

12  
/ 00



# Rapport

fra skogforskningen

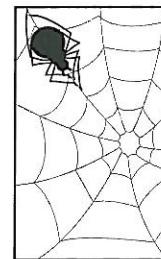
Norsk institutt for skogforskning, Høgskolevn. 12, 1432 Ås  
Institutt for skogfag, NLH, Postboks 5044, 1432 Ås

## Program for terrestrisk naturovervåking Overvåking av jordvann - Årsrapport 1999

*Monitoring programme for terrestrial ecosystems  
Monitoring of soil water - Annual report 1999*



Rapport nr. 102 i  
TERRESTRISK  
NATUROVERVÅKING  
(TOV)



**NATUROVERVÅKING**

Oppdragsgiver:  
Direktoratet for  
naturforvaltning

Ingvald Røsberg og Dan Aamlid

## Rapport fra skogforskningen

- ✓ **Rapport fra skogforskningen** inneholder førstegangs publiserte artikler beregnet på norske og nordiske lesere
- ✓ Tabell- og figurtekster skrives på norsk
- ✓ Sammen drag skrives på norsk
- ✓ Engelske manuskripter eller omfattende arbeider med mye grunn-data kan publiseres i en underserie - *Supplement*.

Norsk institutt for skogforskning (NISK) er utgiver av serien, i et samarbeid med Institutt for skogfag, NLH.

Tilrettelegging av manus for trykking, ajourhold av abonnenter, innkreving av abonnementsavgift, distribusjon av heftene og lagerhold skjer på NISK. Bestilling av abonnement og enkelt-eksemplar av seriene skjer til NISK.

Redaktør for serien er forskningsdirektør Bjørn R. Langerud, NISK

En forfatterinstruks er tatt inn på siste omslagsside.

Layout og sats: Karin Westereng, NISK

ISBN 82-7169-950-4  
ISSN 0803-2858

Norsk institutt for skogforskning (NISK)  
Høgskoleveien 12,  
1432 Ås

Tlf.: 64 94 90 00  
Fax: 64 94 29 80  
E-post: [nisk@nisk.no](mailto:nisk@nisk.no)  
Internett: <http://www.nisk.no/>

### Program for terrestrisk naturovervåking

Program for terrestrisk naturovervåking rettes mot effekter av langtransportert forurensning og skal følge bestands- og miljøgiftutvikling i dyr og planter. Integrerte studier av nedbør, jord, vegetasjon og fauna, samt landsomfattende representative registreringer inngår. Programmet supplerer andre overvåkingsprogram i Norge når det gjelder terrestrisk miljø.

Hovedmålsettingen med overvåkingsprogrammet er at det skal gi grunnlag for bedømming av eventuelle langsiktige forandringer i naturen. Sammen med øvrige program for overvåking av luft, nedbør, vann og skog skal det gi grunnlag for å klarlegge årsakssammenhenger.

Data for overvåkingsprogrammet skal bidra til å dekke forvaltningens behov med hensyn til å ta administrative avgjørelser (utslippsavtaler, mottiltak, forurensningskontroll). Det skal også gi grunnlag for vurdering av naturens tålegrenser (kritiske konsentrasjons- og belastningsgrenser) for effekter av langtransporterte forurensninger i terrestriske økosystemer.

Overvåkingsprogrammet finansieres i hovedsak over statsbudsjettet. Direktoratet for Naturforvaltning er ansvarlig for gjennomføringen av programmet.

Resultater fra de enkelte overvåkingsprosjekter vil bli publisert i årlige rapporter.

Henvendelser vedrørende programmet kan i tillegg til de aktuelle institusjoner rettes til Direktoratet for naturforvaltning, Tungasletta 2, 7485 Trondheim, tlf 73 58 05 00.

Forsiden: Vedlikehold av lysimetersystem  
(Møsvatn)  
Foto: I. Røsherg

**Program for terrestrisk naturovervåking. Overvåking av  
jordvann - Årsrapport 1999**

*Monitoring programme for terrestrial ecosystems. Monitoring of soil water -  
Annual report 1999*

Ingvald Røsberg og Dan Aamlid



### Sammendrag

RØSBERG, I. & AAMLID, D. 2000. Program for terrestrisk naturovervåking. Overvåking av jordvann - Årsrapport 1999 (*Monitoring programme for terrestrial ecosystems. Monitoring of soil water - Annual report 1999*). Rapport fra skogforskningen 12/00:1-25.

I Program for terrestrisk naturovervåking (TOV) ble det samlet inn jordvann fra humussjiktet (5 cm), humusblandet mineraljord (15 cm) og mineraljord i 40 cm dybde på fire overvåkingsflater i 1999. Disse flatene ligger i Lund (Rogaland), Solhomfjell (Aust-Agder), Møsvatn (Telemark) og Gutulia (Hedmark). Flatene ligger i blåbærskog. Overvåking av jordvannet har pågått fra 1991 (Lund).

Jordprøver, som ble tatt ved starten av overvåkingsserien, viste at Gutulia, Solhomfjell og Lund hadde et nokså forsuret jordsmonn i humussjiktet og i mineralblandet humus. Møsvatn var minst forsuret i de to sjikta med høyere pH, lavere utbyttbar syre (utbyttingsaciditet) og konsentrasjon av total-Al enn de øvrige. Surheten i jordvannet har hatt en ulik utvikling på flatene i disse årene. Særlig på Lund, som har stor deposisjon av N og S, var det fram til 1999 en negativ utvikling av pH i jordvannet. På Møsvatn, noe lenger nord, har pH steget i samme periode.

Den økende surheten i jordvannet på Lund har trolig vært årsak til at  $\text{Ca}^{2+}$  konsentrasjon i 15 cm sjiktet er gått sterkt ned. På Solhomfjell har det i samme periode vært en stabil eller bedret situasjon for  $\text{Ca}^{2+}$  og pH i samme sjikt. I Lund var særlig humussjiktet sterkt preget av nærheten til havet med høge konsentrasjoner av utbyttbart  $\text{Na}^+$ , og  $\text{Cl}^-$  i jordvannet. For K og Mg har utviklingen fra 1991-1999 vist små eller ingen tendenser til endring i tallmaterialet. Det er trolig ulike jordbunnsforhold på Møsvatn som gjør at denne flata har høyere konsentrasjoner av  $\text{Mg}^{2+}$  i 5 og 15 cm sjiktet, enn Lund som ligger langt nærmere havet.

Ut fra datamaterialet ser vi følgende trender:

1. På de fleste flater har konsentrasjonen (sjøsaltkorrigert) av  $\text{SO}_4^{2-}$  vært avtakende i måleperioden, og særlig sterk har nedgangen vært i humussjiktet. I 40 cm sjiktet startet nedgangen først fra 1993, mens det på Møsvatn har vært økning i dette sjiktet.
2. På Solhomfjell og Lund var konsentrasjonen av total-Al i jordvann noe forhøya, samtidig som det molare Ca/Al forholdet til dels var under 1,0 som er antydnet som grenseverdi mot skogskader.
4. Konsentrasjonene av  $\text{NH}_4\text{-N}$  og  $\text{NO}_3\text{-N}$  i jordvannet var på alle flatene i hele overvåkingsperioden nær deteksjonsgrensen (0,03 mg/l) og har hatt en synkende tendens i måleperioden i Gutulia, og en stigende tendens på Møsvatn. Konsentrasjonen av organisk nitrogen (total-N minus uorganisk nitrogen) har hatt en synkende tendens i Gutulia, og en stigende tendens på Møsvatn. I de siste åra har den også steget på Lund og Solhomfjell. Dette er i samsvar med andre feltundersøkelser fra Sør- og Sørvestlandet
5. Diskriminantanalyse av en rekke jordvannsparmetre viste at de fire flatene ble plassert etter en forsuringsgradient, med Gutulia i den "reine" delen og Lund i den "sure" delen.
6. Skogvitalitet i Lund og Solhomfjell er vurdert som god, men i reduserte kronetetthet i Møsvatn (forårsaket av fjellbjørkemåler), med påfølgende mindre strøfall og mer lys og nedbør til skogbunnen, kan på sikt virke inn på vegetasjon og jordsmonn.

7. Høy og til dels økende surhet i jordvannet, tendenser til økende total-N og nedgang i  $\text{Ca}^{2+}$ -konsentrasjonen bør følges nøye framover.

Nøkkelord: Jordvann, næringsstoffer, overvåking.

*Key words: Soil water, nutrients, monitoring.*

## Innhold

1. Innledning .....	4
2. Materialer og metoder .....	4
3. Resultater .....	7
3.1 Jordvann .....	7
3.2 Jord – jordvann .....	17
3.3 Andre relevante data og resultater .....	17
4. Diskusjon .....	19
5. Konklusjon .....	22
6. Summary .....	22
Etterord .....	24
Litteratur .....	24

## 1. Innledning

Program for Terrestrisk naturovervåking (TOV) ble startet opp i 1990. Hensikten med programmet er å overvåke det terrestre naturmiljøet på en slik måte at man på et tidligst mulig tidspunkt kan registrere om langtransporterte forurensninger medfører endringer for jord, planter og dyr (Løbersli 1989). Norsk institutt for skogforskning (NISK) fikk i oppgave å ha ansvaret for langsiktige og regelmessige undersøkelser av jord og jordvann. Regelmessige analyser av jord og jordvann vil kunne identifisere eventuelle endringer i disse mediene over tid. Analyser av jordvann kan sannsynligvis på et tidligere tidspunkt avspeile jordbunnsmessige endringer enn kjemisk analyse av jord, og kontinuerlig innsamling av jordvann i den frostfrie delen av året viser også hvordan konsentrasjonen av elementer i jordvannet varierer gjennom vekstsesongen. Plantenes næringsopptak skjer gjennom opptak av næringsstoffer som er løst opp i jordvannet. Kjennskap til jordvannets kjemiske sammensetning vil derfor gi informasjon om plantenes vekstforhold. Denne rapporten presenterer tidsserier av data fra TOV-flatene Lund, Solhomfjell, Møsvatn og Gutulia.

## 2. Materiale og metoder

Jordvannets kjemiske sammensetning ble i 1999 overvåket på følgende TOV-flater: Lund (LU) i Rogaland, Solhomfjell (SO) i Aust-Agder, Møsvatn (MV) i Telemark og Gutulia (GU) i Hedmark (Fig.1). TOV-flatene ligger hovedsakelig i blåbærdominert skog. I Gutulia, Møsvatn og Lund er det er det bjørkeskog (Brattbakk et al. 1991, Brattbakk et al. 1992, Brattbakk 1993, Eilertsen & Often 1994), mens det på flata i Solhomfjell står barskog (Økland & Eilertsen 1993). På tre av flatene er



jordtypen klassifisert til podsol, mens den i Gutulia er klassifisert til Rego Gleisol (Berg 1994). Jordmonnets egenskaper på hver flate overvåkes ved at det blir foretatt kjemisk analyse av jord (tatt ved spredt prøvetaking) og jordprofilbeskrivelse (Jensen 1992). TOV-flatene, som det her rapporteres resultater fra, ble jordmonnet prøvetatt i perioden 1991 til 1993. Det ble ikke tatt noen jordprøver på TOV-flatene i 1999. Det blir her

Fig. 1. TOV-områder med jordvannovervåking.

*Plots in the Monitoring Programme for Terrestrial Ecosystems (TOV) with soil water sampling.*

likevel gitt en oversikt over jordkjemien i humussjiktet og i 5-15 cm dyp i mineraljorda (Tabell 1 og 2). Disse resultatene er tidligere mer inngående rapportert (Berg 1994), men tas med for gi en bakgrunn for å sammenlike jordvannskjemi og jordkjemi.

Tabell 1. Jordkjemi i humus-sjiktet på TOV-flatene. Volumveide resultater.

*Soil chemistry in the humus horizon at the TOV-plots. The results are volume-weighted.*

Flate		Lund	Solhomfjell	Møsvatn	Gutulia
År		1991	1992	1992	1993
Volumvekt	g/l	410,3	291,6	426,0	329,0
Glødetap	%	66,1	71,8	38,3	77,9
pH		3,9	3,8	4,6	3,8
tot. N	mmol/l	368,0	221,9	237,8	429,1
CEC	mmol(+)/l	107,3	84,9	87,2	84,8
BM	%	57,6	41,5	78,4	40,8
utb. aciditet	mmol/l	46,2	49,3	10,2	49,2
" Al	mmol/l	7,2	9,1	0,7	10,1
" Ca	mmol/l	15,6	11,1	22,8	12,5
" Fe	mmol/l	0,5	1,0	0,3	1,5
" K	mmol/l	5,2	5,6	7,5	3,5
" Mg	mmol/l	11,0	3,1	7,2	2,6
" Mn	mmol/l	0,3	0,7	4,3	0,7
" Na	mmol/l	2,2	0,3	0,7	0,5

(fra Berg 1994)

Tabell 2. Jordkjemi i mineraljorda, 5-15 cm dyp, på TOV-flatene. Volumveide resultater.

*Soil chemistry in mineral soil, 5-15 cm depth, at the TOV-plots. The results are volume-weighted.*

Flate		Lund	Solhomfjell	Møsvatn	Gutulia
År		1991	1992	1992	1993
Volumvekt	g/l	900,3	1047,8	1064,8	723,0
Glødetap	%	7,4	6,4	4,5	18,4
pH		4,6	4,2	4,8	4,3
tot. N	mmol/l	65,7	77,7	74,0	193,8
CEC	mmol(+)/l	36,7	54,0	31,7	64,8
BM	%	10,9	6,2	28,6	18,9
utb. aciditet	mmol/l	32,7	50,7	21,6	52,5
" Al	mmol/l	11,1	16,2	7,7	17,5
" Ca	mmol/l	0,7	0,5	3,3	4,5
" Fe	mmol/l	0,7	0,9	0,6	1,0
" K	mmol/l	1,0	1,5	0,8	1,4
" Mg	mmol/l	0,5	0,4	0,8	0,7
" Mn	mmol/l	0,0	0,0	0,4	0,1
" Na	mmol/l	0,5	0,1	0,3	0,3

(fra Berg 1994)

Innsamling av jordvann startet opp samme år som jordprøvetakingen ble utført, og skjer ved hjelp av *lysimetere* (type Prenart). De består av sugeceller som ble plassert på bestemte dyp i jorda, slik at de tapper vann fra det organiske sjiktet (5 cm) og fra mineraljorda i 15 cm og 40 cm dyp. Fordi jordsmonnet i skog generelt er heterogent, ble det i hvert dyp plassert tre sugeceller som så ble koplet til ei oppsamlingsflaske. Hver jordvannprøve består derfor av vann fra tre ulike sugeceller i samme dyp. En teknisk beskrivelse av lysimeteranlegg og fremgangsmåten ved installering av jordvannsondene er gitt av Berg (1995). Ved vurderingen av resultatene er det viktig å være oppmerksom på at lysimeterene kan lekke små mengder av  $\text{Ca}^{2+}$  og til dels også  $\text{Mg}^{2+}$  en tid etter etablering (Beier et al. 1992), og at dette kan forårsake noe høyere verdier av disse elementene i den første tiden etter installering.

På Lund har det vært problemer med at dyr beit av slangene. Her ble det derfor satt ned tre nye sugeceller i hvert sjikt (5, 15 og 40 cm) i august 1997 til erstatning for de sugecellene som ble satt ned i 1991 (Berg & Aamlid 1998). Den første vanninnsamlingen etter nyinnstalleringen ble ikke tatt med i beregningene. Jordvannet som ble samlet inn fra 15 og 40 cm jorddyp fra august 1997 er derfor fra de nye sugecellene. Siden jord er et svært heterogent materiale, kan forholdene være noe forskjellig rundt de nye sugecellene i forhold til de gamle. Dette kan også virke inn på den kjemiske sammensetningen av jordvannet og resultatene må bl.a. vurderes ut fra dette. I de følgende figurene er likevel resultatene gitt som en sammenhengende tidsserie. På grunn av dårlig sug ble det ikke tappa vann fra 5 cm dyp i Lund fra 1994 -1997. Disse har fungert tilfredsstillende både i 1998 og 1999.

Jordvannet ble samlet inn en gang i måneden. En lokal observatør står for dette arbeidet, Prøvene sendes til NISK for analyse. Tørke kan for eksempel være årsaken til at ikke alle flatene har jordvannprøver hver måned eller at det er for lite vatn for å foreta fullstendig analyse av jordvatnet. I 1998 var det en del driftsproblemer med utstyret i Gutulia og i Møsvatn. I juni 1999 ble det installert nye lysimetre på Gutulia i 15 og 40 cm nivået. I 1999 har utstyret fungert tilfredsstillende. De kjemiske analyseresultata av jordvann presenteres som veidde (dvs mot oppsamlet vannmengde) månedsmiddel for hver flate og hvert sjikt.

Alle analysene er utført ved NISKs Kjemiske analyselaboratorium etter de metoder som er utarbeidet for rutinemessige analyser (Ogner et al. 1991). Laboratoriet er akkreditert etter standarden EN 45001.

Data for jordvannskjemi for TOV flatene er lagret i NISKs database for jordvann fra TOV-flatene.

Statistiske analyser er utført ved hjelp av SAS analysesystemer (SAS Institute inc. 1994)



### 3. Resultater

#### 3.1. Jordvann

Resultatene fra den kjemiske analysen av jordvann fra 5, 15 og 40 cm jorddyp i 1999 er gitt i Tabell 3. pH i jordvannet økte med økende jorddyp på Lund og Solhomfjell. I Gutulia varierte pH en del innen hvert sjikt, men mindre mellom sjiktene. Møsvatn som hadde høyest pH i 15 cm dyp og lavest i 5 cm. Møsvatn var den flata som totalt sett hadde høyest pH (5,8 – 6,5) i alle sjikt. Lund hadde lavest pH i alle sjikt, mellom 4,2-4,8 på månedsbasis. Møsvatn som i 5 cm i oktober 1998 hadde høge K, Al og Fe verdier, hadde dette også i hele 1999 i samme nivå. Utviklingen av årlig (veidd middelværdi) pH i jordvann fra alle sjikt for hver flate fra første innsamlingsår til og med 1999 er vist i Fig. 2. Møsvatn og Gutulia generelt har høgt pH. Solhomfjell hadde lavest pH de første årene i 5 og 15 cm sjikt, men pH har økt utover i overvåkingsperioden. Jordvannet på Lund har vist en stabil avtakende tendens i perioden 1991-1999, men tendensen har flatet ut på et lavt nivå de siste årene. Lund har siden 1993 hatt lavest pH i alle sjikt.

Konsentrasjonen av  $\text{Ca}^{2+}$  i jordvann var høyest i humussjiktet i Gutulia og Møsvatn, henholdsvis 0,6-1,02, mg/l og 0,98 -1,05mg/l og avtok nedover i sjiktene. Møsvatn var den eneste av TOV-flatene med konsentrasjoner av  $\text{Ca}^{2+}$  høyere enn 1,0 mg/l i 15 cm sjiktet. I Gutulia var konsentrasjonen av  $\text{Ca}^{2+}$  0,5 mg/l i 5 cm sjiktet. På Lund ble det for andre gang siden 1993 gjort analyser av vann fra humussjiktet. Her ble  $\text{Ca}^{2+}$  målt til mellom 0,15-0,28 mg/l og bekreftet dermed nedgangen i 1998, mens den i mineraljorda lå mellom 0,13-0,22 mg/l.

Jordvannets konsentrasjon av  $\text{Ca}^{2+}$  i alle sjikt på de ulike flatene i perioden 1991-1999 er vist i Fig. 2. På Lund sank  $\text{Ca}^{2+}$ -konsentrasjon i alle sjikt i disse åra med en ubetydelig stigning i 15 cm nivå i 1999. Startåret for 15 cm med en konsentrasjon på ca 2 mg/l virker ekstremt. Med unntak av første innsamlingsår hadde flaten på Lund kun middelværdier lavere enn 0,8 mg/l i 15 cm sjiktet, og fra 1995 til 1999 var alle konsentrasjonene av  $\text{Ca}^{2+}$  lavere enn 0,5 mg/l. Lund-flata skiller seg signifikant fra de øvrige flatene med de gjennomgående lave  $\text{Ca}^{2+}$  konsentrasjonene ( $F=12,17$ ,  $\text{Pr}>F=0,0006$  for de tre nivåene). Nedgangen i  $\text{Ca}^{2+}$  på Lund-flata er korrelert med nedgangen i pH ( $F=9,93$ ,  $\text{Pr}>F=0,02$ ,  $r^2=0,56$ ) På Solhomfjell har det vært en svak økning i første del av perioden og seinere en nedgang i 15 og 40 cm sjiktene.  $\text{Ca}^{2+}$  konsentrasjonen i Gutulia ligger på omtrent nivå som Solhomfjell i 15 cm sjiktet og i snitt betydelig over i 40 cm sjiktet. Også på Møsvatn virker det som om  $\text{Ca}^{2+}$  konsentrasjonen ligger i overkant av både Lund og Solhomfjell for 15 og 40 cm sjiktet. For 5 cm nivået virker det som Gutulia etter hvert har sunket til et lavere nivå i 1996-99 i forhold til 1993-94.

Tabell 3. Veide månedsmiddel-konsentrasjoner (mg/l) av elementene i jordvann på TOV-flatene i 1999. Ledningsevnen er gitt i  $\mu\text{S/cm}$ . Al=total-aluminium, F1AL=labilt Al. Flatekodene er gitt i Fig. 1.  
 Volum weighted mean concentrations (mg/l) for some elements in soil water from TOV monitoring plots in 1999. The conductivity is given as  $\mu\text{S/cm}$ . Al = total aluminium, F1AL = labile Al. Plot codes are given in Fig. 1.

Flate	Sjikt	Mnd	Ser	LED	pH	Cl	SO <sub>4</sub> -S*	SO <sub>4</sub> -S	S	Tot-N	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	Al	Ca	Fe	K	Mg	Mn	Na	DOC	F1AL	SI
GU	5	8	A	8	6,07	0,3	0,17	0,18	0,23	0,35	0,05	0,03	0,23	0,60	0,19	0,14	0,07	0,016	0,54	11,4	0,07	5,5
GU	5	9	A	10,7	5,74	0,2	0,51	0,52	0,65	0,30	0,03	0,03	0,31	1,02	0,20	0,07	0,10	0,006	0,52	9,1	0,13	10,2
GU	15	7	B	11,1	5,39	0,2	0,24	0,25	0,33	0,36	0,03	0,03	0,31	0,79	0,24	0,30	0,11	0,015	0,58	9,5	0,14	2,05
GU	15	8	A	9,4	6,13	0,4	0,20	0,22	0,28	0,37	0,05	0,03	0,19	0,74	0,08	0,23	0,10	0,058	0,64	13,4	0,06	2,5
GU	15	8	B	9,8	5,39	0,2	0,21	0,22	0,3	0,38	0,06	0,03	0,35	0,67	0,27	0,10	0,10	0,013	0,57	14,5	0,15	2,84
GU	15	9	B	11,6	5,2	0,3	0,32	0,33	0,45	0,35	0,03	0,03	0,38	0,85	0,27	0,10	0,12	0,013	0,61	11,4	0,19	3,25
GU	40	7	B	10,3	5,67	0,2	0,23	0,24	0,31	0,24	0,03	0,03	0,19	0,84	0,09	0,23	0,11	0,014	0,53	6,2	0,1	2,34
GU	40	8	A	9,7	6,23	0,4	0,21	0,23	0,29	0,46	0,03	0,03	0,17	0,68	0,11	0,25	0,09	0,060	0,63	14,1	0,06	2,75
GU	40	8	B	8,5	6,06	0,2	0,21	0,22	0,27	0,28	0,06	0,03	0,23	0,68	0,22	0,12	0,08	0,012	0,55	6,8	0,12	2,9
GU	40	9	B	8,9	5,86	0,2	0,24	0,25	0,33	0,21	0,03	0,03	0,26	0,73	0,27	0,10	0,09	0,012	0,56	6,4	0,14	3,34
LU	5	9	B	35,5	4,28	2,6	0,22	0,34	0,57	1,11	0,07	0,03	0,42	0,21	0,20	0,06	0,18	0,000	3,47	39,5	0,05	2,04
LU	5	11	B	4,56	2,9	0,10	0,10	0,23	0,35	0,45	0,05	0,03	0,20	0,13	0,09	0,04	0,08	0,000	2,62			0,82
LU	15	8	B	4,46	1,1	0,03	0,03	0,08	0,37		0,19	0,06	0,56	0,18	0,14	0,21	0,07	0,000	2,41			1,58
LU	15	9	B	39,9	4,24	1,9	0,25	0,34	0,66	1,21	0,07	0,03	0,67	0,29	0,17	0,11	0,27	0,000	3,57	46,7	0,09	1,73
LU	15	11	B	4,7	3,1	0,13	0,13	0,27	0,45	1,31	0,64	0,03	0,35	0,17	0,08	0,10	0,15	0,000	2,78			1,02
LU	40	8	B	4,7	1,7	0,47	0,47	0,55	0,67	0,77	0,06	0,03	0,32	0,17	0,12	0,09	0,14	0,000	2,19			3,06
LU	40	9	B	22,8	4,69	1,9	0,53	0,62	0,71	0,40	0,05	0,03	0,33	0,15	0,08	0,11	0,14	0,000	2,37	14,3	0,08	2,77
LU	40	11	B	20,6	4,79	2,6	0,37	0,49	0,59	0,30	0,03	0,03	0,22	0,15	0,04	0,10	0,11	0,002	2,45	7,6		1,75
MV	5	6	A	19,5	5,81	0,2	0,25	0,26	0,47	0,83	0,09	0,03	1,46	1,01	1,29	3,19	0,37	0,006	0,29	25,9	0,56	3,73
MV	5	7	A	20,1	6,07	0,3	0,33	0,34	0,52	0,72	0,03	0,03	1,32	1,05	1,20	3,21	0,39	0,005	0,34	22,9	0,24	4,9
MV	5	8	A	18,6	6,22	0,3	0,42	0,43	0,58	0,59	0,05	0,03	0,90	0,98	0,79	2,69	0,36	0,003	0,36	17,5		6,86
MV	15	6	A	14,4	6,52	0,2	0,31	0,32	0,4	0,42	0,03	0,03	0,15	1,19	0,03	1,04	0,35	0,000	0,53	8,3	0,04	2,99

MV	15	7	A	12	6,37	0,3	0,30	0,31	0,38	0,36	0,03	0,03	0,15	1,08	0,03	0,39	0,39	0,001	0,35	8,3	0,05	3,03
MV	15	8	A	11,7	6,37	0,3	0,33	0,34	0,44	0,29	0,03	0,03	0,10	0,95	0,01	0,32	0,35	0,001	0,32	7,6		4,26
MV	15	9	A	11,8	6,37	0,2	0,24	0,25	0,35	0,28	0,03	0,03	0,21	1,15	0,03	0,29	0,40	0,001	0,28	8,7	0,07	3,11
MV	40	6	A	10,8	5,92	0,2	0,60	0,6	0,64	0,29	0,03	0,03	0,15	0,65	0,01	0,55	0,13	0,001	0,51	3,6	0,1	2,54
MV	40	7	A	10,3	5,99	0,3	0,58	0,59	0,63	0,22	0,03	0,03	0,13	0,56	0,01	0,49	0,12	0,001	0,56	4,1	0,08	2,93
MV	40	8	A	10,1	6,11	0,3	0,60	0,61	0,66	0,19	0,03	0,03	0,10	0,56	0,01	0,46	0,12	0,001	0,59	3,5	0,06	3,52
MV	40	9	A	11,3	5,81	0,6	0,56	0,59	0,65	0,13	0,03	0,03	0,18	0,63	0,01	0,51	0,13	0,001	0,63	5,1	0,11	3,2
SO	5	6	A	4,62	1,2	1,2	0,21	0,27	0,39	1,52	0,49	0,03	0,79	0,96	0,12	0,23	0,10	0,002	0,94			24
SO	5	9	A	4,44	1,4	1,4	0,25	0,31				0,04										
SO	15	6	A	4,86	1	1,14	0,14	0,19	0,25	1,17	0,31	0,03	0,36	0,34	0,04	0,15	0,07	0,001	0,64			22
SO	15	9	A	4,86	1,2	1,2	0,21	0,26	0,36	1,38	0,13	0,03	0,39	0,57	0,03	0,23	0,12	0,007	0,82			28,7
SO	40	5	A	5,66	1,2	1,2	0,69	0,74	0,79	1,16	0,18	0,04	0,21	0,27	0,02	0,58	0,09	0,001	1,36			9,09
SO	40	6	A	11,9	5,27	0,7	0,69	0,72	0,74	0,30	0,03	0,03	0,23	0,29	0,02	0,27	0,09	0,000	1,01	5,7	0,16	8,85
SO	40	7	A	11,8	5,25	0,8	0,68	0,72	0,79	0,16	0,07	0,05	0,10	0,41	0,01	0,29	0,10	0,001	0,97	6,8		9,98
SO	40	9	A	12,2	5,45	0,7	0,70	0,73	0,8	0,38	0,07	0,03	0,28	0,45	0,02	0,39	0,13	0,001	0,93	7,6		13,6

SO<sub>i</sub>-S\* = sjøsaltkorrigert / corrected for sea salt

Set = På grunn av driftssikkerhet er det to prøveserier fra LU og GU / From LU and GU there are two sample series

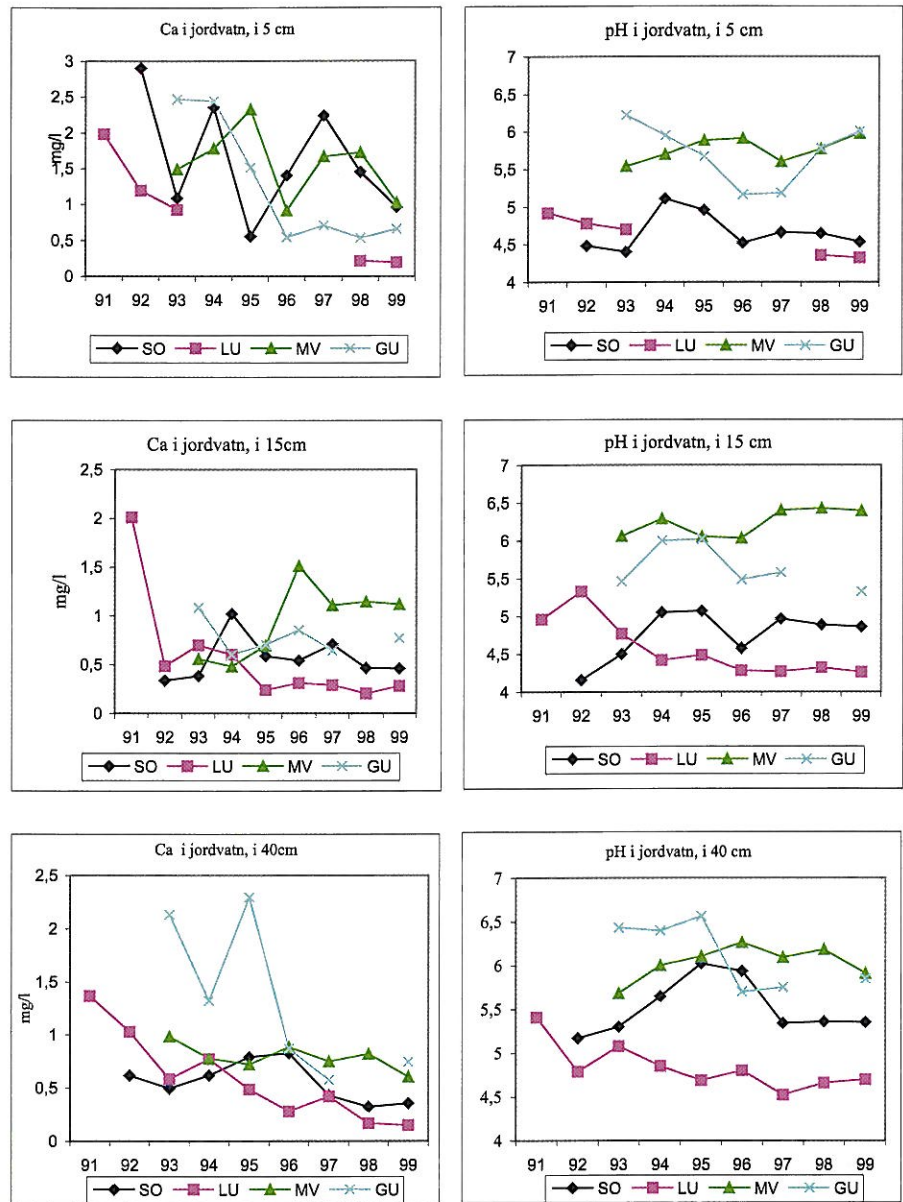


Fig. 2. Konsentrasjon (mg/l) av  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  og  $\text{K}^+$ , og pH (veidd middelverdi) i jordvann fra alle jorddyb på TOV-flatene fra 1991 til 1999. Flatekodene er gitt i Fig. 1. Concentrations (mg/l) of  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  and  $\text{K}^+$  and pH (weighted mean) in soil water from 5, 15 and 40 cm soil depths at the TOV-plots from 1991 to 1999. Plot codes are given in Fig. 1.

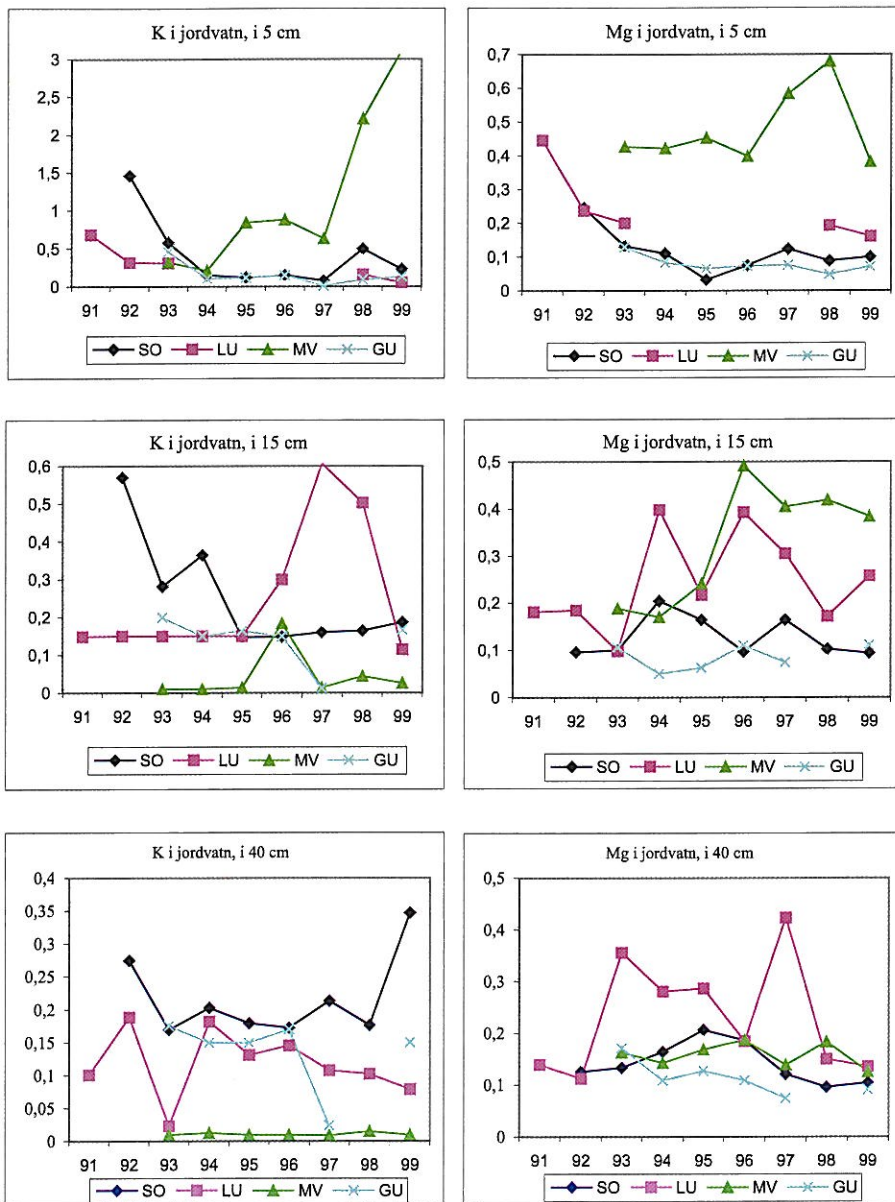


Fig. 2 forts.....

Konsentrasjonen av  $Mg^{2+}$  (mg/l) i jordvannet var generelt betydelig lavere enn  $Ca^{2+}$  i Gutulia, Møsvatn og Solhomfjell. På Møsvatn var konsentrasjonen i 40 cm nivået lavere enn i de to øvre, mens det i Lund var høyest og lavest konsentrasjon i 15 cm (0,07 og 0,15 mg/l). I Gutulia og Solhomfjell var det mindre eller ingen forskjell mellom feltene og nivåene. Gutulia hadde de laveste målte  $Mg^{2+}$  konsentrasjoner i 1999 med 0,08 mg/l. De høyeste konsentrasjonene, 0,35-0,40 mg/l, ble målt på Møsvatn i 5 og 15 cm. Flatene på Lund hadde de høyeste konsentrasjonene av  $Mg^{2+}$  i 40 cm jorddybde med verdier mellom 0,13-0,23 mg/l, og noe lavere 0,1-0,17 mg/l i 15 cm. Dette var lavere enn i 1997. I begge mineraljordsjiktene på Lund var konsentrasjonene (mg/l) av  $Mg^{2+}$  bare litt lavere enn  $Ca^{2+}$ . Også for  $Mg^{2+}$ -konsentrasjonene var det store utslag mellom årene innen hver flate og store forskjeller mellom flatene (Fig. 2). På Møsvatn var det signifikante forskjeller mellom de ulike nivåene ( $F=32,41$   $Pr>F=0,0001$ ) bortsett fra på Lund minsket årssvingningene med dybden.

Jordvannets konsentrasjon av total-Al varierte ganske mye (Tabell 3). Møsvatn hadde de høyeste konsentrasjonene av tot-Al i humussjiktet, opptil 1,46 mg/l, men flatene hadde som i de 3 foregående år lav konsentrasjon i mineraljorda. De andre feltene hadde vesentlig lavere konsentrasjoner i humussjiktet. Lund hadde de høyeste konsentrasjonene av tot-Al i mineraljorda (0,22-0,67 mg/l). Generelt avtok tot-Al med dybden.

Konsentrasjonene på TOV-flatene av uorganisk, labilt Al (F1AL i Tabell 3) som er den Al-fraksjonen som kan være skadelig for planterøttene, ble i 1998 for første gang målt i noen jordvannprøver på TOV-flatene. Det var svært små mengder, generelt under 0,2 mg/l. Den høyeste verdien, 0,58 mg/l ble målt i humussjiktet i Lund. I 1999 gjentok dette seg. Det var fortsatt små verdier, men den høyeste (0,56 mg/l) ble målt i humussjiktet i Lund.

Konsentrasjonene av labilt Al samsvarte godt med tot-Al (linær reg. for alle sjikt:  $r^2 = 0,73$ ,  $F=113$ ,  $Pr>F=0,0001$ ).

Flatene i Gutulia, og Lund hadde de lave konsentrasjoner av  $K^+$  i alle sjiktene, lavere enn 0,1 mg/l i humussjiktet, og Møsvatn hadde de høye konsentrasjonene i humussjiktet, opptil 3,21. Fra 1994 til 1999 har det vært en sterk økning, mens det hele tida har vært mer eller mindre konstant lave konsentrasjoner i mineraljorda, Fig. 2.

Pga. litt liten prøvemengde ble det ikke målt ledningsevne i alle prøver i 1999. Av de som ble målt hadde Lund (som tidligere) noe høyere verdier enn de øvrige flatene.

I 1999 avtok total-Nitrogen forholdsvis jamt med dybden på Møsvatn. På de øvrige feltene er det svært vanskelig "å lese" slike trender i materialet (Tabell 3). Lund og Solhomfjell hadde de høyeste konsentrasjoner av tot-N i 5 og 15 cm sjiktet med opptil 1,52 mg/l på Solhomfjell i 5 cm nivået. Tidstrendene framkommer på Fig. 3. Tot-N økte i alle sjikt på Møsvatn fram til 1999. På Lund og Solhomfjell har det i de seinere åra vært en sterk økning i 15 cm sjiktet. Konsentrasjonen av  $NO_3-N$  lå i 1999 som i 1998 på deteksjonsgrensa, unntatt for ei prøve, 0,06 mg/l, fra 15 cm på Lund og 3 prøver fra Solhomfjell. Dette svarte omtrent til situasjonen fra da TOV startet i 1991. Det var litt større variasjon hva gjelder  $NH_4-N$  og Solhomfjell skilte seg ut med noen få høye verdier fra humussjiktet, opptil 0,49 mg/l, og i 15 cm med opptil 0,31 mg/l. Konsentrasjonen av uorganisk nitrogen i jordvannet var lav på

alle flatene og i alle sjikt, men noen målinger av  $\text{NO}_3\text{-N}$  i på Lund og Solhomfjell var imidlertid litt høyere enn ellers.

Konsentrasjonen av  $\text{Cl}^-$  i jordvannet fra overvåkingen startet og til utgangen av 1999 i 15 cm jorddyb er vist i Fig. 3. Sammenliknet med de andre flatene hadde jordvannet fra Lund den høyeste konsentrasjonen av  $\text{Cl}^-$  både i 15 og 40 cm og trolig i 5 cm sjiktet i hele overvåkingsperioden ( $F=649,6$ ,  $\text{Pr}>F=0,0001$  for sjikta sett under ett). På de øvrige flatene var middelkonsentrasjonen av  $\text{Cl}^-$  lavere enn 2,5 mg/l i alle sjikt. Lavest var den i Gutulia med mindre enn 0,5 mg/l i alle sjikt. Jordvannet fra flaten på Lund hadde de største variasjonene i konsentrasjonen av  $\text{Cl}^-$  mellom årene og mellom målingene samme år, men av Tabell 3 framgår det at de høyeste konsentrasjonene (3,11 mg/l i 15 cm), inntraff på høsten. Det samme var tilfelle i 1998.

Konsentrasjonen av sjøsaltkorrigert  $\text{SO}_4\text{-S}$  i jordvannet fra oppstart og ut 1999 har vært lav på alle flatene, Fig. 3. Lund og Møsvatn har hatt konsentrasjoner i 15 cm sjikt over 1 mg/l bare ett år hver og i 40 cm-sjiktet hadde Lund og Solhomfjell til sammen 3 år der det ble registrert verdier noe over eller omkring 1 mg/l. Spesielt i Gutulia og på Solhomfjell er det en avtakende tendens i  $\text{SO}_4\text{-S}$  konsentrasjonen fra oppstart og utover, men i 1999 har det vært en svak øking i alle sjikt på disse flatene. På Møsvatn ser det ut til å være en avtakende trend i kurva både i 5 og 15 cm, mens konsentrasjonen er mer eller mindre stabile i 40 cm, med litt store utlag i 1998 og 99. I humussjiktet og i 15 cm sjiktet ser det etter hvert ut til at Møsvatn har de høyeste konsentrasjonene, men at det er liten forskjell på felta. I 40 cm sjiktet skiller Gutulia seg klart ut med de laveste konsentrasjonene ( $F=70,5$ ,  $\text{Pr}>F=0,0001$ ) og har også en stigende tendens i 40 cm sjiktet. Her ble den høyeste konsentrasjonen (0,88 mg/l) målt i 1998.

Som for  $\text{SO}_4\text{-S}$  og  $\text{Cl}^-$  var også konsentrasjonen av  $\text{Na}^+$  nokså lik i alle sjiktene innenfor hver flate. Det var godt samsvar mellom  $\text{Na}^+$  og  $\text{Cl}^-$  verdiene i jordvannet ( $\text{Df}=293$ ,  $F=349$ ,  $\text{Pr}>F=0,0001$ ,  $r^2=0,48$ ). I 1999 (Tabell 1) som tidligere år, hadde Lund de høyeste verdiene av  $\text{Na}^+$  i jordvannet (2,2- 3,5mg/l). Den laveste verdien (0,52 mg/l) ble registrert i 5cm i Gutulia. Konsentrasjonen av  $\text{Fe}^{3+}$  i jordvannet var lavere enn 1,0 mg/l på alle flatene og i alle sjikt i 1999, bortsett fra to målinger i 5 cm sjiktet på Møsvatn (1,29mg/l). Konsentrasjonen avtok med økende jorddyb, unntatt i Gutulia. Silisium er et kvantitativt viktig element i jordvannet, men betydningen av det er lite utredet. I Fig. 3 er vist utviklingen i heile perioden. Særlig utmerker Solhomfjell seg med økende konsentrasjoner siden oppstart og skiller seg nå markert ut fra de øvrige felta ( $F=152$ ,  $\text{Pr}>F=0,0001$ ).

Forholdet mellom  $\text{Ca}/\text{Al}$  (mol/mol) i jordvannet varierte mye mellom flater og sjikt (Tabell 4), og det synes også at det er en variasjon mellom år i  $\text{Ca}/\text{Al}$ -forholdet på felta. Gjennomsnittet for 1991-1999 og for 1998-99 viser at Lund har de laveste verdiene. Både Lund og Solhomfjell hadde verdier  $\text{Ca}/\text{Al} < 1$ , i 15 cm. På Lund var  $\text{Ca}/\text{Al}$  svært lavt i hele profilet i 1998-99, også Solhomfjell hadde lave verdier. Møsvatn og Gutulia hadde de høye verdier i begge periodene både i 15 og 40 cm. Derimot var verdiene i 5 cm ikke spesielt gunstige (0,61) på Møsvatn. En utvidelse av forholdet til  $\text{Ca}+\text{Mg}+\text{K}/\text{Al}$  (se Sverdrup & Warfinge 1993) (bare 1998-99), viser at i Lund er forholdet fortsatt under, eller knapt, 1 i 5cm og 40cm nivå.

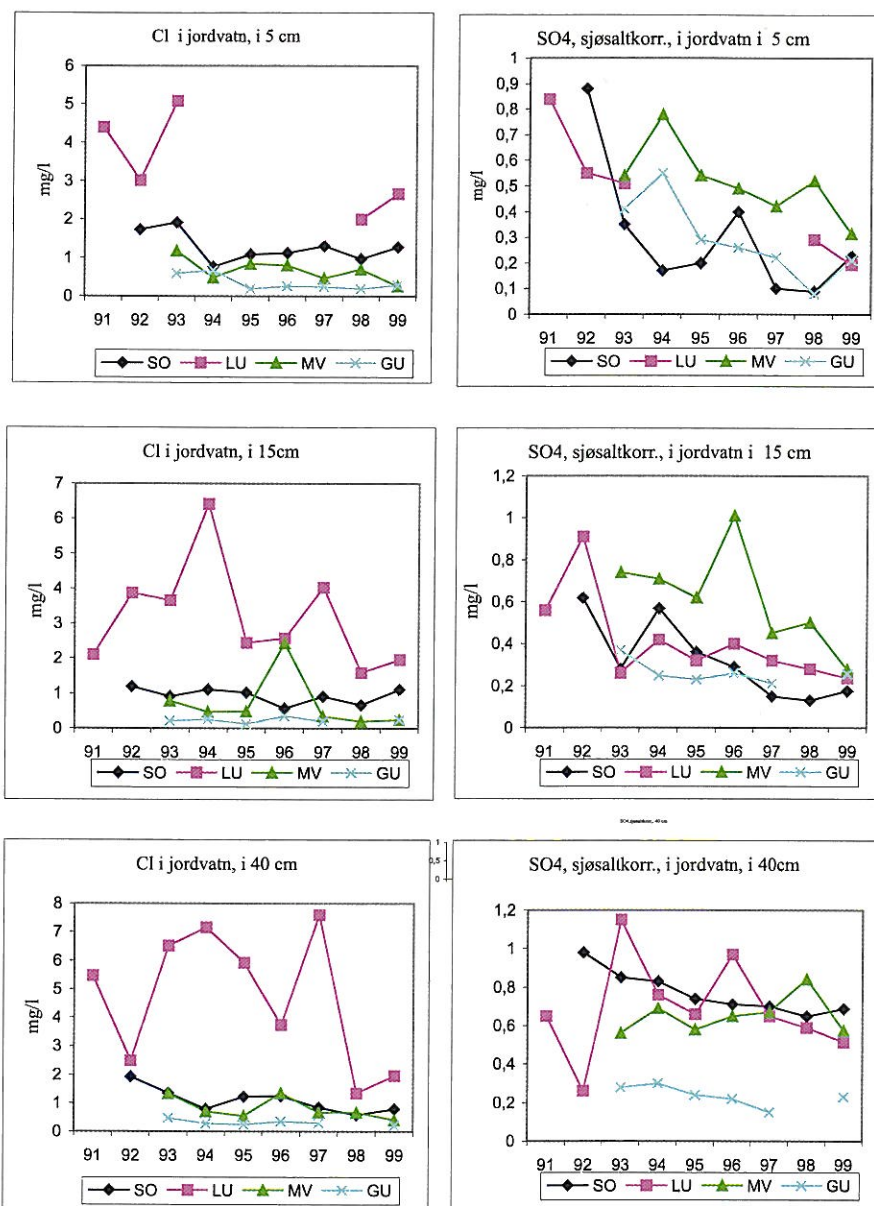


Fig. 3. Konsentrasjon (mg/l) av Cl<sup>-</sup> og sjøsalkkorrigert SO<sub>4</sub>-S, tot-N og Si i jordvann fra alle jorddyb på TOV-flatene fra 1991 til 1999. Flatekoder er gitt i Fig. 1.  
Concentrations (mg/l) of Cl<sup>-</sup> and SO<sub>4</sub>-S, total N, and Si in soil water from all soil depth at the TOV-plots from 1991 to 1999. Plot codes are given in Fig. 1.



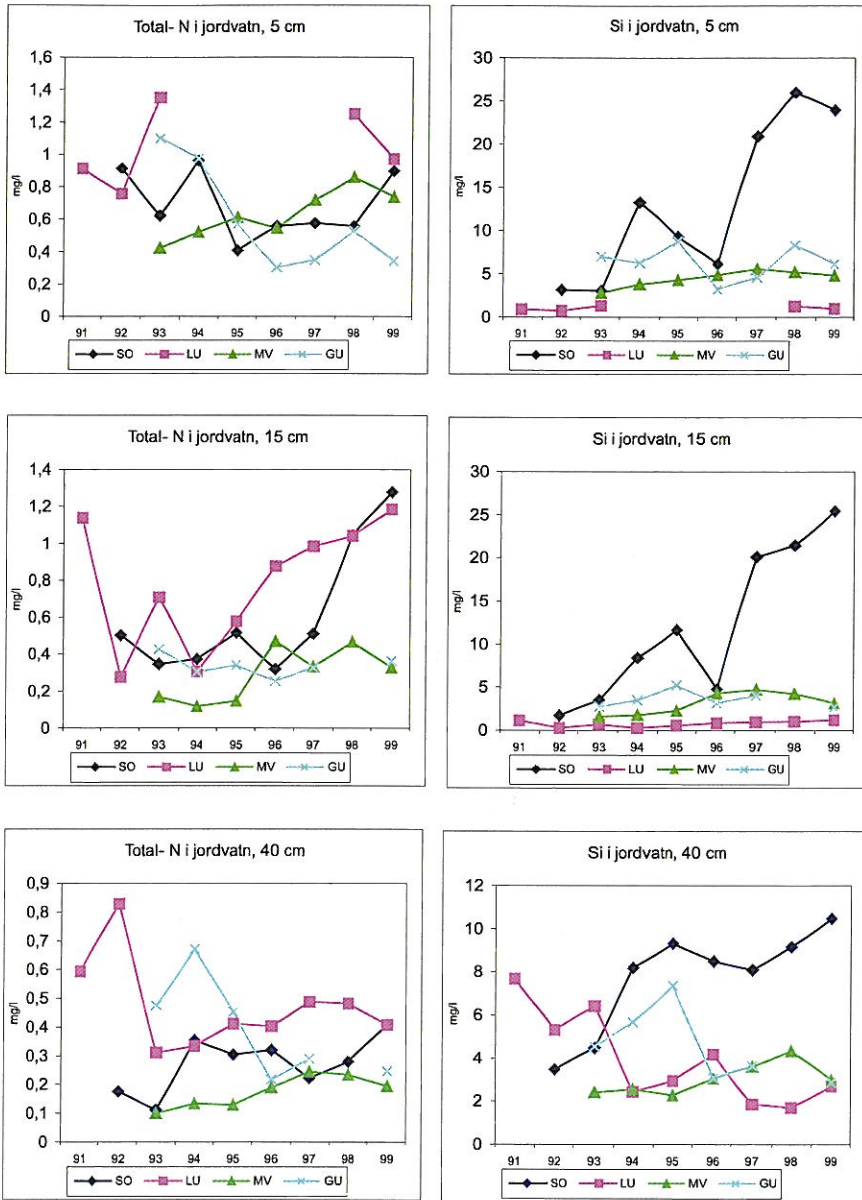


Fig. 3 forts....

Tabell 4. Molar Ca/Al- og (Ca+Mg+K)/Al-forholdet i jordvannet i 5, 15 og 40 cm sjiktet. Middeler for perioden 1991-1999 og 1998-1999.

*Molar Ca/Al and (Ca+Mg+K)/Al relationship in the soil water at 5, 15 and 40 cm. Means of the period 1991-1999 and 1998-1999.*

	Ca/Al			Ca/Al			(Ca+Mg+K)/Al		
	1991 - 1999			1998 - 1999			1998 - 1999		
	5	15	40	5	15	40	5	10	40
Gutulia	1,32	1,59	2,75	1,83	1,53	2,19	2,54	2,23	3,01
Lund	1,23	0,81	0,52	0,17	0,35	0,30	0,53	1,33	0,99
Møsvatn	1,08	6,54	4,28	0,61	4,28	2,81	2,26	8,64	6,00
Solhomfjell	2,24	0,51	1,52	0,89	0,81	1,08	1,28	1,40	2,38

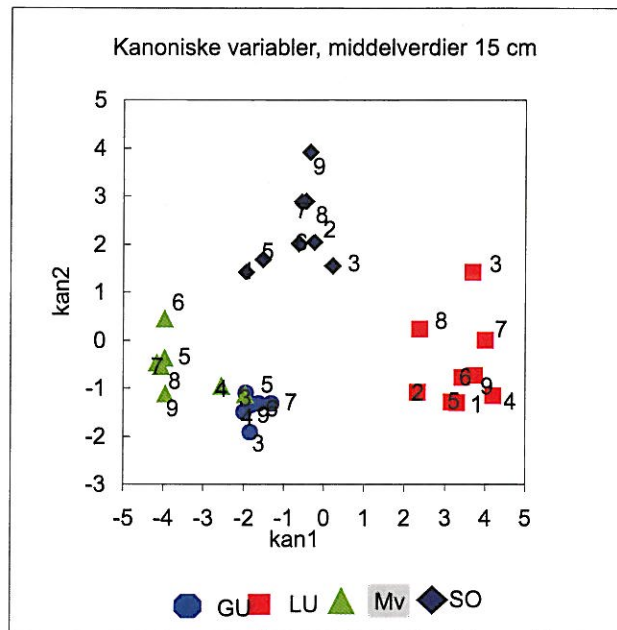


Fig.4. Kanonisk diskriminantanalyse av  $H^+$  (pH),  $NH_4^+ + NO_3^-$ ,  $SO_4-S$ , Cl,  $Na^+$ ,  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ , (total)Al, Fe og Si fra 15 cm sjikt i 1991-1999 (1-9). LU=Lund, SO=Solhomfjell, MV=Møsvatn, GU=Gutulia.

*Canonical discriminant analysis of  $H^+$  (pH),  $NH_4^+ + NO_3^-$ ,  $SO_4-S$ , Cl,  $Ca^{2+}$ ,  $Na^+$ ,  $K^+$ ,  $Mg^{2+}$ , (total)Al, Fe and Si from 15 cm depth i 1991-1999 (1-9). LU=Lund, SO=Solhomfjell, MV=Møsvatn, GU=Gutulia.*

Kanonisk diskriminantanalyse av datamaterialet (pH,  $\text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ , (total)Al, Fe og Si) fra 15 cm sjiktet i 1991-1999. viser en tydelig forskjell mellom Lund, Solhomfjell og Møsvatn/Gutulia som glir litt mer over i hverandre (Fig. 4).

Skårene (punktene i diagrammet) til de kanoniske variabler, kan1 og kan2 som kan sammenliknes med x og y verdier, er identifisert til felt og år (1=91 og 9=99). De representerer da et forenkla uttrykk for de variablene som inngår i analysen, se ovenfor. Multivariat test er signifikant (0,0001).  $R^2$  er 0,87 og 0,67 mellom kan(onisk) variabel 1 og 2 og flatene, og høyst signifikante. 68 % av eigenverdien blir forklart langs akse 1 og 19 % langs akse 2. Tolkning av datagrunnlaget viste at høye konsentrasjoner av  $\text{H}^+$  (dvs. lave pH verdier),  $\text{Na}^+$  og  $\text{Cl}^-$  verdier gir en positiv plassering langs aksene. Langs akse 2 er det særlig de høye Si- og høye  $\text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^-$  konsentrasjoner assosiert med positive verdier for variablene. Diskriminantanalysen antyder dermed en klar forurensningseffekt (pH) langs kan1 (akse 1), mens den ikke framkommer så tydelig langs kan2. Ledningsevnen (ionestyrken) i jordvannet samsvarer godt med akse 1 (Df=93, F=246,5 P>F=0,0001,  $r^2 = 0.73$ ). Det er en svak årsgradient i materialet for Møsvatn og Solhomfjell langs akse 2.

### 3.2. Jord-jordvann

Sammenhengen mellom utbyttbare mengder  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ , Al og totalt N i 5-15 cm sjiktet i mineraljorda og mengden av de samme elementene løst i jordvann fra 15 cm jorddyb for hver flate er vist i Fig. 5. For jordvannet ble valgt et gjennomsnitt fra åra 1993-99, for til en viss grad å utlikne årsvariasjon innen flata. For både jordvannskjemi og jordkjemi er det brukt mmol/l ved utrekningen av %-forholdet. For jordkjemien er data gitt i Tabell 2.

Generelt utgjorde de løste stoffene i jordvannet bare en mindre prosentdel av de utbyttbare mengder av de samme stoffa i jord. Dette var tilfelle også for  $\text{Ca}^{2+}$  og  $\text{Mg}^{2+}$  som normalt forekommer i størst prosentvis mengde, unntatt på Møsvatn. Her hadde K et like høgt forhold som  $\text{Mg}^{2+}$ . På Solhomfjell svarte  $\text{Ca}^{2+}$  i jordvannet til 3,7 % av det utbyttbare  $\text{Ca}^{2+}$ . For  $\text{Mg}^{2+}$  var det størst prosent (1,92) på Lundflata, og noe mindre på Møsvatn og Solhomfjell. For  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  og til dels  $\text{K}^+$  skilte Gutulia seg ut fra de øvrige flatene med lavere verdier i jordvannet i forhold til de utbyttbare reservene i jord. Høgest prosentdel for  $\text{K}^+$  var det på Møsvatn (1,57). Mengdene av Al og tot-N i jordvæska var ubetydelige i forhold til jord.

### 3.3. Andre relevante data og resultater

På tre av TOV-områdene (Lund, Møsvatn og Gutulia) har NISK i flere år utført skoglige vitalitetsregistreringer (utført som en del av et internt NISK prosjekt). Ved vurdering av miljøkvaliteten på TOV-flatene kan slike data gi interessant tilleggsmasjon

Kronetettheten var best (høgest) i Gutulia (87 - 94%) og lavest på Møsvatn (83 - 88%, 1992-1997), men med en sterk reduksjon i 1998 og 1999 til hhv. 44% og 46% (Fig. 6).

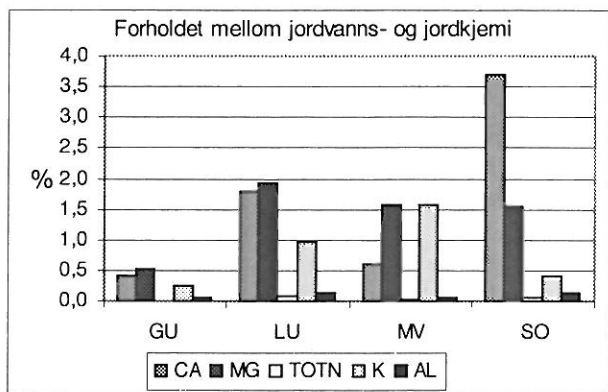


Fig. 5. Forholdet mellom  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ , Al og tot-N i jordvannet (15 cm) de samme elementa i 5-15 cm sjiktet i mineraljorda (Tabell 2). For jordvannet er brukt middelværdien av åra 1993-1999. Flatekoder er gitt i Fig. 1.

*The relationship between  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ , Al and total-N in soil water from 15 cm depth as percentage of  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ , and total N in 5-15 cm soil depth (Table 2). For soil water mean values of 1993-1999 were used. Plot codes are given in Fig. 1.*

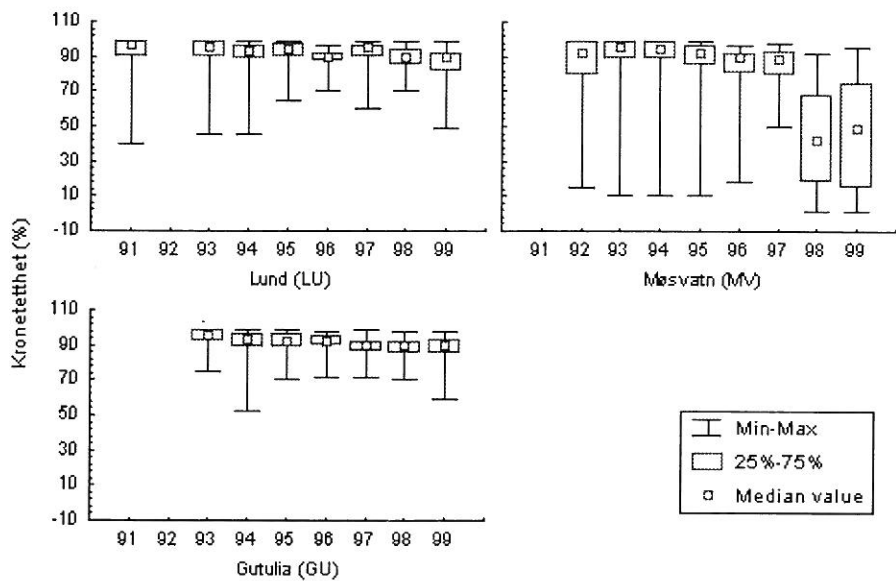


Fig. 6. Kronetetthet (%) på Lund, Møsvatn og Gutulia fra 1991 til 1999.

*Crown density (%) at Lund, Møsvatn and Gutulia from 1991 to 1999.*

#### 4. Diskusjon

Det er stor variasjon mellom flatene med hensyn på ulike naturforhold og kulturpåvirkning. Det samme gjelder klima, noe som til dels skyldes at flatene ligger i ulike høgdelag. Høgest ligger Møsvatn (1030 m o.h.), mens Lund ligger lavest (350 m o.h.). På Solhomfjell er det barskog, mens de øvrige flatene ligger i bjørkeskog. Det er en del floristisk variasjon mellom flatene (Brattbakk m.fl. 1991, Brattbakk m.fl. 1992, Brattbakk 1993, Eilertsen & Often 1994, Økland & Eilertsen 1993). De klimatiske forholdene (spesielt nedbør og temperatur), samt vegetasjonsperiodens lengde, er viktige både for utformingen av vegetasjonen og prosesser i jorda, og som har betydning for kvaliteten på både jordsmonnet og på jordvannet. Tilførsel av ulike stoffer gjennom luft og nedbør har også betydning i denne sammenhengen.

Dette framgår i noen grad av Figur 5 som viser at i de mest forurensete områdene Solhomfjell og Lund er en større prosentdel av Ca, Mg og Al i jordvatnet enn på Møsvatn og Gutulia. Dette kan også delvis forklares ved at jorda er svært heterogen. Prøvene av jordvannet representerer et mindre areal av flata, og de gjenspeiler ikke den samme spredningen/variasjonen slik som jordprøvene som ble tatt fra hele flata. Både kjemiske og biologiske prosesser påvirker det som skjer i jorda, og kan dermed virke inn og føre til at sammenhengen mellom konsentrasjonen av elementer i jord og konsentrasjonen av elementer løst i jordvann ikke er så tydelig som vi forventer. Avstanden i tid mellom jordprøve- og jordvannsprøvetakingsår er nå forholdsvis lang, og samsvaret mellom jord og vannprøver kan minke. Resultater fra andre overvåkingsprogram i Norge viser imidlertid at det sannsynligvis ikke skjer så store endringer i jordas kjemiske sammensetning over en 5 års periode (Jensen 1993, Jensen og Frogner 1994, Jensen 1995). De endringer som eventuelt måtte finne sted vil ofte være vanskelig å kvantifisere på grunn av jordas naturlige heterogenitet. En antar derfor at påvirkninger utenfra på økosystemet lettere vil observeres i jordvannet, enn i den faste jorda. Det er likevel klart at det nå er behov for ei ny runde med jordprøver, for å dekke opp en viss usikkerhet i forhold til tolkingen av jordvannsdatabasene.

I tillegg til de forhold som er nevnt ovenfor, spiller berggrunnen, vegetasjonstypen og tilførselen av sure komponenter via luft og nedbør en viktig rolle for jordas pH. Dessuten har klimaet betydning for nedbrytningshastigheten av det organiske materialet (Berg et al. 1993), og dette påvirker produksjonen av svake organiske syrer i de øvre jordlaget. Flaten på Lund har høgere pH i jorda enn flatene på Solhomfjell og Gutulia (Tabell 1 og 2). Til tross for dette er Lund den flaten med lavest pH i jordvannet (Fig. 2 og Berg & Aamlid 1998). Dette viser noe av kompleksiteten i et økosystem. Siden Lund også har størst syretilførsel, kan det se ut til at jordvannets pH avhenger delvis av tilførselene via nedbøren (Tørseth og Manø 1997). Den stigende pH i jordvannet med økende dyp, med unntak av Møsvatn fra 15 til 40 cm, blir indikert i Fig. 2, og tydeliggjort i Tabell 5. Her er vist pH i to perioder i de forskjellige nivå. GLM-analysen viste derimot at det ikke er signifikant forskjell mellom alle sjikt, men bortsett fra Lund i perioden 1996-99 er den sikker mellom 5 og 40 cm.  $\text{Ca}^{2+}$  er det dominerende utbyttable kationet i jorda (Tabell 1 og 2). At konsentrasjonen av  $\text{Ca}^{2+}$  i jordvannet er større enn konsentrasjonen av  $\text{Mg}^{2+}$  og  $\text{K}^+$  må sees på bakgrunn av dette. Forskjellene mellom elementene i konsentrasjon (mg/l eller som mol/l) er minst på Lund. Her har det vært en nedgang i  $\text{Ca}^{2+}$ -konsentrasjonen i alle sjikt i tiden fra 1991 til 1999 (Fig. 2 og Berg & Aamlid 1997).

Særlig er  $\text{Ca}^{2+}$ -konsentrasjonen i jordvannet i humussjiktet (5 cm) signifikant forskjellig fra de to andre sjiktene (Tabell 5) i de to periodene 1991-1999, med unntak av Gutulia, se også  $\text{Ca}^{2+}$ -kurvene i Fig. 2.  $\text{Mg}^{2+}$  konsentrasjonen på Lund viser ikke en tilsvarende trend som  $\text{Ca}^{2+}$ . Dette kan indikere at en stor del av  $\text{Mg}^{2+}$  i jordvatnet her er av marin opprinnelse (lineær reg.  $\text{Mg}^{2+}$  og  $\text{Cl}^-$  for alle sjikt i Lund i heile prøveperioden har  $r^2=0,42$ ,  $F=76,8$ ,  $\text{Pr}>0,0001$ ). De marine avsetningene av  $\text{Ca}^{2+}$  er derimot små. Resultater fra analyser av jordvann fra noen av flatene i Overvåkingsprogram for skogskader (OPS) viser også en reduksjon i  $\text{Ca}^{2+}$ -konsentrasjonen i løpet av overvåkingsperioden (Solberg et al. 1997). Men nedgangen i  $\text{Ca}^{2+}$  i jordvannet fra 15 cm i Lund skyldes antakelig ikke bare påvirkning fra sondene, siden det i samme sjikt er en økning i Møsvatn, Solhomfjell og Gutulia i overvåkingsperioden. Det blir derfor stadig mer sannsynlig at nedgangen er reell og at utviklingen derfor bør følges nøye framover. Det bør også suppleres med nye jord-, og helst også plantep prøver, for å klarlegge forholdene.

Tabell 5. Resultat av sammenlikning av middelverdiene i hele overvåkingsperioden 1991-1999 og for siste del av overvåkingsperioden 1996-1999 for pH og kalsium i tre forskjellige sjikta. Ulik bokstav bak middelverdier i samme linje statistisk forskjellige tall. Lik bokstav i samme linje angir verdier som statistisk ikke er ulike .

*Comparison of mean values of pH and  $\text{Ca}^{2+}$  between the 5, 15 and 40 cm layers in the monitoring periods 1991-1999 and 1996 - 1999. Different letters in the rows denote significant difference.*

pH										
								Sjikt, cm		
		obs	df	SS1	F	P>F	R2	5	15	40
Gutulia	91-99	73	70	4,36	13,54	0,0001	0,27	5,66 a	5,74 a	6,22 b
	96-99	32	29	1,23	8,44	0,0013	0,37	5,35 a	5,54 a	5,82 b
Lund	91-99	106	103	1,99	3,17	0,0460	0,06	4,65 a	4,76ab	4,99 b
	96-99	39	36	1,92	1,73	0,1910	0,09	4,38 a	4,52 a	4,92 a
Møsvatn	91-99	68	65	2,48	20,33	0,0001	0,38	5,75 a	6,22 b	6,06 b
	96-99	33	30	0,99	5,78	0,0075	0,28	5,86 a	6,28 b	6,15 b
Solhomfj	91-99	93	80	14,91	69,68	0,0001	0,61	4,66 a	4,83 b	5,57 c
	96-99	51	48	8,21	66,50	0,0001	0,73	4,61 a	4,88 b	5,56 c
Ca										
		obs	df	SS1	F	P>F	R2	5	15	40
Gutulia	91-99	70	67	7,53	2,19	0,1200	0,06	1,27 a	0,74 a	1,51 a
	96-99	32	29	0,04	0,69	0,5100	0,05	0,66 a	0,74 a	0,69 a
Lund	91-99	105	102	6,67	11,08	0,0001	0,18	1,16 a	0,50 b	0,61 b
	96-99	39	36	0,03	1,03	0,3660	0,05	0,20 a	0,28 a	0,27 a
Møsvatn	91-99	65	62	4,94	17,11	0,0001	0,36	1,40 a	0,82 b	0,78 b
	96-99	32	29	1,42	10,43	0,0004	0,42	1,20 a	1,11 a	0,72 b
Solhomfj	91-99	90	87	27,93	44,27	0,0001	0,50	1,97 a	0,74 b	0,55 b
	96-99	50	47	13,94	25,23	0,0001	0,52	1,80 a	0,70 b	0,48 b

I Norge er som regel den antropogene tilførselen av  $\text{Cl}^-$  og  $\text{Na}^+$  liten. De vesentligste mengdene av disse elementene kan spores tilbake som sjøsalt, mest nær kysten. Konsentrasjonen av  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  og for så vidt  $\text{Mg}^{2+}$ , vil derfor variere fra år til år avhengig av nedbørmengde og vindforhold. På grunn av nær beliggenhet til havet hadde Lund høyest konsentrasjon av både  $\text{Cl}^-$  og  $\text{Na}^+$  i jordvannet, mens den var noe mindre på Solhomfjell og minst på Møsvatn og Solhomfjell.  $\text{Cl}^-$  bindes dårlig i jorda, og konsentrasjonen av dette elementet i jordvannet varierer vanligvis lite med jorddyppet. På årsbasis var konsentrasjonen av  $\text{Na}^+$  nokså konstant i jordvannet i alle sjikt. Forvitringen av  $\text{Na}^+$  fra mineralmaterialet er også som regel liten, og beregninger fra Birkenes viser at tilført  $\text{Na}^+$  omtrent balanserer utvaskingen (Kvindesland et al. 1994).

Innhold av  $\text{SO}_4\text{-S}$  i jordvann kan komme fra flere kilder, blant annet sjøvann, biologiske prosesser og luftforurensninger. I de kystnære områder vil derfor sjørøkket øke konsentrasjonen av  $\text{SO}_4\text{-S}$  i jordvannet. I Tabell 3 er det gitt både sjøsaltkorrigert  $\text{SO}_4\text{-S}$  og reelt målt  $\text{SO}_4\text{-S}$ . Korrigeringen for sjøsalt viser at størstedelen av  $\text{SO}_4\text{-S}$  kommer fra andre kilder (Fig. 3), men i Lund var sjøsaltinnholdet i jordvannet relativt større enn i de øvrige flatene. Tilsvarende er registret i Søgne (Vest-Agder) og i Nedstrand (Nord-Rogaland) (Solberg m. fl. 1999). Nedbørsanalyser fra TOV-flatene viser også at Lund mottar større mengder av sjøsaltene enn de andre flatene (Tørseth og Manø 1997). På alle flatene synes det å ha vært en nedgang i  $\text{SO}_4\text{-S}$  i perioden 1991-1991 (Fig. 3). Denne nedgangen skyldes trolig nedgang i tilførsel av langtransportert  $\text{SO}_4\text{-S}$ . Tilsvarende er det i jordprøver målt en nedgang i vannløselig  $\text{SO}_4\text{-S}$  i øvre del av humussjiktet for perioden 1990-1999 i Storgamafeltet, Telemark (SFT 2000, in *print*.)

I følge nedbørsdataene tilføres det også mer  $\text{NO}_3\text{-N}$  til flata på Lund enn til de andre flatene. Nitrogen er imidlertid en minimumsfaktor i våre skogøkosystem og  $\text{NO}_3\text{-N}$  tas raskt opp i plantene. Den mengden  $\text{NO}_3\text{-N}$  som finns i jordvannet er derfor i stort sett svært lave konsentrasjoner på alle flatene. Dette ser vi også fra de nevnte OPS-flatene (Solberg m.fl. 1999)

Konsentrasjoner av tot-Al (Al i Tabell 3) på over 1,0 mg/l var det i humussjiktet på Møsvatn. Ellers har den vært under 1,0 mg/l, noe som er forholdsvis lavt. Total Al ligger noenlunde i samme størrelsesorden som de intensive flater i OPS (Solberg m. fl. 1999). Det er landsomfattende undersøkelser, men det er som i TOV-datasettet vanskelig å finne noen tydelig trend, for eksempel fra mye til lite Al etter forurensningsbelastningen. Også konsentrasjonene for labilt Al på OPS-flatene var i hovedsak lavere enn 1,0 mg/l i 1998 (Solberg m. fl. 1999) og samsvarte godt med TOV-flatene (Tabell 3). Forsøk gjort med små granplanter i næringsløsning gav mindre skade på røttene ved konsentrasjonen av uorganisk Al på 2,0 mg/l eller 80  $\mu\text{M/l}$  (Nygaard & Eldhuset 1999). Vi kan imidlertid ikke se bort fra at det kan oppstå episoder der jordvannets konsentrasjon av uorganisk Al vil være ugunstig for planterøttene.  $\text{Ca}/(\text{total})\text{Al}$ -forholdet er lavt på Lund og Solhomfjell (Tabell 4) og disse TOV-flatene er mest utsatt for langtransporterte forurensninger. Det er hevdet at dette  $\text{Ca}/(\text{total})\text{Al}$ -forholdet kan indikere toksiske virkninger av Al hvis forholdet er lavere enn 1,0 (Ulrich 1989), seinere er dette utvidet til  $(\text{Ca}+\text{Mg}+\text{K})/\text{Al}<1$  (Sverdrup & Warfinge 1993).

Den kanoniske diskriminantanalysen viste at jordvatnet i 15 cm nivået har forskjellig kjemisk kvalitet. Minst forskjell var det mellom Møsvatn og Gutulia. En

del av årsaken til at årstrender manglet langs akse 1, var nok variasjonen eller mangelen på variasjon i konsentrasjonen av Na og Cl ( se Fig. 3). Det samme gjalt for Si. Disse elementene hadde også gjennomsnittlig høyest konsentrasjon. Heller ikke for akse 2 lot det seg gjøre å identifisere en sikker årsgradient i materialet for de enkelte felt (Fig. 4). Akse 1 representerer en forurensingsgradient i og med at de gjennomsnittlige skårene (centroiden) var størst for Lund og så Solhomfjell og lavest for Gutulia.

De skoglige registreringer i 1999 viste at på to av flatene, Lund og Gutulia, var skogtilstanden som forventet rimelig bra og som i foregående år (Fig. 6). Men i Møsvatnområdet var det et ekstremt bjørkemålerangrep som også gikk sterkt utover TOV-flata og forårsaka redusert kronetetthet. Redusert kronetetthet med påfølgende mindre strøfall og mer lys og nedbør til skogbunnen kan virke inn på vegetasjon og jordsmonn.

## 5. Konklusjon

Analysene av de innsamlede jordvannsprøvene på TOV-flatene viste at den kjemiske kvaliteten på jordvannet har endret seg i løpet av overvåkingsperioden, 1991 – 1999. Organisk bundet nitrogen var den viktigste nitrogenkomponenten i jordvannet. De små konsentrasjonene av nitrat og ammonium skyldtes at disse i vekstsesongen mest sannsynlig blir tatt opp av vegetasjonen. I måleperioden har mengden av total-N variert og har en stigende tendens i 15 cm nivå på Lund og Gutulia, og samtidig viser nedfallet av nitrogen i disse områdene foreløpig ingen sikre tegn på nedgang.

På Lund har det vært en tydelig nedgang i  $\text{Ca}^{2+}$  konsentrasjonen i jordvann i måleperioden, mens den ikke er fullt så markert på Gutulia og Solhomfjell.

pH i jordvannet på Lund ligger nå på et lavere (dvs. høyere konsentrasjon av  $\text{H}^+$ ) nivå enn det gjorde tidligere. På de andre flatene er utviklingen noe mer jevn.

En del av endringene i jordvannskjemi skyldes naturlige svingninger, men kan også være påvirket av nedbørens kvalitet.

## 6. Monitoring Programme for Terrestrial Ecosystems. Monitoring of Soil Water - Annual report 1998

Within the framework of the Programme for Terrestrial Monitoring (TOV), soil water has been collected from four monitoring plots in 1999 (Fig. 1). Three of the plots are located in birch forest, and one (Solhomfjell) is located in spruce forest. Height above sea level, annual precipitation and growing season temperature show significant variation between plots. Bilberry and bilberry-crowberry are the main forest vegetation types on the plots. Results from 1999 are reported and compared with results from previous years. On all plots soil water has been sampled from three soil depths; the organic layer, the upper and the lower part of the mineral soil (5, 15 and 40 cm soil depth, respectively). The chemical composition of the soil water depends largely on the chemistry of the soil and the amount and quality of the precipitation. The soil chemistry in the organic layer and from 5-15 cm depth in the mineral soil is shown in Table 1 and 2, respectively. The concentrations of some of



the main elements in soil water from 1999 are shown in Table 3. The pH in soil water increases usually with soil depth. The annual variations in pH from 1991 to 1999 are shown in Fig. 2. In Lund there has been a slight decrease in pH in these years, although continuous measurements are lacking at 5 cm. Fig. 2 also show the same tendencies for  $\text{Ca}^{2+}$  as for pH in Lund. There is greater annual variation in concentrations of  $\text{Ca}^{2+}$  and other element in the humic layer than mineral layers. Also other nutrients, such as  $\text{Mg}^{2+}$  and  $\text{K}^+$ , were found with the highest concentrations in the organic soil layer and decreased with increasing soil depth.

The concentrations of  $\text{SO}_4^{2-}$  were in 1999 below 1 mg/l and only with a few exceptions larger than 1 from 1991 to 1999 (Fig. 3).  $\text{SO}_4^{2-}$  generally show a decreasing trend in that period. Total Al were lower than 1.0 mg/l for most of the samples. The amount of inorganic Al, which is known to be toxic for plant roots at certain concentrations was first time measured on the plots in 1999. However, the values were small, well below 1.0 mg/l. That were similar to results from Monitoring Programme for Forest Damage (OPS) in Norway which shows that the concentration of inorganic Al varies between plots and soil depths. Here, however, at some plots there were concentrations of inorganic Al up to 1,77 mg/l (Solberg et al.1999). Results from experiments with Norway spruce seedlings (*Picea abies*) in nutrient solution show slight decline of the roots at concentrations of inorganic Al at 2.0 mg/l (Nygaard & Eldhuset 1999). This may suggest that even if the concentration of inorganic Al at the TOV-plots were below 1.0 mg/l, there could be periods with higher concentrations that could have effected the plant roots.

The concentration of  $\text{Cl}^-$  varied greatly between the plots (Fig. 3), due to the deposition of sea salts. The plot in Gutulia had minimal variation between years and here the  $\text{Cl}^-$  concentrations were always below 1.0 mg/l. In contrast, the plot in Lund had the highest concentrations of  $\text{Cl}^-$  and the highest seasonal and annual variation. The between layer differences were usually small each year. Analyses of precipitation show that Lund had the highest supply  $\text{Cl}^-$  of all plots (Tørseth & Manø 1997).

*Canonical discriminant analysis* of soil water chemistry of a number of variables group the plot *centroides* along an acidification gradient at one axis, with Lund and Solhomfjell in the "polluted part".

Even if the supply of N also is highest in Lund, soil water from all plots has shown low amounts of N (mostly at detection levels for  $\text{NH}_4^+$  and  $\text{NO}_3^-$ , Table 3) throughout the monitoring period. This may be explained by the low content of plant available nitrogen in Norwegian soils, and plant uptake would minimize any leaching.

At present these results give no indication of forest decline in Lund despite decreased pH and concentration of  $\text{Ca}^{2+}$  in the soil water, nor that these results are caused by acid deposition. They may be due to natural variations in the chemical composition of soil water. It is therefore recommended to continue the soil water monitoring.

## Etterord

Takk til alle observatørene som har hatt mange turer for å samle inn jordvann, til NISK teknikerne Kari Hollung og Per Arne Vollum som har foretatt feltinspeksjoner og service, punchet og kvalitetskontrollert dataene. Takk til alle kolleger som har gitt nyttig hjelp og kommentarer til manuset. Undersøkelsene er finansiert av, og utført på oppdrag fra Direktoratet for Naturforvaltning.

## Litteratur

- Beier, C., Hansen, K., Gundersen, P. & Andersen, R. 1992. Long-term field comparison of ceramic and poly (tetrafluoroethene) porous cup soil water samplers. *Environ. Sci. Technol.*, Vol.26, 1992.
- Berg, B., McClaugherty, C. and Johansson, M.-B. 1993. Litter mass-loss rates in late stages of decomposition at some climatically and nutritionally different pine sites. Long-term decomposition in a Scots pine forest. VIII. *Can. J. Bot.* 71, 680-692.
- Berg, I.A. 1994. Program for terrestrisk naturovervåking. Overvåking av jord og jordvann 1993. Rapport nr. 56, Terrestrisk naturovervåkingsprogram (TOV). Rapp. Skogforsk 17/94: 1-21.
- Berg, I.A. 1995. Program for terrestrisk naturovervåking. Overvåking av jord og jordvann 1994. Rapport nr. 60, Terrestrisk naturovervåkingsprogram (TOV). Rapp. Skogforsk 8/95: 1-16.
- Berg, I.A. & Aamlid, D. 1997. Program for terrestrisk naturovervåking. Overvåking av jordvann. Årsrapport 1996. Rapport nr. 74, Terrestrisk naturovervåkingsprogram (TOV). Rapp. Skogforsk 4/97: 1-20.
- Berg, I.A. & Aamlid, D. 1998. Program for terrestrisk naturovervåking. Overvåking av jordvann. Årsrapport 1997. Rapport nr. 85, Terrestrisk naturovervåkingsprogram (TOV). Rapp. Skogforsk 5/98: 1-20.
- Brattbakk, I., Høyland, K., Økland, R. H., Wilmann, B. & Engen, S. 1991. Terrestrisk naturovervåking. Vegetasjonsovervåking 1990 i Børgefjell og Solhomfjell. Rapport nr. 15, Terrestrisk naturovervåkingsprogram (TOV). NINA oppdragsmelding 91:1-90.
- Brattbakk, I., Gaare, E., Hansen, K.F. & Wilmann, B. 1992. Terrestrisk naturovervåking. Vegetasjonsovervåking i Åmotsdalen og Lund 1991. Rapport nr. 33, Terrestrisk naturovervåkingsprogram (TOV). NINA Oppdragsmelding 131:1-66.
- Brattbakk, I. 1993. Terrestrisk naturovervåking. Vegetasjonsovervåking i Møsvatn - Austfjell 1992. Rapport nr. 39, Terrestrisk naturovervåkingsprogram (TOV). NINA oppdragsmelding 209:1-33.
- Eilertsen, O. & Often, A. 1994. Terrestrisk naturovervåking. Vegetasjonsekologiske undersøkelser i boreal bjørkeskog i Gutulia nasjonalpark. Rapport nr. 51, Terrestrisk naturovervåkingsprogram (TOV). NINA Oppdragsmelding 285:1-69.
- Jensen, A. 1992. Terrestrisk naturovervåking. Overvåking av jord og jordvann 1991. Rapport nr. 29, Terrestrisk naturovervåkingsprogram (TOV). Rapp. Skogforsk 9/92: 1-26.
- Jensen, A. 1993. Jordstatus på intensivt overvåkede forskningsflater. Endringer etter 5 år. Rapp. Skogforsk 1/93:1-23.

- Jensen, A. & Frogner, T. 1994. Jordstatus på intensivt overvåkede forskningsflater. Endringer etter 5 år. 1987-1992. Rapp. Skogforsk 8/94:1-30.
- Jensen, A. 1995. Jordstatus på intensivt overvåkede forskningsflater. Endringer etter 5 år. 1988-1993. Rapp. Skogforsk 5/95:1-20.
- Kvindesland, S., Jørgensen, P., Frogner, T. & Aamlid, D. 1994. Hydrogeochemical processes in a forested watershed in southern Norway. *Aktuelt fra Skogforsk* 10/94:1-37.
- Løbersli, E. M. 1989. Terrestrisk naturovervåking i Norge. DN rapport 1989,8:1-98.
- Nygaard, P. H. & Eldhuset T. D. 1999. The effects of Al on Mg limited *Picea abies* seedlings grown at a constant Ca/Al ratio. Manuscript. 11 s. I: Nygaard, P. H.: Effects of sulphur and nitrogen on boreal forest vegetation, soils and nutrient uptake. Norges Landbrukshøgskole Doctor Scientarium theses 1999:3
- Ogner, G., Opem, M., Remedios, G., Sjøtveit, G. & Sørli, B. 1991. The chemical analysis program of the Norwegian Forest Research Institute, 1991. Norsk institutt for skogforskning, Ås. 21 s.
- SAS Institute Inc. 1994. SAS/STAT user's guide, version 6, 4 th. ed. Cary, N.C.
- Solberg, S., Horntvedt, R., Berg, I.A., Aamlid, D. & Tørseth, K. 1997. Intensive skogovervåkingsflater resultater fra 1996. *Aktuelt fra Skogforsk* 6/97:1-23.
- Solberg, S., Breivik, K., Clarke, N., Groeggen, T. Røsberg, I., Tørseth, K., Aamlid, D. & Aas, W. 1997. Intensive skogovervåkingsflater. Resultater fra 1998. *Aktuelt fra Skogforsk* 5/99:1-24.
- Sverdrup, H. & Warfinge, P. 1993. The effect of soil acidification on the growth of trees, grass and herbs as expressed by the (Ca+Mg+K)/Al ratio. Reports in Ecology and Environmental Engineering 1993:2. Lund University. 108 s.
- Tørseth, K. & Manø, S. 1997. Overvåking av langtransportert forurenset luft og nedbør. Atmosfærisk tilførsel, 1996. NILU:OR33/97. Statlig program for forurensningsovervåking. Rapp. 703/97:1-204.
- Ulrich, B. 1989. Effects of acidic precipitation on forest ecosystems in Europe. I: Adriano, D. C. & Johnson, A. H. (red.). Acidic precipitation. Volume 2: Biological and ecological effects. 189-272. Advances in Environmental Science. Springer Verlag. New York.
- Økland, R.H. & Eilertsen, O. 1993. Vegetation-environment relationships of boreal coniferous forests in the Solhomfjell area, Gjerstad, S Norway. *Sommerfeltia* 16: 1-256. Oslo.

## Rapporter utgitt innen Program for terrestrisk naturovervåking (TOV)

- \* Løbersli, E.M. 1989. Terrestrisk naturovervåking i Norge. DN-rapport 8-1989: 1-98.
- 1. Fremstad, E. (red.). 1989. Terrestrisk naturovervåking. Rapport fra nordisk fagmøte 13.- 14.11. 1989. NINA Notat 2: 1-98.
- 2. Holten, J.I., Kålås, J.A. & Skogland, T. 1990. Terrestrisk naturovervåking. Forslag til overvåking av vegetasjon og fauna. NINA Oppdragsmelding 24:1-49.
- 3. Heggberget, T.M. & Langvatn, R. 1990. Terrestrisk naturovervåking. Bruk av fallvilt i miljøprøvebank. NINA Oppdragsmelding nr. 28: 1-21.
- 4. Alterskjær, K., Flatberg, K.I., Fremstad, E., Kvam, T. & Solem, J.O. 1990. Terrestrisk naturovervåking. Etablering og drift av en miljøprøvebank. NINA Oppdragsmelding 25: 1-31.
- 5. Sandvik, J. & Axelsen, T. 1992. Bestandsovervåking av trekkfugl ved fangst og trekkteflinger. Belyst ved materiale innsamlet ved Jomfruland Fuglestasjon og Mølen Ornitologiske Stasjon. Naturundersøkelser A.S., (stensil): 1-168.
- 6. Nygård, T. 1990. Rovfugl som indikatorer på forurensning i Norge. Et forslag til landsomfattende overvåking. NINA Utredning 21: 1-34.
- 7. Kålås, J.A., Fiske, P. & Pedersen, H.C. 1990. Terrestrisk naturovervåking. Landsomfattende kartlegging av miljøgiftbelastninger i dyr. NINA Oppdragsmelding 37: 1-15.
- 8. Hilmo, O. 1991. Terrestrisk naturovervåking. Lavkartlegging i Børgefjell 1990. DN-notat 1991- 4: 1-38.
- 9. Nybø, S. 1991. Terrestrisk naturovervåking. Tungmetaller og aluminium i pattedyr og fugl. DN-notat 1991- 9: 1-62.
- 10. Hilmo, O. & Wang, R. 1991. Terrestrisk naturovervåking. Lavkartlegging i Solhomfjell - 1990. DN-notat 1991- 6: 1-50.
- 11. Johnsen, P. 1991. Maur i skogovervåking: Økologi og metoder. Zoologisk Museum, Universitetet i Bergen. (stensil): 1-14.
- 12. Bruteig, I.E. 1991. Terrestrisk naturovervåking. Landsomfattende lavkartlegging på furu 1990. DN-notat 1991-8: 1-35.
- 13. Frogner, T. 1991. Terrestrisk naturovervåking (TOV). Jordforsuringsstatus 1990. Norsk Institutt for Skogforskning (stensil):1-28.
- 14. Jensen, A. 1991. Terrestrisk naturovervåking (TOV). Jordovervåking i Solhomfjell og Børgefjell 1990. Norsk institutt for skogforskning (stensil): 1-20.
- 15. Brattbakk, I., Høyland, K., Halvorsen Økland, R., Wilmann, B. & Engen, S. 1991. Terrestrisk naturovervåking. Vegetasjonsovervåking 1990 i Børgefjell og Solhomfjell. NINA Oppdragsmelding 91: 1-90.
- 16. Frisvoll, A.A. 1991. Terrestrisk naturovervåking. Nitrogen i mose fra Agder og Trøndelag. NINA Oppdragsmelding 80: 1-19.
- 17. Strand, O. & Skogland, T. 1991. Terrestrisk naturovervåking. Metodeutvikling for overvåking av fjellrev. (stensil).
- 18. Spidsø, T.K. & Pedersen, H.C. 1991. Bestands- og reproduksjonsovervåking av hare. NINA Oppdragsmelding 62: 1-15.
- 19. Bruteig, I.E. 1990. Landsomfattende kartlegging av epifyttisk lav på furu, Manual. Universitetet i Trondheim, AVH, Botanisk institutt, (stensil): 1-17.

20. Kålås, J.A., Framstad, E., Fiske, P., Nygård, T. & Pedersen, H.C. 1991. Terrestrisk naturovervåking. Smågnagere og fugl i Børgefjell og Solhomfjell, 1990. NINA Oppdragsmelding 85: 1-41.
21. Løken, A. 1990. Terrestrisk naturovervåking. Moser- en kjemisk analyse. Universitetet i Trondheim, inst. for org. kjemi, NTH og botanisk avd. Vitenskapsmuseet, (stensil).
22. Joranger, E. & Røyset, O. 1991. Program for terrestrisk naturovervåking. Overvåking av nedbør og nedbørkjemi i referanseområder Børgefjell og Solhomfjell 1990. Norsk institutt for luftforskning, NILU OR 31/91: 1-21.
23. Kvamme, H. 1991. Rapport for forprosjekt "Undersøkelse av stammelav på fjellbjørk". Norsk institutt for jord- og skogkartlegging, (stensil).
24. Kålås, J.A., Framstad, E., Fiske, P., Nygård, T. & Pedersen, H.C. 1991. Terrestrisk naturovervåking. Metodemanual, smågnagere og fugl. NINA Oppdragsmelding 75: 1-36.
25. Fremstad, E. 1990. Terrestrisk naturovervåking. Vegetasjonsovervåking 1990. NINA Oppdragsmelding 42: 1-35.
26. Fremstad, E. 1991. Terrestrisk naturovervåking. Vegetasjonsovervåking 1991. NINA Oppdragsmelding 83: 1-26.
27. Økland, R.H. & Eilertsen, O. 1993. Vegetation-environment relationships of boreal coniferous forest in the Solhomfjell area, Gjerstad, S Norway. *Sommerfeltia*, 16: 1 - 254. Oslo.
28. Skaare, J.U. & Føreid, S. 1991. Terrestrisk naturovervåking. Organiske miljøgifter i hare og orrfugl. Fellesavdelingen for farmakologi og toksikologi, Veterinærinstituttet/Norges veterinærhøgskole, (stensil):1-10.
- 29.\* Nybø, S. 1992. Terrestrisk naturovervåkingsprogram. Sammendrag av resultater fra 1990. DN-rapport 1992-3: 1-30.
29. Jensen, A. 1992. Terrestrisk naturovervåking. Overvåking av jord og jordvann 1991. Rapp. Skogforsk 9/92: 1-25.
30. Joranger, E. & Røyset, O. 1992. Program for terrestrisk naturovervåking. Overvåking av nedbørkjemi i Børgefjell, Solhomfjell, Lund og Åmotsdalen 1990-91. Norsk institutt for luftforskning, NILU OR: 58/92: 1-54.
31. Hilmo, O. & Wang, R. 1992. Terrestrisk naturovervåking. Lavkartlegging i Åmotsdalen og Lund 1991. DN-notat 1992-3: 1-73.
32. Kålås, J.A., Framstad, E., Nygård, T. & Pedersen, H.C. 1992. Terrestrisk naturovervåking. Smågnagere og fugl i Børgefjell, Åmotsdalen, Solhomfjell og Lund, 1991. NINA Oppdragsmelding 132: 1-38.
33. Brattbakk, I., Gaare, E., Fremstad Hansen, K. & Wilmann, B. 1992. Terrestrisk naturovervåking. Vegetasjonsovervåking i Åmotsdalen og Lund 1991. NINA Oppdragsmelding 131: 1-66.
34. Bruteig, I.E. & Øien, D-I. 1992. Terrestrisk naturovervåking. Landsomfattende kartlegging av epifyttisk lav på fjellbjørk. Manual. ALLFORSK, Universitetet i Trondheim, (stensil): 1-27.
35. Wegener, C., Hansen, M. & Bryhn Jacobsen, L. 1992. Vegetasjonsovervåking på Svalbard 1991. Effekter av reinbeite ved Kongstjorden, Svalbard. Norsk Polarinstitutt. Meddelelser nr. 121: 1-54.
36. Kålås, J.A. & Lierhagen, S. 1992. Terrestrisk naturovervåking. Metallbelastninger i lever fra hare, orrfugl og lirype i Norge. NINA Oppdragsmelding 137: 1-72.
37. Fremstad, E. 1992. Terrestrisk naturovervåking. Vegetasjonsovervåking 1992. NINA Oppdragsmelding 148: 1-23.
38. Hilmo, O., Bruteig, I.E. & Wang, R. 1993. Terrestrisk naturovervåking. Lavkartlegging i Møsvatn-Austfjell 1992. ALLFORSK, AVH: 1-50.

39. Brattbakk, I. 1993. Terrestrisk naturovervåking. Vegetasjonsovervåking i Møsvatn-Austfjell. NINA Oppdragsmelding 209: 1-33.
40. Kålås, J.A. & Framstad, E. 1993. Terrestrisk naturovervåking. Smågnagere, fugl og næringskjedestudier i Børgefjell, Åmotsdalen, Møsvatn-Austfjell, Lund og Solhomfjell, 1992. NINA Oppdragsmelding 221: 1-38.
41. Nygård, T., Jordhøy, P. & Skaare, J.U. 1993. Terrestrisk naturovervåking. Landsomfattende kartlegging av miljøgifter i dvergfalk. NINA Oppdragsmelding 232: 1-24.
42. Tørseth, K. & Røyset, O. 1993. Terrestrisk naturovervåking. Overvåking av nedbørkjemi i Ualand, Solhomfjell, Møsvatn, Åmotsdalen og Børgefjell, 1992. Norsk institutt for luftforskning, NILU OR 13/93: 1-64.
43. Jensen, A. & Frogner, T. 1993. Terrestrisk naturovervåking. Overvåking av jord og jordvann 1992. Rapp. Skogforsk 12/93: 1-21.
44. Gaare, E. 1993. Terrestrisk naturovervåking. Radiocesium-målinger i planter, vegetasjon og rein fra Børgefjell, Dovre-Rondane og Møsvatn-Austfjell 1992. NINA Oppdragsmelding 230:
45. Hannisdal, A. & Myklebust, I. 1994. Terrestrisk naturovervåking. Sammendrag av resultater fra 1990 - 1992. DN-rapport 1994 - 6: 1-76.
46. Bruteig, I.E. 1993. Terrestrisk naturovervåking. Epifyttisk lav på bjørk – landsomfattende kartlegging 1992. ALLFORSK, Universitetet i Trondheim: 1-42.
47. Kålås, J.A. & Myklebust, I. 1994. Akkumulering av metaller i hjortedyr. NINA Utredning 58: 1-45.
48. Økland, R.H. 1994. Reanalyse av permanente prøveflater i granskog i referanseområdet Solhomfjell, 1993. DN-utredning 1994 - 5: 1-42.
49. Tørseth, K. & Røstad, A. 1994. Overvåking av nedbørkjemi i tilknytning til feltforskningsområdene, 1993. Norsk institutt for luftforskning, NILU OR 25/94: 1-78.
50. Nygård, T., Jordhøy, P. & Skaare, J.U. 1994. Terrestrisk naturovervåking. Miljøgifter i dvergfalk i Norge. NINA Forskningsrapport 56: 1-33.
51. Eilertsen, O. & Often, A. 1994. Terrestrisk naturovervåking. Vegetasjonsøkologiske undersøkelser av boreal bjørkeskog i Gutulia nasjonalpark. NINA Oppdragsmelding 285: 1-69.
52. Eilertsen, O. & Brattbakk, I. 1994. Terrestrisk naturovervåking. Vegetasjonsøkologiske undersøkelser av boreal bjørkeskog i Øvre Dividal nasjonalpark. NINA Oppdragsmelding 286: 1-82.
53. Kålås, J.A., Framstad, E., Pedersen, H.C. & Strand, O. 1994. Terrestrisk naturovervåking. Fjellrev, hare, smågnagere, fugl og næringskjedestudier i TOV-områdene, 1993. NINA Oppdragsmelding 296: 1-47.
54. Wang, R. & Bruteig, I.E. 1994. Terrestrisk naturovervåking. Lavkartlegging i Gutulia og Dividal. ALLFORSK Rapport 1: 1-51.
55. Gaare, E. 1994. Overvåking av 137 Cs i TOV-områdene Dividal, Børgefjell, Dovre/Rondane, Gutulia og Solhomfjell sommeren 1993. NINA Oppdragsmelding 300: 1-29.
56. Berg, I.A. 1994. Terrestrisk naturovervåking. Overvåking av jord og jordvann 1993. Rapp. Skogforsk 17/94: 1-17.
57. Jacobsen, L.B. 1994. Reanalyse av permanente prøveflater i overvåkingsområdet ved Kongsfjorden, Svalbard 1994. Norsk Polarinstitut. Rapport nr 87: 1-29.
58. Tørseth, K. & Johnsrud, M. 1994. Program for terrestrisk naturovervåking. Tilførsler til Gutulia og Dividalen og representativitet av nærliggende NILU stasjoner. Norsk institutt for luftforskning, NILU TR 17/94: 1-38.

59. Strand, O., Espelien, I.E. & Skogland, T. 1995. Metaller og radioaktivitet i villrein fra Rondane. NINA fagrapport 05: 1-40.
60. Berg, I.A. 1995. Program for terrestrisk naturovervåking. Overvåking av jordvann 1994. Rapp. Skogforsk 8/95: 1-12.
61. Tørseth, K. & Hermansen, O. 1995. Overvåking av nedbørkjemi i tilknytning til feltforskningsområdene, 1994. Norsk institutt for luftforskning, NILU OR 33/95: 1-53.
62. Kålås, J.A., Framstad, E., Pedersen, H.C. & Strand, O. 1995. Terrestrisk naturovervåking. Fjellrev, hare, smågnagere, fugl og næringskjedestudier i TOV-områdene, 1994. NINA Oppdragsmelding 367: 1-52.
63. Nygård, T. 1995. Tungmetaller i fjær fra dvergfalk i Norge. NINA Oppdragsmelding 373: 1-18.
64. Espelien, I. 1996. Undersøkelse av metaller i reinsdyr fra Troms og Nordland. NINA Oppdragsmelding 442: 1-13.
65. Bruteig, I.E. 1996. Terrestrisk naturovervåking. Gjenkartlegging av epifyttisk lav i Solhomfjell og Børgefjell 1995. ALLFORSK Rapport 7: 1-42.
66. Eilertsen, O. & Stabbetorp, O. 1997. Terrestrisk naturovervåking. Vegetasjonsøkologiske undersøkelser av boreal bjørkeskog i Børgefjell nasjonalpark. NINA Oppdragsmelding 408: 1-84.
67. Tørseth, K. 1996. Overvåking av langtransportert forurenset luft og nedbør. Atmosfærisk tilførsel 1995. SFT rapport nr. 663/96: 1-189.
68. Berg, I.A. 1996. Program for terrestrisk naturovervåking. Overvåking av jordvann 1995. Rapp. Skogforsk 12/96: 1-23.
69. Kålås, J.A. (red).1996. Terrestrisk naturovervåking. Fjellrev, hare, smågnagere, fugl og næringskjedestudier i TOV- områdene, 1995. NINA Oppdragsmelding 429: 1-36.
70. Sjøbakk, T.E. & Steinnes, E. 1997. Forekomst av tungmetaller i jordprofiler fra overvåkingsflater i ulike deler av Norge. DN-utredning 1997-3: 1-29.
71. Strand, O., Severinsen, T. & Espelien, I. 1998. Metaller og radioaktivitet i fjellrev. NINA Oppdragsmelding 560: 1-20.
72. Direktoratet for naturforvaltning. 1997. Natur i endring. Program for terrestrisk naturovervåking 1990-95. Direktoratet for Naturforvaltning, Trondheim: 1-160.
73. Kålås, J.A. (red).1997. Terrestrisk naturovervåking. Fjellrev, hare, smågnagere og fugl i TOV- områdene, 1996. NINA Oppdragsmelding 484: 1-37.
74. Berg, I.A. & Aamlid, D. 1997. Program for terrestrisk naturovervåking. Overvåking av jordvann – Årsrapport 1996. Rapp. Skogforsk. 4/97: 1-21.
75. Tørseth, K. & Manø, S.1997. Overvåking av langtransportert forurenset luft og nedbør. Atmosfærisk tilførsel 1996. SFT rapport 703/97: 1- 205.
76. Bruteig, I.E. & Øien, D.I. 1997. Terrestrisk naturovervåking. Landsomfattende gjenkartlegging av epifyttisk lav på bjørk 1997. Manual. ALLFORSK Rapport 8: 1-22.
77. Kålås, J.A. & Øyan, H.S. 1997. Terrestrisk naturovervåking. Metaller, selen, kalsium og fosfor i elg, hjort og rådyr, 1995-96. NINA oppdragsmelding 491: 1-22.
78. Økland, R.H. 1997. Reanalyse av permanente prøveflater i barskog i overvåkingsområdet Solhomfjell 1995. Bot. Hage Mus. Univ. Oslo Rapp. 2: 1-35.
79. Severinsen, T. 1997. Terrestrisk naturovervåking - Metaller i rype fra Svalbard. Norsk Polarinstitutt. Rapportserie. Nr. xx.
80. Gaare, E. & Wilmann, B. 1997. Skyldes død lav i Nordfjella villreinområde klima eller forurensning ? NINA Oppdragsmelding 504: 1-13.
81. Bruteig, I.E. 1998. Terrestrisk naturovervåking. Gjenkartlegging av epifyttisk lav i Åmotsdalen og Lund 1996. ALLFORSK Rapport 9: 1-40.

82. Gaare, E. & Strand, O. 1998. Radioøkologisk overvåking i Dovre-Rondane 1994-96. NINA Oppdragsmelding 535: 1-20.
83. Kålås, J.A. (red).1998. Terrestrisk naturovervåking. Fjellrev, hare, smågnagere og fugl i TOV-områdene, 1997. NINA Oppdragsmelding 547: 1-42.
84. Bruteig, I.E. & Holien, H. 1998. Terrestrisk naturovervåking. Gjenkartlegging av epifyttisk lav i Møsvatn 1997. ALLFORSK Rapport 10: 1-34.
85. Berg, I.A. & Aamlid, D. 1998. Program for terrestrisk naturovervåking. Overvåking av jordvann – Årsrapport 1997. Rapp. Skogforsk. 5/98: 1-26.
86. Lükewille, A., Tørseth, K. & Manø, S.1998. Overvåking av langtransportert forurenset luft og nedbør. Atmosfærisk tilførsel 1997. SFT rapport 736/98: 1-181.
87. Amundsen, C.E., Inghe, O., Knutzen, J. & Laursen, K. 1998. Evaluering av Program for terrestrisk naturovervåking (TOV). Utredning for DN 1998-2: 1-36.
88. Pedersen, H.C. 1999. Accumulation of heavy metals in circumpolar willow ptarmigan populations. NINA Oppdragsmelding xxx: 1-zz (*under utarbeiding*).
89. Bruteig, I.E. 1998. Terrestrisk naturovervåking. Vekstrate hos vanleg kvistlav 1993-1997. - ALLFORSK Rapport 13: 1-46.
90. Røsberg, I. & Aamlid, D. 1999. Program for terrestrisk naturovervåking. Overvåking av jordvann – Årsrapport 1998. Rapp. Skogforsk. 9/99: 1-21.
91. Kålås, J.A. (red).1999. Terrestrisk naturovervåking. Hare, smågnagere og fugl i TOV-områdene, 1998. NINA Oppdragsmelding 596: 1-35.
92. Tørseth, K. Berg, T., Hanssen, J.E. & Manø, S. Overvåking av langtransportert forurenset luft og nedbør. Atmosfæriske tilførsel, 1998. Oslo. Statlig program for forurensningsovervåking. NILU OR 27/99.
92. Stabbetorp, O. E., Bakkestuen, V., Eilertsen, O. & Bendiksen, E. 1999. Terrestrisk naturovervåking. Vegetasjonsøkologiske undersøkelser av boreal bjørkeskog i Lund, Rogaland. NINA Oppdragsmelding 609: 1-58.
93. Bakkestuen, V., Stabbetorp, O. E. & Eilertsen, O. 1999. Terrestrisk naturovervåking. Vegetasjonsøkologiske undersøkelser av boreal bjørkeskog i Åmotsdalen, Sør-Trøndelag. NINA Oppdragsmelding 610:1-46.
94. Bakkestuen, V., Stabbetorp, O. E. & Eilertsen O. 1999. Terrestrisk naturovervåking. Vegetasjonsøkologiske undersøkelser av boreal bjørkeskog i Møsvann - Austfjell, Telemark. NINA Oppdragsmelding 611: *1 trykk*
95. Bakkestuen, V., Stabbetorp, O. E., Eilertsen O., Often, A. & Brattbakk, I. 1999. Terrestrisk naturovervåking. Vegetasjonsøkologiske undersøkelser av boreal bjørkeskog i Øvre Dividal og Gutulia nasjonalpark, -reanalyser 1998. NINA Oppdragsmelding 612:
97. Bruteig, I.E. 1999. Landsomfattande gjenkartlegging av epifyttvegetasjonen på bjørk 1997. - ALLFORSK Rapport xx: 1-yy
98. Økland, R. Skrindo, A. og Hansen, K. T: 1999. Endringer i træs vekst og vitalitet, vegetasjon og humuslagets kjemiske og fysiske egeneskerper i permanente prøveflater i barskog i overvåkingsområdet i Solhomfjell, 1988-1998. Bot. Hage Mus. Univ. Oslo Rapp. 5: 1-72.
99. Ugedal, O., Forseth, T., Jonsson, B. & Mooij, W. 2000. Langtidsutvikling for radioaktivitet i ferskvann. NINA Oppdragsmelding xx: x-xx.
100. Kålås., J.A. (red.). 2000. Terrestrisk naturovervåking. Smågnagere og fugl i TOV-områdene, 1999. NINA Oppdragsmelding xxx:1-xx.
101. Aas, W., Tørseth, K., Berg, T., Solberg, S. & Manø, S. Overvåking av langtransportert forurenset luft og nedbør. Atmosfærisk tilførsel, 1999. NILU OR



102. Røsberg, I. & Aamlid, D. 2000. Program for terrestrisk naturovervåking. Overvåking av jordvann – Årsrapport 1999. Rapp. Skogforsk. 12/00: 1-25.

### Brosjyrer/foldere

- \* Terrestrisk naturovervåking i Norge. Rapportsammendrag, Direktoratet for naturforvaltning, (DN), 1989.
- \* Vi holder øye med naturen (Bokmål/Engelsk), DN, 1991.
- \* Vi holder øye med Børgefjell. Resultater 1990, DN, 1992.
- \* Vi holder øye med Solhomfjell. Resultater 1990 og 1991, DN, 1992.
- \* \*Naturovervåking. Helsesjekk i naturen, DN, 1993, (omhandler flere overvåkingsprogrammer).
- \* Effektene av langtransportert forurensning overvåkes. Innblikk 1-97.

Henvendelser vedrørende rapportene rettes til utførende institusjoner.

## Rapport fra skogforskningen

### Utkommet i 2000:

- 1/00: *Øystein Dale og Morten Nitteberg*: Skogsdrift med snøscooter. Trekkrefter for ulike snøscootere, utstyrstudier, praktiske metodeforsøk. En delrapport fra prosjektet: Skogbehandling og driftssystemer tilpasset boreal regnskog og verneskog.
- 2/00: *Stein Magnesen*: Vekst og overleving hos sitkagran fra skogfrøplantasjer og plantefelt på Vestlandet.
- 3/00: *Bernt-Håvard Øyen*: Naturlig avgang i gran- og furuskog.
- 4/00: *Helge Braastad og Bjørn Tveite*: Tynning i granbestand. Effekten på tilvekst, dimensjonsfordeling og økonomi.
- 5/00: *Ketil Kohmann*: Voksbehandling av rothalsen på skogplanter som alternativ til insekticider som brukes mot insektgnag etter utplantning.
- 6/00: *Per Otto Flæte og Birger Eikenes*: Osp som byggemateriale.
- 7/00: *Kjell Vadla*: Virkesegenskaper hos fuglekirsebær (*Prunus avium L.*)
- 8/00: *Svein Solberg, Kjell Andreassen, Tone Groeggen*: Tilvekst på skogoppsynets overvåkingsflater 1991-96 (Forest yield on forest officers' monitoring plots 1991-1996 in Norway)
- 9/00: *Jørn Lileng og Øystein Dale*: Aktivitetsnivået i vanskelig terreng – i Norge
- 10/00: *Hans Nyeggen og Jan-Ole Skage*: Juletrekvaliteter etter kontrollerte krysninger med gran fra Stange frøplantasje
- 11/00: *Helge Braastad og Bjørn Tveite*: Ungskogpleie i granbestand. Effekten på tilvekst, diameterfordeling, kronehøyde og kvisttykkelse

- 
- **Supplement 15:** *Svendsrud, A.*: Tabeller for beregning av verdien av skogbestand.
- **Supplement 16:** *Nicholas Clarke and Anne Camilla Bergkvist*: Methods for the fractionation of organic nitrogen in natural waters

