Hüttl 1991). Siden hyppigere prøvetaking enn en gang annethvert år ikke inngår i overvåkingsprogrammet, er det viktig å holde seg til samme tidspunkt på året. En prøvetaking i trærnes hvileperiode er anbefalt av ICP Forests (UNECE 2010), mens vi har valgt høstprøver av praktiske årsaker og også for ikke å forstyrre tidsserien.

## 8. TILVEKST

På de intensive overvåkingsflatene er diameter og høyde til trærne målt omtrent hvert femte år siden etableringen på 1980-tallet og frem til den siste målingen i 2009. Tilvekst, treantall, volum, høyde og diameter er beregnet som middeltall pr hektar fra etableringen og frem til 2009 på noen av feltene (Tabell 11). Volum er beregnet ut fra modeller etter Vestjordet (1967). På flere av flatene har det vært betydelig avgang av trær som har dødd av ulike årsaker (tørke, undertrykkelse, billeangrep, vindfall, hogst av enkelttrær), der særlig de minste og undertrykte trærne oftest har gått ut. I Hurdal har tilveksten gått ned siste revisjonsperiode, mens på de andre flatene har den økt (Tabell 11, Figur 16).

Tabell 11. Utvikling av treantall, middeldimensjon, volum og tilvekst for levende trær.

	År	Trær/ha	Volum (m <sup>3</sup> /ha)	Tilvekst (m <sup>3</sup> /ha/år)	Høyde (dm)	Diameter (mm)
	1988	1022	328		202	204
	1995	952	355	4.51	211	216
Lardal	1999	882	381	8.42	219	227
	2004	902	414	6.86	227	230
	2009	922	455	8.36	237	233
	1996	717	304		207	231
	1999	707	344	14.17	213	245
Hurdal	2004	678	398	12.26	229	259
	2009	640	419	10.90	238	268
	1986	1248	249		195	164
	1995	1210	313	7.29	212	180
Osen	1999	961	328	4.17	217	204
	2004	1155	364	7.28	222	193
	2009	1165	402	7.62	232	198
	1995	425	91	1.40	130	206
	1999	417	95	1.06	132	212
Kårvatn	2004	421	100	0.91	132	216
	2009	421	105	1.07	134	220
	1988	1921	347		142	190
	1995	1460	342	4.39	151	211
Tustervatn	1999	1413	370	7.17	157	219
	2004	1413	390	4.64	162	221
	2009	1381	409	4.61	166	226

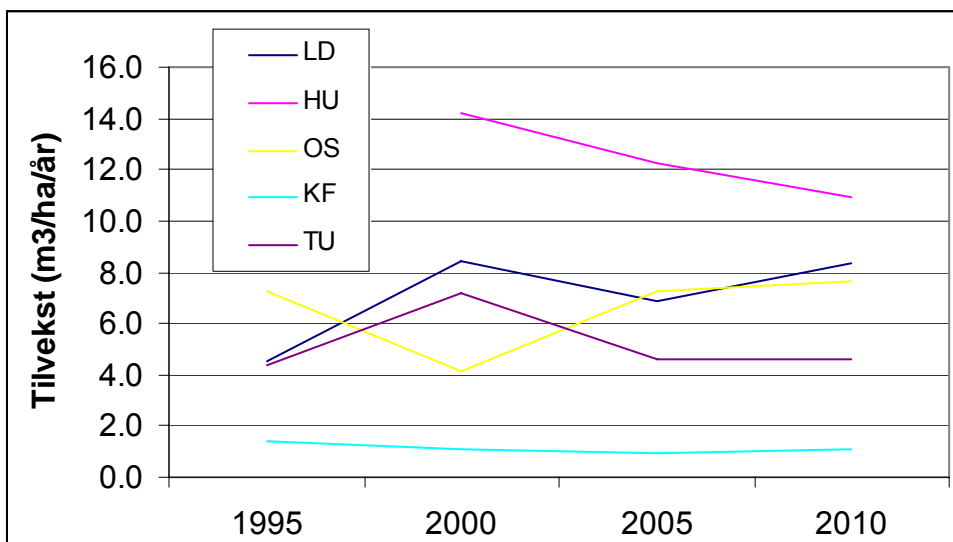


Fig. 16. Sum tilvekst (m³/ha/år).

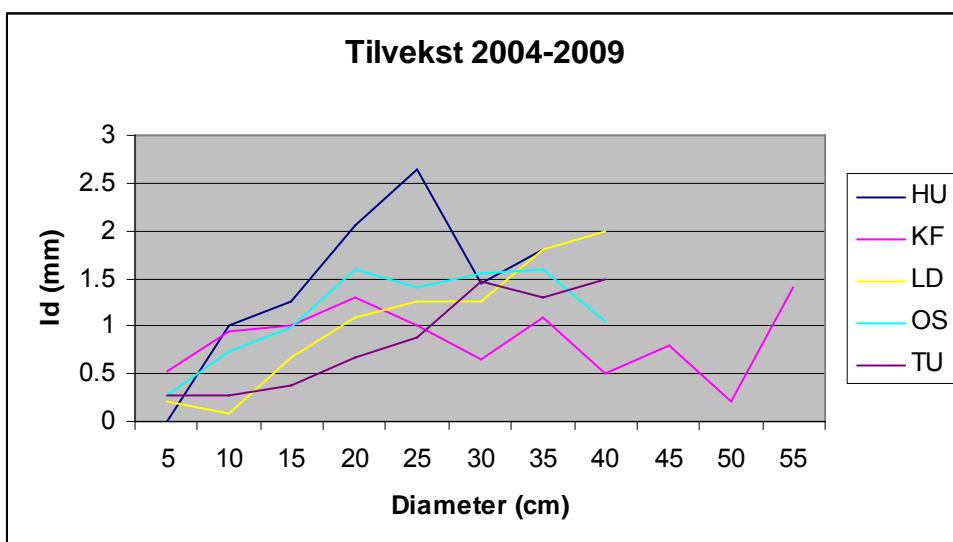


Fig. 17. Tilvekst (Id) i ulike diameterklasser.

Den årlige tilveksten hos trær varierer mye og viser utover den normale tilveksten også naturens respons på eventuelle endringer i klima, forurensninger og andre forstyrrelser i skogbestandet. Markens produksjonsevne kan beregnes ut fra trærnes akkumulerte tilvekst, gjerne ved bonitering. Til hjelp for å kartlegge normaltstanden kan tilveksten estimeres med empiriske modeller som bygger på målinger av trærnes vekst gjennom hele treets liv. Sammenligninger mellom observert tilvekst og målt nitrogendeposisjon viser at økt nitrogendeposisjon trolig har ført til økt tilvekst i Norge (Solberg et al 2004). Eksperimentelle forsøk viser tilvekstreduksjon ved kunstig høy sulfatdeposisjon (Abrahamsen et al 1994), mens dette kan ikke påvises i skog i Norge (Solberg et al 2004). En medvirkende årsak til at det er vanskelig å påvise tilvekstreduksjon i Norge er både tilvekstøkningen etter nitrogendeposisjonen, som altså virker motsatt vei, og de geologiske forhold som til en viss grad nøytraliserer effekten av sulfatdeposisjonen.

Figur 17 viser diametertilvekst for ulike diameterklasser for femårsperioden 2004 til 2009. Det fremgår at tilveksten øker med økende diameter inntil den kulminerer og så avtar. Dette tyder på at de største

trærne begynner å bli utvokst og har passert middeltilvekstens kulminasjonspunkt. I Lardal derimot øker tilveksten med økende diameter og dette tyder på at trærne har et godt stykke igjen før tilveksten reduseres og de er utvokst. En ser også at tilveksten varierer betydelig fra år til år uten at det er noe mønster som kan spores.

## LITTERATUR

- Abrahamsen, G., Stuanes, A.O., Tveite, B. 1994. Long-term experiments with acid rain in Norwegian forest ecosystems. Ecological Studies 104. Springer-Verlag. New York.
- Andreassen, K., Clarke, N., Røsberg, I., Timmermann, V., Aas, W. 2007. Intensiv skogovervåking i 2006. Resultater fra ICP Forests Level 2 flater i Norge. *Intensive forest monitoring in 2006. Results from ICP Forests Level 2 plots in Norway*. Viten 04/2004:1-23.
- Andreassen, K., Solberg, S., Tveito, O.E. and Lystad, S.L. 2006: Regional differences in climatic responses of Norway spruce (*Picea abies* L. Karst) growth in Norway. *Forest Ecology and Management* 222:211-221.
- Andreassen, K, Solberg, S., Aas, W., Clarke, N., Timmermann, V. 2009. Nitrogen deposition increases the growth of Norway spruce in Norway. p 53 in: Kaennel Dobbertin, M. (Ed) 2009. Long-term ecosystem research: Understanding the present to shape the future. Int. Conference Zurich, Switzerland, 7-10 Sept 2009. Abstracts. Birmensdorf, Swiss Federal Research Institute WSL. 118 pp.
- Andreassen, K., Timmermann, V., Clarke, N., Røsberg, 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. xx/10:1-xx.
- 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.
- Hornvedt, 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.
- Hüttl, R.F. 1991. Die Blattanalyse als Monitoring-Instrument im Waldökosystem. *In: Proceedings from IUFRO and ICP-Forests Workshop on monitoring, Prachatice, CSFR.* 139-147.
- Kvaalen, H., Solberg, S., Clarke, N., Torp, T. & Aamlid, D. 2002. Time series study of concentrations of  $\text{SO}_4^{2-}$  and  $\text{H}^+$  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.
- SAS Institute 1999. SAS/STAT Guide for personal computers. Version 8 Edition. Cary, NC: Sas Institute Inc., 1028 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. 2007. Effekter av klimaendringer på skogens helsetilstand. Abiotiske skader. *Viten fra Skog og landskap* 3/07: 13-19.
- Solberg, S., Andreassen, K., Clarke, N., Tørseth, K., Tveito, O.E., Strand, G.H. & Tomter, S. 2004. The possible influence of nitrogen and acid deposition on forest growth in Norway. *Forest Ecology and Management* 192:241-249.
- 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., Dobbertin, M., Reinds, G.J., Lange, H., Andreassen, K., Fernandez, P.G., Hildingsson, A. & de Vries, W. 2009. Analyses of the impact of changes in atmospheric deposition and climate on forest growth in European monitoring plots: A stand growth approach. *Forest Ecology and Management* 258: 1735-1750.
- Stefan, K. A. Fürst, R. Hacker and U. Bartels, 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., Hysten, G. & Andreassen, K. 2010. Helsetilstanden i norske skoger: Resultater fra landsrepresentativ overvåking 2009. Rapport fra Skog og landskap 2010.
- UNECE (United Nations Economic Commission for Europe - European Commission) 2000. Intensive Monitoring of Forest Ecosystems in Europe, 2000 Technical Report. EC, Brussels, Geneva. ISSN 1020-6078. 191 pp.
- UNECE (United Nations Economic Commission for Europe) 2010. Revised manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests. Programme Coordinating Center, ICP Forests. Hamburg. Revised 2010.
- UNECE (United Nations Economic Commission for Europe) 2009. The Condition of Forests in Europe. - 2009 Executive Report, Hamburg and Brussels 2009. ISSN 1020-587X. 13 pp.+Annexes.