5/01

SKOG FORSK

NLH

Rapport fra skogforskningen

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

Program for terrestrisk naturovervåking. Overvåking av jordvann Sluttrapport 2000

Monitoring programme for terrestrial ecosystems. Monitoring of soil water
Final report 2000

Rapport nr. 113 i TERRESTRISK NATUROVER-VÅKING (TOV)

NATUROVERVÅKING

Oppdragsgiver: Direktoratet for naturforvaltning

Ingvald Røsberg, Toril E. Sjøbakk, Eiliv Steinnes & Dan Aamlid

Ås, 2001

Rapport fra skogforskningen

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

Norsk institutt for skogforskning (Skogforsk) 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 enkelteksemplar av seriene skjer til Skogforsk.

Redaktør for serien er forskningsdirektør Bjørn R. Langerud, Skogforsk

En forfatterinstruks er tatt inn på siste omslagsside.

Layout og sats: Skogforsk

ISBN 82-7169-980-6
ISSN 0803-2858

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

Tlf.: 64 94 90 00
Fax: 64 94 29 80
E-post: skogforsk @ skogforsk.no
Internett: http://www.skogforsk.no/

Program for terrestrisk naturovervåking

Program for terrestrisk naturovervåking rettes mot effekter av langtransportert forurensninger 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: Bjørk er hovedtreslag på TOVflater
Foto: *D. Aamlid*

NATUROVERVÅKING
Rapport 113

Program for terrestrisk naturovervåking. Overvåking av jordvann Sluttrapport 2000

Monitoring programme for terrestrial ecosystems. Monitoring of soil water Final report 2000

Ingvald Røsberg[1], Toril E. Sjøbakk[2], Eiliv Steinnes[2] & Dan Aamlid[1]

Ås, 2001

Sammendrag

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 2000. 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 høgere pH, lavere utbyttbar syre (utbyttingsaciditet) og konsentrasjon av total-Al enn de øvrige. Solhomfjell og Lund hadde vesentlig høyere innhold av Pb, Zn og Cd i jord enn de øvrige flatene, som et resultat av tilførsel med atmosfærisk langtransport.

Surheten i jordvannet har hatt en ulik utvikling på flatene i disse årene. Særlig i Lund, som har stor tilførsel av N og S, var det fram til 1999 en negativ utvikling av pH i jordvannet, men bedret seg noe i 2000. På Møsvatn, noe lenger nord, og i Gutulia har utviklinga av pH vært noe gunstigere i samme periode. I Lund og Solhomfjell er det registrert høyere konsentrasjoner av Pb og Cd i jordvannet enn på de øvrige flatene på 5cm og 15 cm dyp. I Lund er denne tendensen etter hvert merkbar også på 40 cm dyp.

Den økende surheten i jordvannet i Lund har trolig vært årsak til at Ca^{2+} konsentrasjon i 15 cm sjiktet er gått sterkt ned. I Solhomfjell har det i samme periode vært en stabil eller bedret situasjon for Ca^{2+} og pH i samme sjikt. I Lund var særlig humussjiktet sterkt påvirket av nærheten til havet med høge konsentrasjoner av utbyttbart Na^{+} , og Cl^{-} i jordvannet. For K og Mg har utviklingen fra 1991-2000 nokså varierende, særlig på Møsvatn og i Lund. Det er trolig jordbunnsforhold på Møsvatn som gjør at denne flata har høyere konsentrasjoner av 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 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 var det først en økning i dette sjiktet, men i de siste åra en nedgang.
2. I 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 antydet som grenseverdi mot skogskader.
4. Konsentrasjonene av NH_4-N og NO_3-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 nokså variabel utvikling på de øvrige felta. De siste åra var det en nedgang i total-N konsentrasjonen på alle målepunkt, unntatt Møsvatn i 15 cm. Resultatene var i samsvar med andre feltundersøkelser fra Sør- og Sør-Vestlandet
5. Diskriminantanalyse av en rekke jordvannsparametre viste at jordvannskjemien på de fire flatene var i samsvar med en forsuringsgradient, der Gutulia var i den "reine" delen og Lund i den "sure" delen.
6. Skogtilstanden i Lund og Solhomfjell er vurdert som god. I Møsvatn var det redusert kronetetthet som følge av angrep av bjørkemålere, med påfølgende mindre strøfall og mer lys og nedbør til skogbunnen.

Nøkkelord: Jordvann, næringsstoffer, tungmetaller, overvåking.

Key words: Soil water, nutrients, heavy metals, monitoring.

1) Norsk institutt for skogforskning, 1432 Ås

2) Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet, Institutt for kjemi, 7491 Trondheim

Røsberg, I.[1], Sjøbakk, T. E.[2], Steinnes, E.[2] & Aamlid, D.[1] 2001. Program for terrestrisk naturovervåking. Overvåking av jordvann - Sluttrapport 2000 (Monitoring programme for terrestrial ecosystems. Monitoring of soil water – Final report 2000). Rapport fra skogforskningen 5/01:1-23.

Innhold

1. Innledning 2
2. Materiale og metoder 2
3. Resultater 5
3.1. Jordvann 5
3.2. Jord-jordvann 15
3.3. Andre relevante data og resultater 16
4. Diskusjon 16
5. Konklusjon 19
6. English summary 19
Etterord 20
Litteratur 20
Vedlegg 22

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 (Skogforsk) fikk i oppgave å ha ansvaret for langsiktige og regelmessige undersøkelser av jord og jordvann, med bidrag fra NTNU når det gjelder tungmetaller. 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 perioden 1991 - 2000 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). Jordsmonnets 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 2000. Det blir her 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. Data for tungmetaller i jordsmonnet finnes i en tidligere rapport (Sjøbakk & Steinnes 1997).

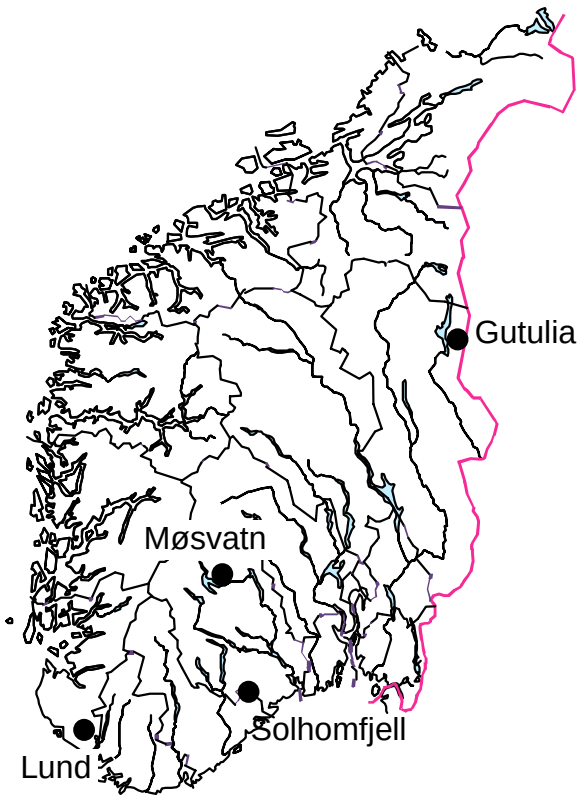

Fig. 1. TOV-områder med jordvannovervåking. *(Plots in the Monitoring Programme for Terrestrial Ecosystems (TOV) with soil water sampling.)* [Lund = LU, Solhomfjell = SO, Møsvatn = MV, Gutulia = GU]

Innsamling av jordvann startet opp samme år som jordprøvetakingen ble utført, og skjedde ved hjelp av *lysimetere* (type Prenart). Disse består av sugeceller som ble plassert på bestemte dyp i jorda, slik at de tappet 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 besto 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 lysimeterne kan lekke små mengder av Ca^{2+} og til dels også Mg^{2+} en tid etter etablering (Beier et al. 1992), og at dette kan ha forårsaket noe høgere verdier av disse elementene i den første tiden etter installering.

Tabell 1. Jordkjemi i humussjiktet på TOV-flatene (volumveidd). (*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 (Volumveidd). (*Soil chemistry in mineral soil, 5-15 cm depth, at the TOV-plots. The results are volume-weighted.)*

Flate		Lund	Solhomfiell	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)					

I Lund har det vært problemer med at dyr beit av slangene. Der 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 nyinstalleringen 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 forskjellige 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. Sugecellene har fungert tilfredsstillende deretter.

Jordvannet ble samlet inn en gang i måneden. En lokal observatør sto for dette arbeidet. Prøvene ble sendt til Skogforsk for analyse. Tørke kan for eksempel ha vært årsaken til at ikke alle flatene hadde 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 lysimetere på Gutulia i 15 og 40 cm nivået. I 1999 og 2000 fungerte utstyret tilfredsstillende. De kjemiske analyseresultata av jordvann er presentert som veidde (dvs mot oppsamlet vannmengde*)* månedsmiddel for hver flate og hvert sjikt.

Alle analysene bortsett fra enkelte tungmetaller i jord og jordvann er utført ved Skogforsks Kjemiske analyselaboratorium etter de metoder som er utarbeidet for rutinemessige analyser (Ogner et al. 1991). Laboratoriet er akkreditert etter standarden EN 45001.

Bestemmelser av tungmetaller i jordvann er utført ved Institutt for kjemi, NTNU. Fra og med 1999 har disse analysene skjedd med høyoppløselig ICP-MS, som har ført til en betydelig bedring av deteksjonsgrensene for de aktuelle metallene. Som en følge av dette er prøver fra perioden 1995-1998 blitt re-analysert ved ICP-MS. Tungmetaller er bare blitt bestemt i de tilfellene hvor det var igjen tilstrekkelig prøvevolum etter at analysene ved Skogforsk var fullført.

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

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

Lysimetersonde Styringsenhet

3. Resultater

3.1. Jordvann

Resultatene fra de kjemiske analysene av jordvann fra 5, 15 og 40 cm jorddyp i 2000 er gitt i Tabell 3. Ledningsevnen var markert høyere i Lund enn på de øvrige felta. pH i jordvannet hadde en tendens til høyere verdier med økende jorddyp i Lund, Solhomfjell og Møsvatn. I Gutulia varierte pH en del innen hvert sjikt, men mindre mellom sjiktene. Møsvatn hadde høgest pH i 15 cm dyp og lavest i 5 cm. Møsvatn og Gutulia var de flatene som totalt sett hadde høgeste pH (5,2 – 6,2) i alle sjikt. Lund hadde lavest pH i alle sjikt, mellom 4,3-4,9 på månedsbasis. Møsvatn hadde i 5 cm i oktober 1998, og i 1999 og 2000 høge verdier for Al og Fe. K konsentrasjonen i 5 cm sank sterkt i 2000, men var til gjengjeld økende i 5 og 40 cm. Utviklingen av årlig (veid middelverdi) pH i jordvann fra alle sjikt for hver flate fra første innsamlingsår til og med 2000 er vist i Fig. 2. Møsvatn og Gutulia har generelt høgest pH. Solhomfjell hadde lavest pH i 1992-93 i 5 og 15 cm sjiktet. Den økte i 1994-95, men den har siden minket og var i 2000 fortsatt høyere enn ved staten av overvåkingsperioden. pH i jordvannet i Lund har vist en stabil avtakende tendens i perioden 1991-2000, men tendensen har flatet ut på et lavt nivå de siste årene. På 40 cm har det vært en svak stigende tendens de siste årene. Lund har siden 1993 hatt lavest pH i alle sjikt.

Konsentrasjonen av Ca^{2+} i jordvann var høgest i humussjiktet i Møsvatn og Solhomfjell, henholdsvis 1,4 mg/l og 0,6 -1,1mg/l og avtok nedover i sjiktene. Møsvatn var den eneste av TOV-flatene med konsentrasjoner av Ca^{2+} høgere enn 1,0 mg/l i 15 cm sjiktet. I Lund ble det for andre gang siden 1993 gjort analyser av vann fra humussjiktet. Her ble Ca^{2+} målt til mellom 0,13-0,15 mg/l og bekreftet dermed at her er det blitt et svært lavt nivå, mens den i mineraljorda lå mellom 0,11-0,20 mg/l.

Jordvann - konsentrasjonen av Ca^{2+} i alle sjikt på de ulike flatene i perioden 1991-2000 er vist i Fig. 2. I Lund sank Ca^{2+}-konsentrasjon i alle sjikt i disse åra med en ubetydelig stigning i 40 cm nivå i 2000. Startåret for 15 cm med en konsentrasjon på ca 2 mg/l virker ekstremt. Med unntak av første innsamlingsår hadde flaten i Lund kun middelverdier lavere enn 0,8 mg/l i 15 cm sjiktet, og fra 1995 til 2000 var alle konsentrasjonene av Ca^{2+} lavere enn 0,5 mg/l. Lund-flata skiller seg signifikant fra de øvrige flatene med de gjennomgående lave Ca^{2+} konsentrasjonene ($F=18,47$, $Pr>F=0,0001$ for de tre nivåene). I Solhomfjell har det vært en svak økning i første del av perioden og seinere en nedgang i 15 og 40 cm sjiktene. 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 Ca^{2+} konsentrasjonen ligger i overkant av både Lund og Solhomfjell for 15 og 40 cm sjiktet. I Gutulia har Ca^{++} konsentrasjonen i 5 cm etter hvert sunket til et lavere nivå i 1996-2000 i forhold til 1993-94.

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 nivåene, i Lund var høyest og lavest konsentrasjon av Mg^{2+} i 5 og 15 cm (0,07 og 0,18 mg/l). I Gutulia og Solhomfjell var det mindre eller ingen forskjell mellom felta og nivåene. Solhomfjell de laveste målte Mg^{2+} konsentrasjoner i 2000 med 0,05 mg/l i 5 cm. De høyeste konsentrasjonene, 0,57-0,62 mg/l, ble målt på Møsvatn i 15 og 5 cm. Flaten i Lund hadde de høgeste konsentrasjonene av Mg^{2+} i 40 cm jorddyp med verdier mellom 0,13-0,23 mg/l, og noe lavere 0,1-0,17 mg/l i 40 cm. I begge mineraljordsjiktene i Lund var konsentrasjonene av Mg^{2+} bare noe lavene enn for 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 ($F=37,76$, $Pr>F=0,0001$). Bortsett fra Lund minsket årssvingningene i Mg^{2+} med dybden.

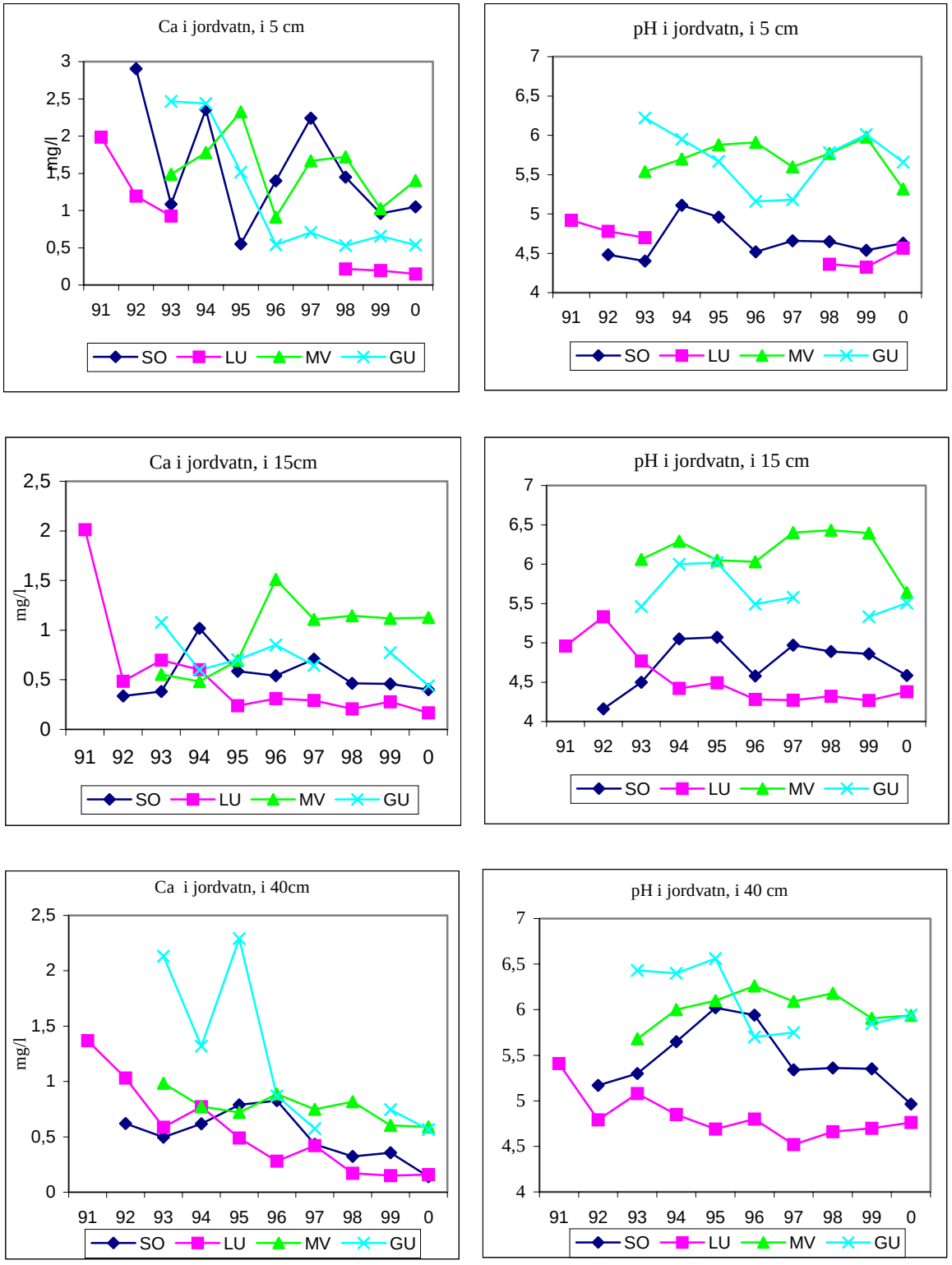

Fig. 2. Konsentrasjon (mg/l) av Ca^{2+}, Mg^{2+} og K^{+}, og pH (veidd middelverdi) i jordvann fra alle jorddyp på TOV-flatene fra 1991 til 2000. Flatekoder er gitt i Fig. 1.(*Concentrations (mg/l) of Ca^{2+}, Mg^{2+} and K^{+} and pH (weighted mean) in soil water from 5, 15 and 40 cm soil depths at the TOV-plots from 1991 to 2000. Plot codes are given in Fig.1.)*

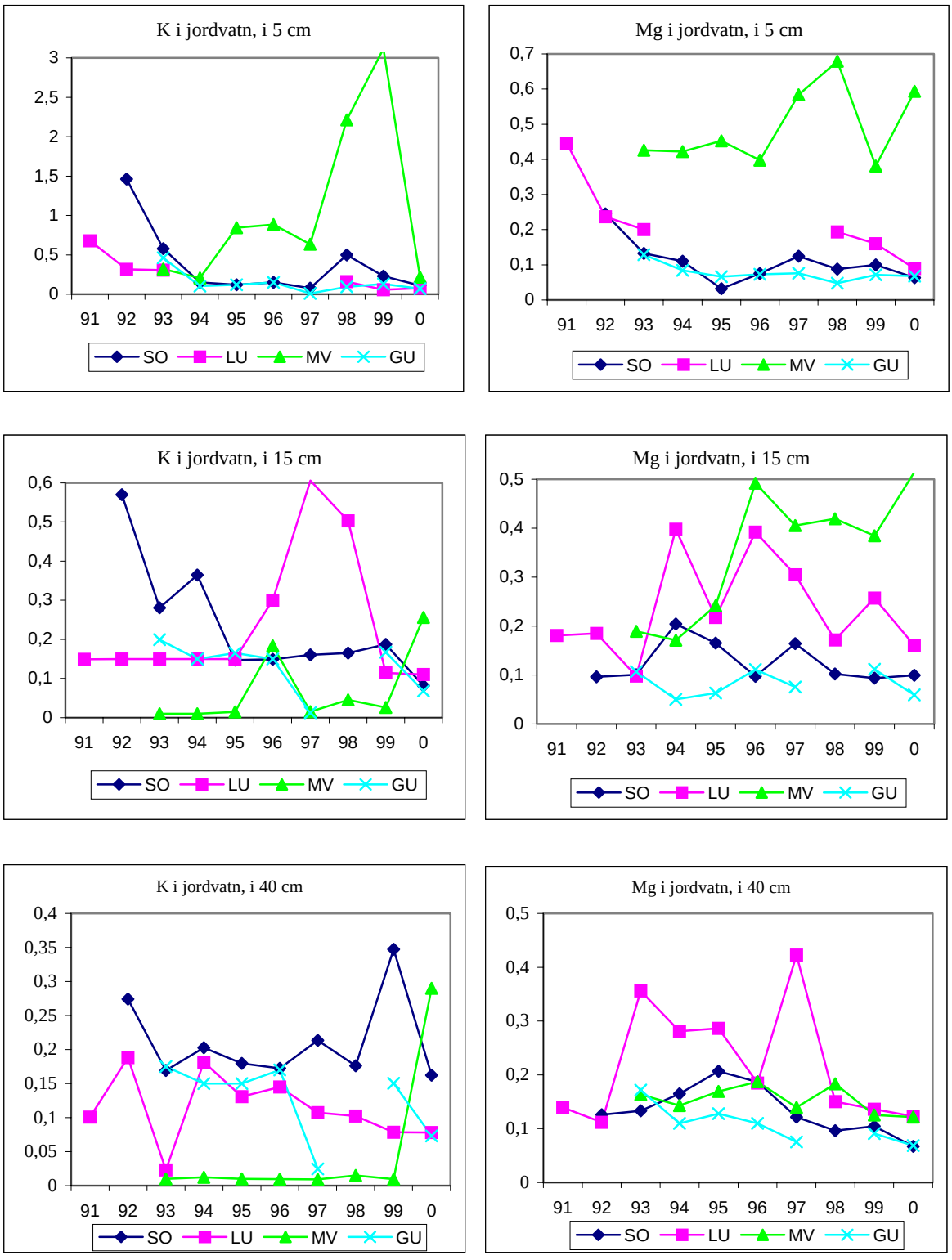

Fig. 2 forts…..

Jordvannets konsentrasjon av total-Al varierte ganske mye (Tabell 3). Møsvatn hadde de høgeste konsentrasjonene av total-Al i humussjiktet, opptil 1,56 mg/l, men flaten hadde som i de 3 foregående år lave konsentrasjoner i mineraljorda. De andre feltene hadde vesentlige lavere konsentrasjoner i humussjiktet. I Lund og Solhomfjell var de høgeste enkeltkonsentrasjonene av total-Al i mineraljorda (0,79 2 og 1,06 mg/l). Generelt avtok total-Al med dybden. Denne tendensen var enda mer utpreget for Fe.

Konsentrasjonene på TOV-flatene av uorganisk, labilt Al (F1AL i Tabell 3) som er den Al-fraksjonen som kan være skadelig for planterøtter, 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 høgeste verdien, 0,52 mg/l ble målt i humussjiktet på Møsvatn. Målingene av labilt Al har vist små verdier siden de startet i 1998.

Konsentrasjonene av labilt Al samsvarte godt med total-Al innen hver flate (lineær reg. var signifikante 0,0001 nivå).

Generelt var det lave konsentrasjoner av K^+ i alle sjikt på alle flatene i 2000. I Gutulia og Lund var de som regel under 0,1 mg/l i 5 cm. lavere enn 0,1 mg/l i humussjiktet. Fra 1994 til 1999 har det vært en sterk økning i K^+ på Møsvatn der høyest enkeltkonsentrasjon målte 3,21 mg/l i 1999 i humussjiktet. I 2000 sank de til "normalnivå", mens det de steig sterkt i 15 og 40 cm, jfr. Fig. 2.

Ledningsevne viste de høgeste verdier i Lund og de laveste i Gutulia i 2000. Dette samsvarte med målinger fra tidligere år.

I 2000 avtok total-Nitrogen forholdsvis jamt med jorddyp på alle felt unntatt i Lund. Her var konsentrasjonene av total-N høge i 5 og 15 cm og noe lavere ved 40 cm (Tabell 3). På de øvrige feltene var det svært vanskelig "å lese" slike trender i materialet). Høgeste verdi ble målt til 1,03 mg/l i 15 cm nivået i Lund. Tidstrendene framkommer på Fig. 3. Den preges av store endringer og unntatt i 15 cm på Møsvatn var det i 2000 en nedgang i konsentrasjonen av total-N. Konsentrasjonen av NO_3-N lå i de foregående år nær deteksjonsgrensa. Dette svarte omtrent til situasjonen fra da TOV startet i 1991. Det var litt større variasjon for NH_4-N og Solhomfjell og Lund skilte seg ut med noen få litt høgere verdier, opptil 0,13 mg/l i 15 cm. Konsentrasjonen av Cl^- i jordvannet fra overvåkingen startet og til utgangen av 2000 i 15 cm jorddyp er vist i Fig. 3. Sammenliknet med de andre flatene hadde jordvannet i Lund den høgeste konsentrasjonen av Cl^- både i 15 og 40 cm og trolig (noen år mangler) i 5 cm sjiktet i hele overvåkingsperioden ($F=377,8$, $Pr>F=0,0001$ for sjikta sett under ett). På de øvrige flatene var middelkonsentrasjonen av 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 i Lund hadde de største variasjonene i konsentrasjonen av Cl^- mellom årene og mellom målingene i samme år. Av Tabell 3 framgår det at de høyeste konsentrasjonene (3,6 og 3,7 mg/l i 15 og 40 cm), ble målt om høsten. Det samme var tilfelle i de foregående år og har trolig årsak i at vindaktiviteten er størst da.

I 2000 ble den høgeste konsentrasjonen av sjøsaltkorrigert(k) SO_4-S målt til 0,82 mg/l i 40 cm i Lund, mens den laveste konsentrasjonen ble målt i Gutulia (0,05 mg/l). Konsentrasjonen av kSO_4-S i jordvannet har vært lav på alle flatene gjennom hele prosjektperioden , se Fig. 3. Noen få ganger var konsentrasjonen av kSO_4 over 1 mg/l i 15 og 40 cm. Ser en på kurvene fra de forskjellige felta og i de ulike nivå, er det en tydelig avtakende tendens i kSO_4-S konsentrasjonen i prosjektperioden, men i 1999 og 2000 var det en svak øking i 15 cm på Solhomfjell. På Møsvatn ser det en avtakende trend i kurva både i 5 og 15 cm. Situasjon i 40 cm nivået i Møsvatn var noenlunde stabil, men også her har konsentrasjonene redusert i 1999 og 2000. I humussjiktet og i 15 cm var det Møsvatn som hadde de høgste konsentrasjonene, men de siste åra har forskjellen mellom felta minket. I 40 cm sjiktet skilte Gutulia seg klart ut med de laveste kSO_4-S konsentrasjonene ($F=79.4$, $Pr>F=0,0001$) og her det har vært en stabil utvikling i 40 cm sjiktet.

Som for kSO_4-S og Cl^- var også konsentrasjonen av Na^+ nokså lik i alle sjiktene innenfor hver flate (Tabell 3). Det var godt samsvar mellom Na^+ og Cl^- verdiene i jordvannet ($df=376$, $F=365$, $Pr>F= 0,0001$, $r^2=0,49$). I 2000 som tidligere år, hadde Lund de høgeste verdiene av Na^+ i jordvannet (2,7- 3,7mg/l). Den laveste verdien (0,25 mg/l) ble registrert i 5cm sjiktet på Møsvatn. Verdiene av Na var omtrent som i 1999, men litt høgere i Lund. Konsentrasjonen av Fe^{3+} i jordvannet var lavere enn 1,0 mg/l på alle flatene og i alle sjikt i 2000, bortsett fra en målinger i 5 cm sjiktet på Møsvatn (1,18 mg/l). Konsentrasjonen avtok med økende jorddyp, unntatt i Gutulia der den var litt mindre i 40 cm. Konsentrasjonen av Si er høy i forhold til de øvrige elementene. Det er et kvantitativt viktig element i jordvannet, men betydningen av dette er lite utredet for boreale områder. I Fig. 3 er vist utviklingen i heile perioden. Særlig utmerker Solhomfjell seg med økende konsentrasjoner siden oppstart, men også med et markert fall for 1999 i 5 cm og i 15 og 40 cm i

2000, slik at konsentrasjonen for dette året i 15 og 40 cm ikke skiller seg nevneverdig fra de øvrige felta. I Lund ligger Si-konsentrasjonen nå lavest i alle nivå i forhold til de øvrige (F=31,5 Pr>F=0,0001).

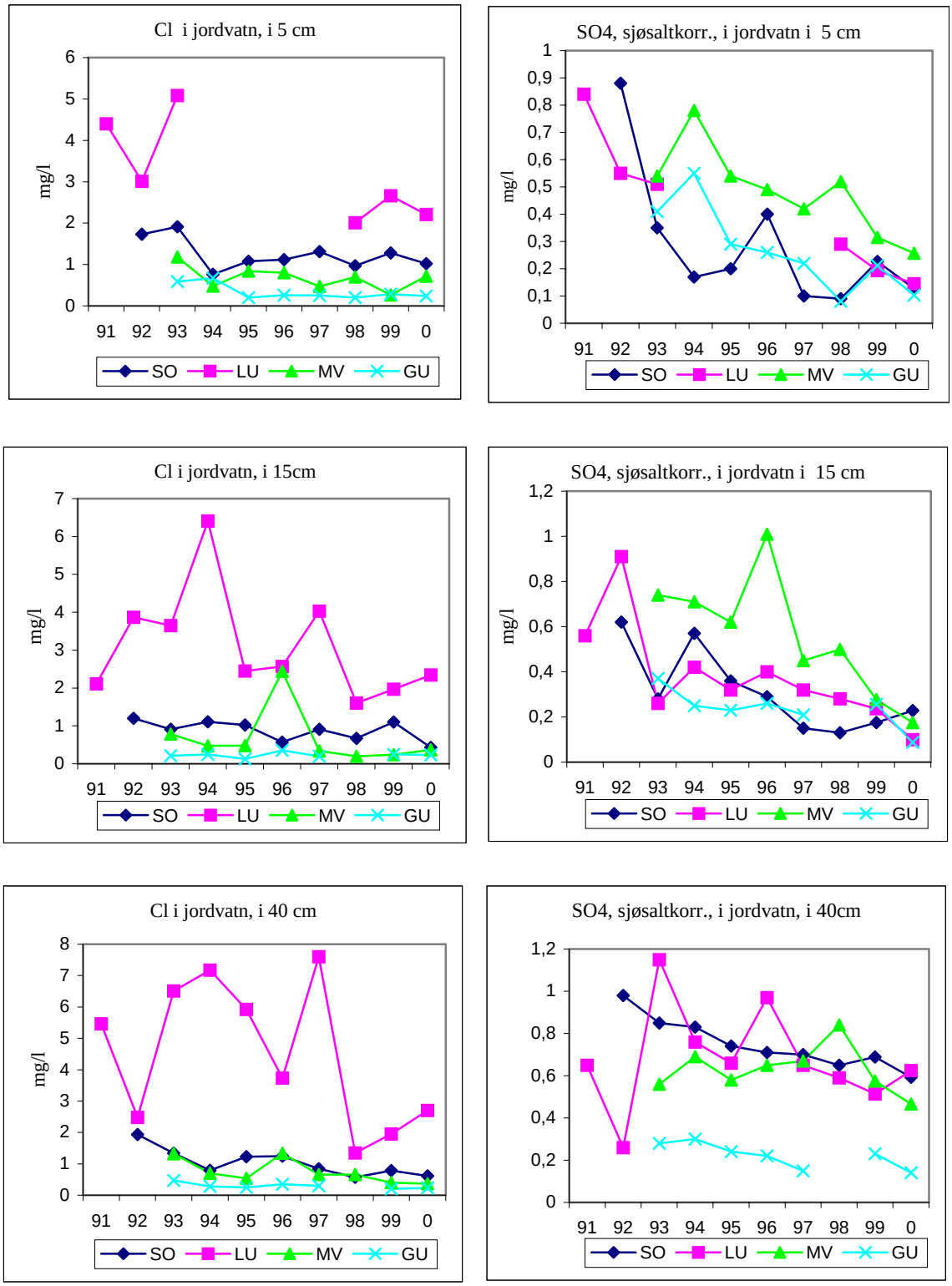

Fig. 3. Konsentrasjon (mg/l) av Cl^- og sjøsaltkorrigert SO_4-S, total-N og Si i jordvann fra alle jorddyp på TOV-flatene fra 1991 til 2000. Flatekoder er gitt i Fig. 1. (*Concentrations (mg/l) of Cl^- and SO_4-S, total N, and Si in soil water from all soil depth at the TOV-plots from 1991 to 2000. Plot codes are given in Fig. 1.)*

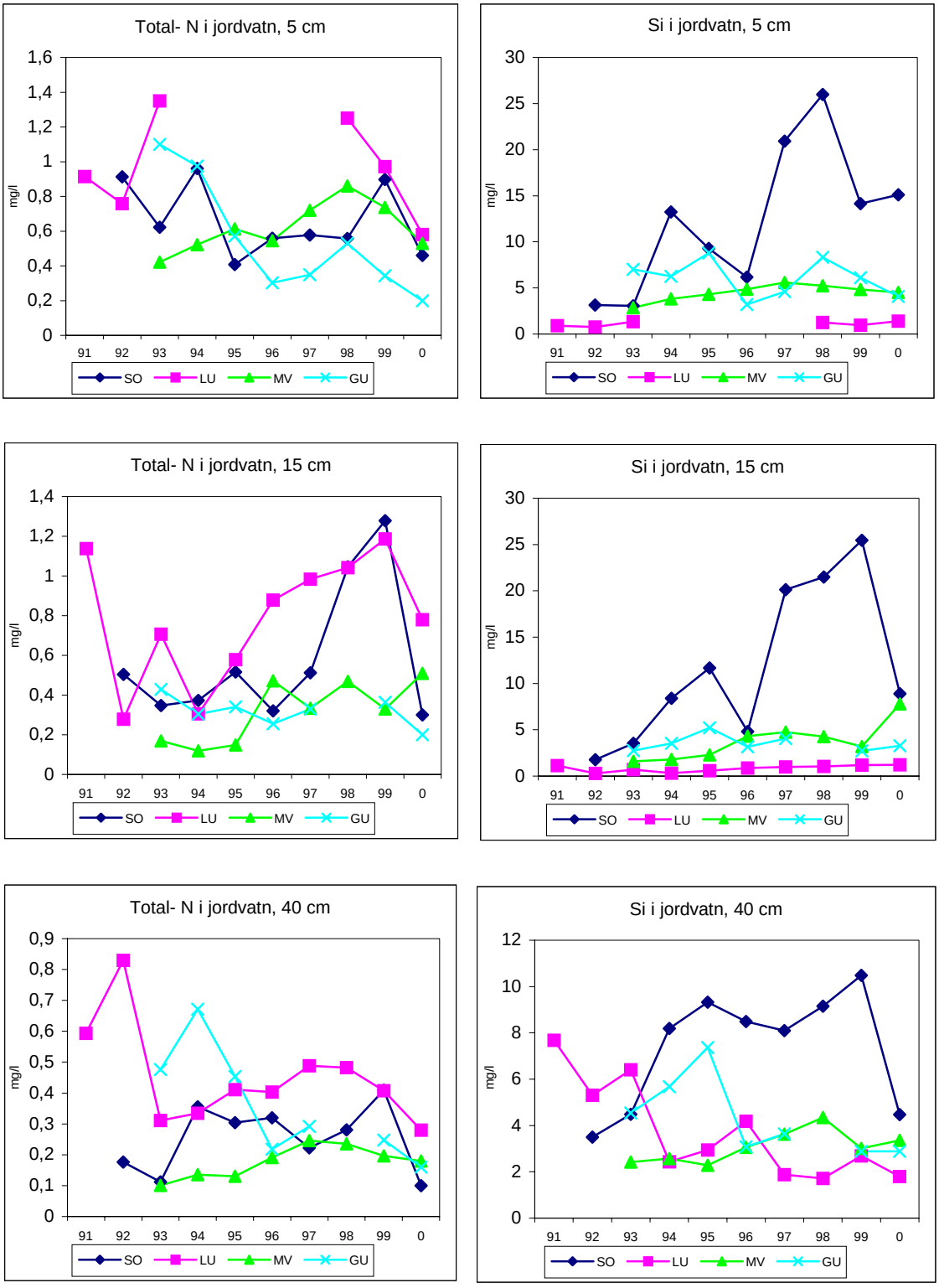

Fig. 3 forts….

Ca/Al (mol/mol)-forholdet i jordvannet varierte mye mellom sjikt og flater (Tabell 4), og det syntes også at det var en variasjon mellom år i Ca/Al-forholdet på felta. Gjennomsnittet for 1991-2000 og 1998-2000 viste at Lund hadde de laveste verdiene, unntatt i 15 cm, 1991-2000 der verdiene på Solhomfjell var lavest. Både Lund og Solhomfjell hadde verdier Ca/Al < 1, unntatt for 5 cm for 1991-2000. Både i Lund og Gutulia var Ca/Al svært lavt i hele profilet i 1998-99. Møsvatn og Gutulia hadde høge verdier i begge periodene både i 15 og 40 cm Derimot var verdiene for 1998-2000 i 5 cm sjiktet ikke spesielt gunstige (0,63) på Møsvatn. En utvidelse av Ca/Al-forholdet til Ca+Mg+K)/Al (se Sverdrup & Warfinge 1993) for 1998-2000, viste at i Lund og Solhomfjell lå dette fortsatt omkring 0 eller under, mens både Gutulia og Møsvatn lå godt over 1 i alle nivå.

Tabell 3. Veide månedsmiddelkonsentrasjoner (mg/l) av elementene i jordvann på TOV-flatene i 1999. Ledningsevnen er gitt i µS/cm. Al=total-aluminium, F1AL=labilt Al. Flatekoder 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 µS/cm. Al = total aluminium, F1AL = labile Al. Plot codes are given in Fig. 1.)*

Flate	Sjikt	År	Mnd	LED	pH	Cl	SO_4-S*	SO_4-S	S	Tot-N	NH_4-N	NO_3-N	Al	Ca	Fe	K	Mg	Mn	Na	DOC	F1Al	Si
GU	5	0	7	7,12	6,03	0,20	0,112	0,12	0,18	0,18	0,018	0,03	0,21	0,54	0,12	0,079	0,064	0,007	0,49	6,02	0,096	4,02
GU	5	0	8	7,60	6,04	0,20	0,051	0,06	0,12	0,20	0,040	0,03	0,23	0,62	0,12	0,049	0,060	0,003	0,46	7,20	0,090	10,33
GU	5	0	10	8,50	5,35	0,30	0,096	0,11	0,19	0,24	0,050	0,03	0,30	0,53	0,16	0,059	0,075	0,006	0,52	8,00	0,110	3,25
GU	15	0	7	7,59	5,36	0,20	0,076	0,09	0,16	0,19	0,016	0,03	0,28	0,38	0,15	0,075	0,055	0,006	0,49	8,23	0,110	2,46
GU	15	0	8	7,80	5,47	0,20	0,071	0,08	0,14	0,22	0,010	0,03	0,29	0,49	0,13	0,050	0,068	0,007	0,50	8,30	0,108	2,87
GU	15	0	10	7,30	6,16	0,30	0,116	0,13	0,18	0,22	0,070	0,03	0,20	0,52	0,11	0,068	0,061	0,006	0,53	5,20	0,084	4,95
GU	40	0	7	7,70	5,99	0,20	0,141	0,15	0,19	0,14	0,015	0,03	0,18	0,58	0,10	0,079	0,070	0,007	0,50	4,90	0,090	2,60
GU	40	0	8	7,60	6,11	0,20	0,131	0,14	0,19	0,17	0,020	0,03	0,20	0,53	0,10	0,065	0,068	0,007	0,54	5,20	0,096	2,98
GU	40	0	10	8,20	5,76	0,30	0,146	0,16	0,21	0,19	0,060	0,03	0,20	0,56	0,08	0,070	0,067	0,007	0,58	4,80	0,093	3,33
LU	5	0	5	25,50	4,62	2,70	0,194	0,32	0,41	0,52	0,070	0,03	0,39	0,14	0,20	0,099	0,074	0,000	3,14	21,20	0,079	0,98
LU	5	0	6	23,90	4,65	2,00	0,177	0,27	0,39	0,48	0,010	0,03	0,44	0,13	0,22	0,073	0,068	0,000	2,98	23,50	0,080	1,07
LU	5	0	7	27,40	4,49	1,90	0,111	0,20	0,44	0,81	0,030	0,03	0,56	0,19	0,29	0,056	0,114	0,000	3,50	37,20	0,100	1,92
LU	5	0	8	28,80	4,50	1,70	0,111	0,19	0,38	0,83	0,030	0,03	0,58	0,15	0,28	0,055	0,123	0,000	3,71	38,70	0,099	2,13
LU	5	0	9	27,30	4,53	2,60	0,099	0,22	0,34	0,57	0,030	0,03	0,42	0,14	0,21	0,076	0,088	0,000	3,47	5,20	0,075	1,26
LU	5	0	10	23,00	4,62	2,20	0,167	0,27	0,43			0,03	0,30	0,15	0,20	0,132	0,065	0,000	2,74	19,50	0,061	1,18
LU	15	0	5	32,90	4,37	2,60	0,239	0,36	0,54	0,81	0,090	0,03	0,51	0,18	0,13	0,200	0,176	0,000	3,13	31,80	0,088	1,00
LU	15	0	6	30,90	4,42	2,50	0,123	0,24	0,39	0,70	0,030	0,03	0,54	0,17	0,13	0,131	0,151	0,000	3,16	30,60	0,074	0,94
LU	15	0	7	34,50	4,32	2,00	0,017	0,11	0,35	0,98	0,020	0,03	0,79	0,18	0,19	0,076	0,178	0,000	3,34	44,60	0,122	1,61
LU	15	0	8	32,70	4,34	1,50	0,000	0,07	0,32	1,03	0,040	0,03	0,74	0,20	0,17	0,078	0,183	0,000	3,56	47,00	0,130	1,82
LU	15	0	9	29,10	4,43	1,90	0,071	0,16	0,32	0,70	0,020	0,03	0,51	0,13	0,12	0,051	0,115	0,000	3,15	32,10	0,090	1,28
LU	15	0	10	30,80	4,39	3,70	0,088	0,26	0,40	0,45	0,070	0,03	0,28	0,13	0,07	0,083	0,158	0,000	2,87	17,30	0,050	0,78
LU	40	0	5	24,80	4,70	2,60	0,819	0,94	0,96	0,31	0,060	0,03	0,28	0,18	0,07	0,173	0,162	0,000	2,73	9,70	0,078	1,38
LU	40	0	6	25,80	4,73	3,40	0,532	0,69	0,75	0,22	0,020	0,03	0,29	0,17	0,06	0,054	0,152	0,000	2,96	8,50	0,094	1,44
LU	40	0	7	25,00	4,74	2,90	0,565	0,70	0,79	0,30	0,010	0,03	0,34	0,16	0,09	0,049	0,130	0,000	2,88	12,20	0,081	2,04
LU	40	0	8	23,30	4,76	2,10	0,632	0,73	0,82	0,34	0,030	0,03	0,33	0,18	0,09	0,048	0,109	0,000	2,90	13,30	0,088	2,45
LU	40	0	9	20,60	4,84	1,90	0,611	0,70	0,77	0,25	0,020	0,03	0,28	0,11	0,06	0,034	0,058	0,000	2,84	5,20	0,077	2,09
LU	40	0	10	23,40	4,92	3,60	0,432	0,60	0,70	0,21	0,030	0,03	0,24	0,13	0,04	0,061	0,093	0,000	3,15	6,80	0,087	1,62
MV	5	0	8		5,19	0,40	0,361	0,38	0,54	0,72	0,010	0,03	1,42	1,41	1,27	0,239	0,542	0,004	0,36	25,10		5,20
MV	5	0	9	17,00	5,41	0,90	0,198	0,24	0,40	0,42	0,010	0,03	1,04	1,40	0,91	0,204	0,622	0,005	0,25	20,10	0,521	4,12
MV	15	0	8		5,88	0,80	0,183	0,22	0,34	0,72	0,010	0,03	1,56	1,38	0,45	0,318	0,572	0,018	0,41	92,20		9,58
MV	15	0	9	12,70	5,54	0,20	0,171	0,18	0,30	0,39	0,040	0,03	0,65	0,98	0,40	0,220	0,481	0,008	0,30	16,60	0,236	6,76
MV	40	0	8	11,10	5,89	0,30	0,496	0,51	0,54	0,23	0,010	0,03	0,20	0,67	0,01	0,290	0,134	0,001	0,66	4,80	0,112	3,53
MV	40	0	9	10,00	5,96	0,40	0,451	0,47	0,51	0,15	0,040	0,03	0,13	0,55	0,01	0,290	0,116	0,001	0,63	3,20	0,057	3,28
SO	5	0	5		4,65	2,00	0,037	0,13	0,27			0,03	0,67	0,88	0,08	0,249	0,057	0,001	0,97			26,07
SO	5	0	6		4,64	0,60	0,062	0,09				0,03										
SO	5	0	7	20,00	4,57	0,90	0,148	0,19	0,35	0,50	0,040	0,03	0,88	1,18	0,16	0,115	0,081	0,003	0,75	28,50	0,341	9,39
SO	5	0	8	18,10	4,65	0,60	0,042	0,07	0,22	0,48	0,050	0,03	0,95	1,09	0,14	0,072	0,057	0,000	0,57	26,70	0,435	18,84
SO	5	0	9	21,50	4,65	1,80	0,156	0,24	0,37	0,52	0,100	0,03	0,74	1,10	0,10	0,129	0,059	0,001	0,91	18,90		19,79
SO	5	0	10		4,77	1,20	0,304	0,36	0,44	0,38	0,110	0,03	0,36	0,60	0,04	0,132	0,035	0,000	0,65			16,40
SO	15	0	5		4,75	1,60	0,055	0,13	0,19			0,03	0,38	0,46	0,05	0,179	0,087	0,001	0,58			21,33
SO	15	0	6		4,75	1,70	0,091	0,17	0,24			0,03	0,38	0,36	0,04	0,191	0,088	0,031	0,60			21,44
SO	15	0	7	19,00	4,38	0,20	0,021	0,03	0,19	0,40	0,020	0,03	1,06	0,53	0,20	0,031	0,105	0,000	0,77	29,20	0,350	6,84
SO	15	0	8	13,20	4,81	0,40	0,381	0,40	0,44	0,24	0,010	0,03	0,60	0,30	0,06	0,099	0,096	0,000	0,71	11,60	0,313	8,63
SO	15	0	9	13,70	4,79	0,70	0,367	0,40	0,47	0,22	0,040	0,03	0,50	0,32	0,06	0,134	0,093	0,000	0,73	9,80	0,260	10,92
SO	15	0	10		4,71	1,40	0,315	0,38	0,47	0,43	0,130	0,03	0,46	0,47	0,05	0,147	0,114	0,001	0,79			15,81
SO	40	0	5	11,60	5,12	0,90	0,578	0,62	0,65			0,03	0,19	0,31	0,01	0,218	0,086	0,001	0,88	5,40	0,134	9,32
SO	40	0	6	11,00	5,11	0,80	0,553	0,59	0,62	0,25	0,100	0,03	0,21	0,21	0,01	0,194	0,077	0,000	0,76	4,50	0,137	9,21
SO	40	0	7	10,90	4,98	0,60	0,542	0,57	0,61	0,11	0,020	0,03	0,30	0,23	0,01	0,165	0,082	0,001	0,71	3,60	0,197	4,87
SO	40	0	8	11,40	4,99	0,50	0,587	0,61	0,63	0,14	0,030	0,03	0,32	0,12	0,01	0,155	0,069	0,000	0,71	3,50	0,250	4,32
SO	40	0	9	11,50	4,95	0,40	0,641	0,66	0,71	0,06	0,010	0,03	0,33	0,12	0,01	0,172	0,056	0,000	0,90	3,50	0,252	4,06
SO	40	0	10	13,30	4,91	1,10	0,569	0,62	0,66	0,09	0,040	0,03	0,34	0,10	0,01	0,147	0,066	0,000	0,99	3,30	0,266	3,95

SO_4-S* = sjøsaltkorrigert / *corrected for sea salt*

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

Tabell 4. Molar Ca/Al- og (Ca+Mg+K)/Al-forholdet i jordvannet i 5, 15 og 40 cm sjiktet. Middel for perioden 1991-2000og 1998-2000 (*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 1991-2000			Ca/Al 1998-2000			(Ca+Mg+K)/Al 1998-2000		
	5	15	40	5	15	40	5	15	40
Gutulia	1,34	1,49	2,51	1,60	1,34	2,08	2,17	1,92	2,84
Lund	1,08	0,73	0,51	0,18	0,26	0,36	0,54	1,06	1,00
Møsvatn	4,22	5,89	1,06	0,63	3,11	2,77	2,16	6,27	5,78
Solhomfjell	1,94	0,49	0,98	0,88	0,39	0,39	1,13	0,64	1,06

Kanonisk diskriminantanalyse av datamaterialet (H^+(pH), uorg.N= NH_4^++NO_3^-, Cl^-, Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^+, K^+, (total)Al, Fe og Si og organisk N=total-N – uorg.N) fra 15 cm sjiktet i 1991-2000. 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=1991 og 0=2000) på figuren. De representerer da et forenklet uttrykk for de variablene som inngår i analysen, se ovenfor. Multivariat test var signifikant (0,0001). R^2 var 0,87 og 0,67 mellom kanonisk variabel 1 og 2 og flatene. 69,9 % av eigenverdien blir forklart langs akse 1(kan1) og 18,5 % langs akse 2(kan2). Plottet av de kanoniske variabler viste også kan1 skilte mest av de to variablene. Tolking av datagrunnlaget viste at høge konsentrasjoner av H^+ (dvs. lave pH-verdier), Na^+ og Cl^- gir signifikant positiv plassering langs aksen (r^2 henholdsvis 0,46, 0,56, 0,54 ved lineær regresjon). Langs akse 2 er det særlig høge Si (r^2=0,58) - og høge N (NH^{4+} + NO^{3-}) konsentrasjoner assosiert med positive verdier for variablene. Diskriminantanalysen antyder dermed en klar forurensingseffekt (pH) langs kan1 (akse 1), mens den ikke framkommer så tydelig langs kan2. Derimot er det ingen slik gradient forbundet med SO_4-S. Ledningsevnen (ionestyrken) i jordvannet samsvarer svært godt med akse 1 (df=105, F=308 P>F=0,0001, r^2 = 0.74), mens den er positiv, men svært svakt korrelert til akse 2.

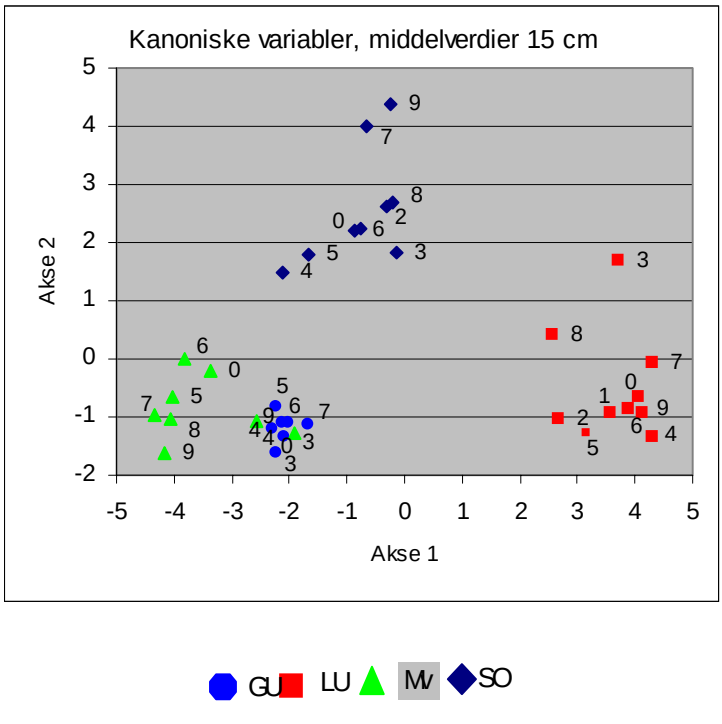

Fig.4. Kanonisk diskriminantanalyse av H^+, (pH), NH_4^++NO_3^-, organisk N,SO_4-S, Cl^-, Na^+, K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}, (total)Al, Fe og Si fra 15 cm sjikt i 1991-2000 (1-0). LU=Lund, SO=Solhomfjell, MV=Møsvatn, GU=Gutulia. (*Canonical discriminant analysis of H^+ (pH), NH_4^++NO_3^-, DON, SO_4-S, Cl^-, 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.)*

Resultater for tungmetaller i jordvann i 2000 er gitt i Tabell 5. Resultater fra tidligere år er gitt i form av medianverdier for hvert felt og sjikt i Tabell 6 (1995-1999, ICP-MS) og Tabell 7 (1991-1995, AAS). Resultatene for Cd og Pb i 2000 er som i tidligere år klart høyere i Lund og Solhomfjell enn i øvrige felt. Lund viser høyere verdier enn Solhomfjell ved 40 cm dyp. Tungmetallsresultatene for perioden totalt sett gir grunn for følgende kommentarer:

Cd: Verdiene er gjennomgående lave, men de er noe høyere i Lund og Solhomfjell enn på de øvrige flatene, noe som ikke er overraskende tatt i betraktning at humussjiktet på Sørlandet er betydelig forurenset med Cd fra atmosfærisk langtransport som gradvis frigjøres og vaskes nedover i jordprofilet.

Hg: Nivåene er meget lave, men det er vanskelig å tolke dem fordi verdiene for blindprøvene er av samme størrelsesorden som for jordvannsprøvene.

Pb: Dataene for Pb er av god kvalitet, ettersom blindverdiene gjennomgående er lave. Resultatene fra 1995-2000 bekrefter tendensen fra perioden 1990-1994 med betydelig høyere verdier i Lund og Solhomfjell enn i landet for øvrig. Dette har klar sammenheng med kontaminert jordsmonn fra atmosfærisk langtransport på Sørlandet. Verdiene i Lund for 1995-2000 viser en viss økning fra tidligere, mens nivået i Solhomfjell muligens har gått noe ned.

Mn: Verdiene for Mn fra Sørlandet er lavere enn i landet for øvrig, noe som muligens skyldes at jordsmonnet er sterkere forsuret og Mn derfor i større grad er byttet ut med H^+ og Al på ionebytterkomplekset i jorda. Større nedfall av marine kationer kan ha spilt en tilsvarende rolle. Verdiene fra 1995-2000 stemmer godt overens med tidligere resultater, med de høyeste nivåene i Åmotsdalen og Gutulia fulgt av Møsvatn. Disse resultatene gjenspeiler høyst sannsynlig naturlige variasjoner. Blindverdiene er relativt lave for Mn.

Cu: Også for Cu er blindverdiproblemet under kontroll. Konsentrasjonene i jordvann varierer lite mellom lokalitetene og har sannsynligvis stort sett med naturlige forhold å gjøre. Det er ingen store forskjeller mellom de to periodene på noen av flatene, bortsett fra Gutulia der verdiene er lavere for den siste perioden.

Zn: I dette tilfelle har det vært store kontamineringsproblemer ved flere av flatene, og disse problemene har gjort seg særlig gjeldende flere år i perioden etter 1996. Særlig på Møsvatn og i Solhomfjell har det vært meget åpenbare problemer. Med basis i de registrerte blindverdiene kan det reises tvil om i hvilken grad det har noen hensikt å gå videre med disse dataene. Verdiene fra ICP-MS er systematisk høyere enn de tidligere AAS-dataene, der man beveget seg nær deteksjonsgrensen for metoden.

Tabell 5. Konsentrasjoner (µg/l) av noen tungmetaller i jordvann på TOV-flatene i 2000. Flatekodene er gitt i Fig. 1. *(Concentrations (µg/l) of some heavy metals in soil water from TOV-monitoring plots in 2000.Plot codes are shown in Fig. 1.)*

Flate	Sjikt	År	Mnd	Cd	Hg	Pb	Mn	Cu	Zn
GU	5	0	7	0.025	<0.1	0.18	6.27	2.0	0.6
GU	5	0	8	0.015	<0.1	0.15	4.46	0.4	0.5
GU	5	0	9	0.016	<0.1	0.15	2.92	1.1	1.0
GU	5	0	10	0.036	<0.1	0.18	5.50	1.1	1.1
GU	15	0	7	0.042	<0.1	0.30	5.16	1.0	0.5
GU	15	0	8	0.061	<0.1	0.21	4.91	0.4	0.7
GU	15	0	9	0.118	<0.1	0.23	6.82	1.5	2.2
GU	15	0	10	0.015	<0.1	0.15	5.78	1.1	1.0
GU	40	0	7	0.016	<0.1	0.13	6.63	0.8	0.7
GU	40	0	8	0.014	<0.1	0.09	6.93	1.2	0.7
GU	40	0	9	0.012	<0.1	0.09	6.56	1.3	0.5
GU	40	0	10	0.011	<0.1	0.10	6.04	0.8	0.7
LU	5	0	6	0.054	<0.1	3.11	0.24	3.4	1.8
LU	5	0	7	0.067	<0.1	4.08	0.54	1.7	3.5
LU	5	0	8	0.102	<0.1	6.18	0.56	2.2	5.6
LU	5	0	9	0.086	<0.1	6.22	0.28	1.7	4.6
LU	5	0	10	0.058	<0.1	4.06	0.25	1.9	4.4
LU	5	0	11	0.152	<0.1	2.32	0.35	2.5	13.3
LU	15	0	6	0.084	<0.1	2.92	0.53	6.5	9.8
LU	15	0	7	0.065	<0.1	2.45	0.36	0.4	6.0
LU	15	0	8	0.082	<0.1	3.11	0.36	0.7	7.5
LU	15	0	9	0.084	<0.1	3.21	0.32	0.7	7.8
LU	15	0	10	0.354	<0.1	2.35	0.26	1.8	5.9
LU	15	0	11	0.043	<0.1	1.48	0.27	1.2	5.1
LU	40	0	6	0.026	<0.1	0.90	0.37	1.6	3.2
LU	40	0	7	0.030	<0.1	0.96	0.37	<0.4	4.5
LU	40	0	8	0.030	<0.1	1.27	0.47	0.4	4.6
LU	40	0	9	0.061	<0.1	1.15	0.19	0.9	2.9
LU	40	0	10	0.041	<0.1	0.75	0.10	1.7	1.8
LU	40	0	11	0.016	<0.1	0.50	0.16	0.8	1.8
MV	5	0	10	0.059	<0.1	0.64	4.32	1.3	44.1
MV	15	0	10	0.053	<0.1	0.37	6.90	1.2	27.3
MV	40	0	9	0.017	<0.1	0.05	1.06	0.9	88.7
MV	40	0	10	0.015	<0.1	0.12	0.68	0.1	1.9
SO	5	0	8	0.252	<0.1	1.92	2.65	9.0	478.0
SO	5	0	9	0.033	<0.1	0.96	0.51	3.5	6.5
SO	15	0	8	0.053	<0.1	2.65	0.44	3.3	4.4
SO	15	0	9	0.088	<0.1	0.84	0.53	1.2	7.7
SO	15	0	10	0.056	<0.1	0.48	0.53	1.7	14.9
SO	40	0	6	0.095	<0.1	0.15	0.89	2.0	9.4
SO	40	0	7	0.068	<0.1	0.13	0.58	1.5	8.5
SO	40	0	8	0.072	<0.1	0.12	0.59	1.4	8.9
SO	40	0	9	0.055	<0.1	0.09	0.56	1.9	8.7
SO	40	0	10	0.037	<0.1	0.08	0.31	1.3	5.9
SO	40	0	11	0.075	<0.1	0.07	0.33	0.6	5.5

Tabell 6. Medianverdier for tungmetaller i jordvann 1995-2000, basert på ICP-MS-analyse. Verdiene er i µg/l. Prøvene er tatt ved 5, 15, og 40 cm dybde (sjikt). AD: Åmotsdalen, BF: Børgefjell, GU : Gutulia, LU: Lund; SojB: Solhomfjell, felt B; n er antall prøver totalt i perioden 1995-2000. (*Median values for heavy metals in soil water 1995-2000, based on ICP-MS analysis. Values are in µg/l.)*

Felt	Sjikt	År	n	Cd	Hg	Pb	Mn	Cu	Zn
AD	5	1995-1997	6	0.07	0.03	0.17	9.5	5.3	21
	15		12	0.03	<0.01	0.12	3.1	2.9	11
	40		4	0.03	<0.01	0.10	6.2	1.7	9
BF	5	1995-1997	2	0.15	0.03	0.40	0.7	1.9	7
	15		3	0.07	0.01	0.23	1.6	3.7	6
	40		5	0.05	0.01	0.07	1.7	1.1	3
GU	5	1995-2000	15	0.03	0.01	0.17	5.9	1.2	2
	15		16	0.03	<0.01	0.17	6.6	1.3	3
	40		16	0.06	<0.01	0.09	12.8	1.0	5
LU	5	1995-2000	9	0.12	<0.01	5.50	0.6	2.4	8
	15		24	0.12	0.01	3.00	0.7	2.3	15
	40		21	0.18	0.01	0.90	1.0	1.7	12
MV	5	1995-2000	7	0.06	<0.01	0.37	6.7	1.8	46
	15		11	0.05	<0.01	0.06	2.3	1.4	27
	40		14	0.02	0.01	0.06	2.1	1.0	5
SOJB	5	1995-2000	4	0.14	0.03	1.40	1.6	6.2	46
	15		7	0.11	0.01	1.30	0.4	2.4	9
	40		25	0.07	<0.01	0.09	1.0	2.3	16

Tabell 7. Medianverdier for metaller i jordvann 1990-1995, basert på AAS-analyse. Verdiene er i µg/l. Prøvene er tatt ved 5, 15, og 40 cm dybde (sjikt).AD: Åmotsdalen, BF: Børgefjell, GU : Gutulia, LU: Lund; SOJA: Solhomfjell, felt A SOJB: Solhomfjell, felt B; n er antall prøver totalt i perioden 1990-1995.
Det ble ikke analysert for Hg i denne perioden. (*Median values for metals in soil water 1990-1995, based on AAS analysis. Values are in µg/l.)*

Felt	Sjikt	År	n	Cd	Pb	Hg	Mn	Cu	Zn
AD	5	1992-1995	6	0.1	<0.6	-	9.5	4.5	6
	15		12	<0.03	<0.6	-	2.7	0.7	<4
	40		6	0.06	<0.6	-	3.1	<0.7	<4
BF	5	1991-1995	15	0.05	<0.9	-	0.7	2.9	<4
	15		13	0.03	<0.9	-	0.8	2	<4
	40		15	<0.03	<0.9	-	1.4	0.7	<4
GU	5	1994-1995	4	<0.03	<0.6	-	3.9	2.1	<4
	15		7	<0.03	<0.6	-	3.3	2	<4
	40		6	<0.03	<0.6	-	7.6	0.9	<4
LU	5	1992-1995	5	0.21	2.5	-	<0.7	1.4	5
	15		16	0.06	2.1	-	0.7	1.7	7
	40		17	0.08	0.7	-	1.5	1	5
MV	5	1994-1995	3	0.13	<0.6	-	5.8	1.9	13
	15		6	<0.03	<0.6	-	1.8	<0.7	<4
	40		6	<0.03	<0.6	-	1.4	1.2	<4
SOJA	5	1990-1992	11	0.08	2.9	-	0.8	1.8	13
	15		10	0.08	3.1	-	0.9	2.2	13
	40		10	0.03	<0.9	-	<0.7	<1.2	<2
SOJB	5	1992-1995	6	0.32	1.7	-	5.1	5.6	17
	15		13	0.26	2.5	-	0.7	3.1	7
	40		13	0.08	<0.9	-	1.1	1.3	13

3.2. Jord-jordvann

Sammenhengen mellom utbyttbare mengder Ca^{2+}, Mg^{2+} , K^{+}, Al og totalt N i 5-15 cm sjiktet i mineraljorda og mengden av de samme elementene løst i jordvann fra 15 cm jorddyp for hver flate er vist i Fig. 5. For jordvannet ble valgt et gjennomsnitt fra åra 1993-2000, 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 Ca^{2+} og Mg^{2+} som normalt forekommer i størst prosentvis mengde, unntatt på Møsvatn. Her hadde K et like høgt forhold som Mg^{2+}. På Solhomfjell svarte Ca^{2+} i jordvannet til 3,4 % av det utbyttbare Ca^{2+}.For Mg^{2+} var det

størst prosent (1,64) på Lund-flata, og noe mindre på Møsvatn og Solhomfjell. For Ca^{2+}, Mg^{2+} og til dels 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 K^+ var det på Møsvatn (1,51). Mengdene av Al og total-N i jordvæska var ubetydelige i forhold til jord.

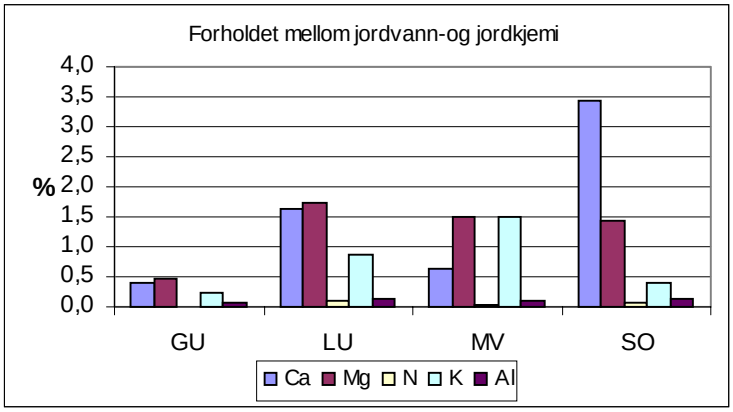

Fig. 5. Forholdet mellom Ca^{2+}, Mg^{2+} , K^+, Al og tot-N i jordvannet (15 cm) de samme elementa i 5-15 cm sjiktet i mineraljorda (Tabell 2). For jordvannet er brukt middelverdien av åra 1993-2000. Flatekoder er gitt i Fig. 1. (*The relationship between Ca^{2+}, Mg^{2+} , K^+, Al and total-N in soil water from 15 cm depth as percentage of Ca^{2+}, Mg^{2+} , K^+, and total N in 5-15 cm soil depth (Table 2). For soil water mean values of 1993-2000 were used. Plot codes are given in Fig. 1.)*

3.3. Andre relevante data og resultater

På tre av TOV-områdene (Lund, Møsvatn og Gutulia) utførte Skogforsk i flere år skoglige vitalitetsregistreringer (utført som en del av et internt instituttprosjekt). 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% som følge av angrep av bjørkemålere.

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 et al. 1991, Brattbakk et al. 1992, Brattbakk 1993, Eilertsen & Often 1994, Økland & Eilertsen 1993. De klimatiske forholdene (spesielt nedbør og temperatur), og vegetasjonsperiodens lengde, er viktige både for utformingen av vegetasjonen. Dette har virkninger for kvaliteten på både jordsmonnet og de prosesser som foregår der. Disse faktorene har også betydning for kvaliteten på jordvannet. Tilførsel av ulike stoffer, som H^+, sulfat og nitrogenkomponenter gjennom luft og nedbør, påvirker også jordvatnets sammensetning og kan medføre tap av næringsstoff med avrenningsvannet.

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. Prøvene av jordvannet representerer et mindre areal av flata, og de gjenspeiler dermed ikke den samme spredningen/variasjonen som jordprøvene som ble tatt fra hele flata. Både kjemiske og biologiske prosesser påvirker det som skjer i jorda, og disse innvirker på og kan føre til at sammenhengen mellom konsentrasjonen av elementer i jord og konsentrasjonen av elementer løst i jordvann ikke er så tydelig som vi kunne forvente. Avstanden i tid mellom jordprøve- og jordvann-prøvetakingsår er nå forholdsvis lang, 7 – 9 år, og samsvaret mellom jord og vannprøver kan derfor svekkes.

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). Jordprøver tatt ved Storgama i Telemark i åra 1982, 1990 og 1999 viser positive endringer for enkelte jordparametere (SFT 2000). Minkende forurensninger med nedbøren utover i siste del av 80- og 90-åra kan ha påvirket mengdene eller konsentrasjonene av noen av disse jordparametrene. Sulfat og pH var det derfor grunn til å forvente ville vise en gunstig utvikling i jordvatnet. Særlig fordi påvirkninger utenfra på økosystemet raskere ville observeres i jordvatnet enn i jord. Tidsseriene med jordvannsmålinger (1991-93 tom 2000) burde likevel vært fulgt opp med jordprøvetaking i avslutningsfasen av TOV slik at en kunne fått en tryggere bakgrunn for tolkingen av dataene.

Flata i Lund hadde høgere jord-pH (og basemetningsgrad) enn flatene i Solhomfjell og Gutulia (Tabell 1 og 2). Likevel var viste jordvannsprøvene fra Lund lavere pH enn Solhomfjell (Fig. 2, Berg & Aamlid 1998). Dette kan som ovenfor antydet, trolig forklares med at pH i jordvatnet i områder med næringsfattig jordsmonn i stor grad påvirkes av syretilførselen som kommer med nedbøren.

Med økende dyp stiger pH i jordvatnet, se Fig. 2. Et unntak er senkingen av pH fra 15 til 40 cm dyp i Møsvatn-flata. I Tabell 8 er middelet for pH i de enkelte nivå vist for heile TOV-perioden og de siste 5 åra av denne. GLM-analysen viste derimot at det ikke er signifikant forskjell mellom alle sjikt, men bortsett fra Lund i perioden 1996-2000 er den sikker mellom 5 og 40 cm. Ca^{2+} er det viktigste utbyttbare kationet i jorda i humussjiktet og i mineraljorda i Gutulia og Møsvatn.(Tabell 1 og 2) At konsentrasjonen av Ca^{2+} i jordvannet er større enn konsentrasjonen av Mg^{2+} og K^{+} må sees på bakgrunn av dette. Forskjellene mellom elementene (mg/l eller som mol/l) er minst i Lund. Her har det vært en trend mot lavere i Ca^{2+}-konsentrasjonen i alle sjikt i hele måleperioden (Fig. 2 og Berg & Aamlid 1997). Særlig er Ca^{2+} -konsentrasjonen i jordvannet i humussjiktet (5 cm) signifikant forskjellig fra de to andre sjiktene (Tabell 6) i de to periodene 1991-2000 og 1997-2000, med unntak av Gutulia, se også Ca^{2+}-kurvene i Fig. 2. Mg^{2+} konsentrasjonen i Lund viser heller ikke en tilsvarende trend som Ca^{2+}. Dette kan indikere at en stor del av Mg^{2+} i jordvatnet her er av marin opprinnelse (lineær reg. Mg^{2+} og Cl^{-} for alle sjikt i Lund i heile prøveperioden har r^2=0,45, F=98,1, Pr>0,0001). De marine avsetningene av Ca^{2+} er derimot små. Resultater fra analyser av jordvann fra de sørlige flatene Prestebakke og Birkenes i Overvåkingsprogram for skogskader (OPS) viser også en reduksjon i Ca^{2+}-konsentrasjonen i løpet av overvåkingsperioden (Solberg et al. 1997). Men nedgangen i 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 har derfor blitt stadig mer sannsynlig at nedgangen er reell og at utviklingen derfor burde ha blitt fulgt nøye framover sammen med nye jord-, og helst også planteprøver, for å klarlegge forholdene.

I Norge er den antropogene tilførselen av Cl^{-} og Na^{+} liten. De vesentligste mengdene av disse elementene kan spores tilbake som sjøsalt, mest nær kysten. Konsentrasjonen av Na^{+}, Cl^{-} og for så vidt Mg^{2+}, vil derfor variere fra år til år avhengig av nedbørmengde og vindforhold. På grunn av nær beliggenhet til havet hadde Lund høgest konsentrasjon av både Cl^{-} og Na^{+} i jordvannet, mens den var noe mindre på Solhomfjell og minst på Møsvatn og Gutulia. Tallmaterialet (på månedsbasis) viser at det er en positiv korrelasjon mellom Na og Cl (0.702). og at korrelasjonen også gjelder på alle felt og nivå. Cl^{-} bindes dårlig i jorda, og konsentrasjonen av dette elementet i jordvannet varierer vanligvis lite med jorddypet. På årsbasis var konsentrasjonen av Na^{+} nokså konstant i jordvannet i alle sjikt. Forvitringen av Na^{+} fra mineralmaterialet er også som regel liten, og beregninger fra Birkenes viser at tilført Na^{+} omtrent balanserer utvaskingen (Kvindesland et al. 1994).

SO_4-S i jordvann kan komme fra flere kilder, som biologiske prosesser, sjøvann og luftforurensninger. I de kystnære områder vil derfor sjørokket øke konsentrasjonen av SO_4-S i jordvannet. I Tabell 3 er det gitt både sjøsaltkorrigert SO_4-S og reelt målt SO_4-S. Korrigeringen for sjøsalt viser at størstedelen av SO_4-S kommer fra andre kilder (Fig. 3), men i Lund var sjøsalt-innholdet i jordvannet relativt større enn i de øvrige flatene. Tilsvarende er registrert i Søgne (Vest-Agder) og i Nedstrand (Nord-Rogaland) (Solberg et al. 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 SO_4-S konsentrasjonen i jordvannet i perioden 1991-2000 (Fig. 3). Denne nedgangen skyldes trolig nedgang i tilførsel av langtransportert SO_4-S. Tilsvarende er det i jordprøver målt en nedgang i vannløselig SO_4-S i øvre del av humussjiktet for perioden 1990-1999 i Storgamafeltet, Telemark (SFT 2000)

I følge nedbørdata tilføres det også mer NO_3-N til flata på Lund enn til de andre flatene. Nitrogen er imidlertid en minimumsfaktor i våre skogøkosystem og NO_3-N tas raskt opp i plantene. Den mengden NO_3-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 ei al. 1999)

Tabell 8. Sammenlikning av middelverdiene for pH og kalsium i tre forskjellige sjikt i hele overvåkingsperioden 1991-2000 og for siste del av overvåkingsperioden 1997-2000. 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 Ca^{2+} between the 5, 15 and 40 cm layers in the monitoring periods 1991-2000 and 1997 – 2000. Different letters in the rows denote significant difference.*)

pH		obs	df	SS1	F	P>F	R2	Sijkt, cm		
								5	15	40
Gutulia	91-00	80	77	4,21	13,42	0,0001	0,26	5,68 a	5,72 a	6,19 b
	96-00	21	18	0,51	3,48	0,0408	0,30	5,47 a	5,49 a	5,80b
Lund	91-00	124	121	2,46	4,38	0,0146	0,07	4,63 a	4,71a	4,96 b
	95-00	29	26	0,49	8,76	0,0012	0,09	4,38 a	4,35 a	4,63 b
Møsvatn	91-00	74	71	2,78	19,95	0,0001	0,36	5,72 a	6,18 b	6,05 b
	96-00	24	21	1,21	16,29	0,0001	0,61	5,85 a	6,42 b	6,10 c
Solhomfj	91-00	111	108	15,06	70,51	0,0001	0,57	4,66 a	4,81 b	5,49 c
	96-00	36	33	3,5	52,13	0,0001	0,76	4,64 a	4,94 b	5,40 c
Ca		obs	df	SS1	F	P>F	R2	5	15	40
Gutulia	91-00	77	74	7,13	2,22	0,1155	0,06	1,18 a	0,71 a	1,44 a
	96-00	21	18	0,03	0,61	0,554	0,06	0,74 a	0,71 a	0,65 a
Lund	91-00	123	120	4,4	7,11	0,0012	0,11	0,95a	0,55 b	0,46 b
	96-00	29	26	0,02	0,59	0,5614	0,05	0,20 a	0,25 a	0,27 a
Møsvatn	91-00	71	68	5,36	19,51	0,0001	0,36	1,40 a	0,85 b	0,77 b
	96-00	24	21	1,71	16,28	0,0001	0,61	1,36 a	1,11 b	0,69 c
Solhomfj	91-00	107	104	27,26	42,96	0,0001	0,45	1,77 a	0,69 b	0,50 b
	96-00	35	32	12,23	20,03	0,0001	0,56	1,87 a	0,61 b	0,38 b

Total-Al konsentrasjoner (Al i Tabell 3) på over 1,0 mg/l var det bare 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 et al. 1999). Det er landsomfattende undersøkelser, men som i TOV-datasettet er vanskelig å finne noen tydelig trend i, for eksempel fra mye til lite Al i forhold til forurensningsbelastningen. I prøvematerialet til TOV er det likevel en negativ korrelasjon mellom pH og Al (-0,403, $P<0.0001$). Også konsentrasjonene av labilt Al på OPS-flatene var i hovedsak lavere enn 1,0 mg/l i 1998 (Solberg et al. 1999) og samsvarte godt med TOV-flatene (Tabell 3). Et forsøk med små granplanter i næringsløsning ga bare mindre skade på røttene ved konsentrasjonen av uorganisk Al på 2,0 mg/l eller 80 µM/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 planterøtter. Ca/(total)Al-forholdet er lavt i Lund og Solhomfjell (Tabell 4) og disse TOV-flatene er mest utsatt for langtransporterte forurensninger. Det er hevdet at dette Ca/(total)Al-forholdet kan indikere toksiske virkninger av Al hvis forholdet er lavere enn 1,0 (Ulrich 1989), seinere er dette utvidet til $(Ca+Mg+K)/Al<1$ (Sverdrup & Warfinge 1993), Av Tabell 4 ser vi da at tilstanden på Lund og Solhomfjell da virker bedre, men forholdet er likevel lavt.

Den kanoniske diskriminantanalysen viste at jordvatnet i 15 cm nivået hadde forskjellig kjemisk kvalitet mellom feltene. Minst forskjell var det mellom Møsvatn og Gutulia, både langs akse 1(x) og akse 2(y), men alle felta var signifikant langs akse 1. Langs akse 2 var det bare Solhomfjell som var signifikant forskjellig fra de øvrige. Trender over år manglet langs akse 1. Noe av årsaken var nok stor årlig variasjon konsentrasjonen av Na^+ og Cl^- (se Fig. 3). Det samme gjaldt for Si. Disse

elementene hadde også gjennomsnittlig høgest 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 kan sies å representere en forurensingsgradient/oseanisk gradient da H^+, Na^+ og Cl^- var sterkt korrelert med denne, i og med at de gjennomsnittlige skårene (centroiden) var størst for Lund, fulgt av Solhomfjell og lavest for Gutulia.

De skoglige registreringer i 2000 viste at på to av flatene, Lund og Gutulia, var skogtilstanden som forventet rimelig bra og som i foregående år. 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 innsamlete jordvannsprøvene på TOV-flatene viste at den kjemiske kvaliteten på jordvannet har endret seg i løpet av overvåkingsperioden, 1991 – 2000. 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.

I Lund har det vært en tydelig nedgang i Ca^{2+} konsentrasjonen i jordvann i måleperioden, mens den ikke var fullt så markert i Gutulia og Solhomfjell.

pH i jordvannet i Lund ligger nå på et lavere (dvs. høgere konsentrasjon av 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. English summary

Within the framework of the Programme for Terrestrial Monitoring (TOV), soil water has been collected from four monitoring plots in 2000 (Fig. 1). Three of the plots were located in birch forest, and one (Solhomfjell) in spruce forest. Height above sea level, annual precipitation and growing season temperature showed significant variation between plots. Bilberry and bilberry-crowberry were the main forest vegetation types on the plots. Results from the monitoring in 2000 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 depended largely on the chemistry of the soil and the amount and quality of the precipitation. Concentrations of key chemical parameters in the organic layer and from 5-15 cm depth in the mineral soil are shown in Tables 1 and 2, respectively. The concentrations of some of the main elements in soil water from 2000 are shown in Table 3. pH in soil water usually increased with soil depth. The annual variations in pH from 1991 to 2000 are shown in Fig. 2. In Lund there has been a slight decrease in pH in these years, although continuous measurements were lacking at 5 cm. However, there was indication of improvement in pH during the last two years. Fig. 2 also shows similar long-term tendencies for Ca^{2+} as for pH in Lund. There was greater annual variation in concentrations of Ca^{2+} and other elements in the humic layer than in the mineral layers. Also other nutrients, such as Mg^{2+} and K^+, were found with the highest concentrations in the organic soil layer and decreased with increasing soil depth.

The concentrations of SO_4^{2-} in 2000 were below 1 mg/l and only with a few exceptions greater than 1 from 1991 to 2000 (Fig. 3). SO_4^{2-} generally showed a decreasing trend in that period. Total Al was 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 measured on the plots for the first time in 1999. However, the values were small, well below 1.0 mg/l. That was similar to results from the Monitoring Programme for Forest Damage (OPS) in Norway showing that the concentration of

inorganic Al varied between plots and soil depths. There, however, concentrations of inorganic Al up to 1,77 mg/l were evident at some plots (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 affected the plant roots.

The concentration of Cl^- varied greatly between the plots (Fig. 3), due to differences in deposition of sea salts. The plot in Gutulia had minimal variation between years and here the Cl^- concentrations were constantly below 1.0 mg/l. In contrast, the plot in Lund had the highest concentrations of 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 Cl^- supply of all plots (Tørseth & Manø 1997).

Concentrations of Pb and Cd, as shown in Tables 5-7, were higher at the southernmost sites Lund and Solhomfjell where the humus layer was markedly contaminated with these metals from long-range atmospheric transport. Mn on the other hand was much lower at these sites, probably due to removal from the soil exchange complex with H^+ and possibly marine cations.

Canonical discriminant analyses of soil water chemistry of a number of variables grouped the plot centroides along an acidification gradient at axis 1, with Lund and Solhomfjell in the ”polluted part”.

Even though the atmospheric input of N also is quite high in Lund, soil water from this plot as well as the others has shown low amounts of N (mostly at detection levels for NH_4^+ and 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 minimise any leaching.

Etterord

Takk til alle observatørene som har hatt mange turer for å samle inn jordvann, til Skogforsk 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, 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. Terrestisk naturovervåking. Vegetasjonsøkologiske 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 overvåkete forskningsflater. Endringer etter 5 år. Rapp. Skogforsk 1/93:1-23.

Jensen, A. 1995. Jordstatus på intensivt overvåkete forskningsflater. Endringer etter 5 år. 1988-1993. Rapp. Skogforsk 5/95:1-20.

Jensen, A. & Frogner, T. 1994. Jordstatus på intensivt overvåkete forskningsflater. Endringer etter 5 år. 1987-1992. Rapp. Skogforsk 8/94:1-30.

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. & Sørlie, 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.

SFT. 2000. Overvåking av langtransportert forurenset luft og nedbør. Årsrapport. 1999. Statlig program for forurensningsovervåking. Rapport 804/00, Statens forurensningstilsyn, Oslo. Norge. (s.79-86). 198s.

Sjøbakk, T.E. & Steinnes, E. 1997. Forekomst av tungmetaller i jordprofiler fra overvåkingsflater i ulike deler av Norge. Utredning for DN Nr. 1997 - 3.

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. 1999. 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.

Vedlegg

ICP-MS-data for tungmetaller i jordvann; gjennomsnittsverdi for hvert felt. Alle verdier er gitt i µg/L. Prøvene er tatt ved 5, 15, og 40 cm dyp.
AD: Åmotsdalen, BF: Børgefjell, GU : Gutulia, LU: Lund; SOJB: Solhomfjell, felt B;
n er antall prøver totalt i perioden 1995-2000.
ICP-MS data for heavy metals in soil water, mean values for each plot. All values are given in µg/L. Samples are collected at 5, 15, and 40 cm depth.

År	**Felt**	**Dyp cm**	**n**	**Cd**	**Hg**	**Pb**	**Mn**	**Cu**	**Zn**
2000	GU	5	4	0.02	<0.01	0.14	4.76	1.11	0.7
	GU	15	4	0.06	0.01	0.20	5.64	0.97	1.0
	GU	40	4	0.01	0.01	0.08	6.51	0.97	0.6
	LU	5	6	0.08	0.01	4.30	0.34	2.36	5.6
	LU	15	6	0.12	0.01	2.56	0.32	1.99	7.1
	LU	40	5	0.03	<0.01	0.90	0.23	0.89	3.0
	MV	5	1	0.06	<0.01	0.62	4.29	1.79	43.5
	MV	15	1	0.05	0.02	0.34	6.87	1.73	26.6
	MV	40	2	0.01	<0.01	0.06	0.84	0.77	45.3
	SOJB	5	2	0.14	0.01	1.42	1.55	6.16	242.9
	SOJB	15	3	0.06	0.01	1.30	0.48	1.87	9.2
	SOJB	40	6	0.06	<0.01	0.08	0.51	1.28	7.9
År	**Felt**	**dyp**	**n**	**Cd**	**Hg**	**Pb**	**Mn**	**Cu**	**Zn**
1999	GU	5	2	0.03	0.04	0.30	8.31	1.83	1.6
	GU	15	4	0.04	0.03	0.29	20.3	4.57	4.3
	GU	40	4	0.03	<0.01	1.00	18.3	4.03	4.1
	LU	5	1	0.12	<0.01	5.51	0.55	2.22	7.8
	LU	15	1	0.09	<0.01	3.04	0.49	1.10	10.4
	LU	40	2	0.02	<0.01	0.80	0.96	1.13	5.4
	MV	5	3	0.03	<0.01	0.38	3.79	1.58	72.0
	MV	15	4	0.05	<0.01	0.07	0.85	0.90	32.1
	MV	40	4	0.01	<0.01	0.02	0.80	0.52	4.7
	SOJB	40	1	0.06	<0.01	0.08	0.62	1.99	8.5
År	**Felt**	**dyp**	**n**	**Cd**	**Hg**	**Pb**	**Mn**	**Cu**	**Zn**
1998	LU	5	2	0.35	<0.01	6.34	1.09	5.16	16.7
	LU	15	4	0.45	0.02	5.16	0.65	2.28	17.0
	LU	40	4	0.48	<0.01	1.60	0.58	1.74	12.3
	MV	5	1	0.06	<0.01	0.37	13.4	2.21	723.7
	MV	15	1	0.17	<0.01	0.06	2.28	0.94	42.7
	MV	40	2	0.02	0.01	0.12	2.12	1.04	759.2
	SOJB	40	3	0.09	<0.01	0.09	0.94	2.37	13.5

År	Felt	dyp	n	Cd	Hg	Pb	Mn	Cu	Zn
1997	AD	5	1	0.07	<0.01	0.17	9.48	5.31	84.4
	AD	15	3	0.03	<0.01	0.08	3.10	3.33	10.9
	AD	40	2	0.03	0.03	0.10	7.82	9.54	8.7
	BF	15	1	0.07	<0.01	0.45	0.89	3.71	7.0
	BF	40	2	0.05	<0.01	0.07	0.74	1.29	3.2
	GU	5	4	0.02	0.01	0.17	6.77	1.15	1.3
	GU	15	4	0.02	<0.01	0.06	7.62	1.29	2.6
	GU	40	4	0.09	<0.01	0.05	11.3	1.03	2.9
	LU	15	6	0.43	<0.01	4.46	2.51	6.63	24.8
	LU	40	4	0.18	0.02	1.24	2.76	2.73	17.8
	MV	5	1	0.08	0.05	0.26	17.2	1.71	45.6
	MV	15	2	0.03	0.04	0.05	3.52	1.42	10.1
	MV	40	3	0.02	0.01	0.01	2.63	1.13	3.2
	SOJB	40	10	0.06	<0.01	0.05	1.50	2.46	18.4
År	**Felt**	**dyp**	**n**	**Cd**	**Hg**	**Pb**	**Mn**	**Cu**	**Zn**
1996	AD	5	2	0.05	0.03	0.13	4.57	1.23	2.4
	AD	15	3	0.02	<0.01	0.12	3.11	1.70	2.3
	AD	40	1	0.02	<0.01	0.08	6.20	1.71	2.0
	BF	5	1	0.23	0.06	0.62	0.63	2.31	7.1
	BF	15	1	0.09	<0.01	0.23	1.64	5.52	4.6
	BF	40	2	0.05	<0.01	0.20	1.37	1.07	3.3
	GU	5	2	0.05	<0.01	0.27	5.94	1.10	2.8
	SOJB	5	1	0.81	0.03	2.34	1.76	7.73	45.6
	SOJB	15	1	0.11	0.02	1.98	0.32	2.39	23.4
	SOJB	40	2	0.09	<0.01	0.20	4.15	2.97	38.5
År	**Felt**	**dyp**	**n**	**Cd**	**Hg**	**Pb**	**Mn**	**Cu**	**Zn**
1995	AD	5	3	0.36	0.05	1.55	28.4	11.5	21.1
	AD	15	6	0.06	0.06	0.75	3.00	2.90	11.9
	AD	40	1	0.23	<0.01	0.17	2.66	1.54	23.4
	BF	5	1	0.07	<0.01	0.61	0.87	1.52	6.3
	BF	15	1	0.02	0.06	0.17	11.6	2.09	17.0
	BF	40	1	0.01	0.32	0.04	1.76	0.35	1.3
	GU	5	3	0.04	0.03	0.17	5.28	1.46	3.3
	GU	15	4	0.03	<0.01	0.13	5.51	1.17	14.8
	GU	40	4	0.10	0.02	0.09	14.2	0.74	8.0
	LU	15	7	0.10	<0.01	2.89	0.96	2.48	17.5
	LU	40	6	0.20	0.02	0.41	2.88	1.70	11.9
	MV	5	1	0.04	0.12	0.17	6.70	0.64	15.3
	MV	15	3	0.07	<0.01	0.02	1.81	0.15	4.5
	MV	40	3	0.27	0.05	0.10	2.09	1.57	3.9
	SOJB	5	1	0.08	0.08	0.49	0.06	3.39	7.2
	SOJB	15	4	0.41	0.01	0.87	0.33	3.17	8.7
	SOJB	40	4	0.07	0.05	0.13	1.06	2.16	23.2

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 trekktellinger. 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 naturovervaking. Landsomfattande 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. Landsomfattande 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 Kongsfjorden, 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 naturovervaking. Epifyttisk lav på bjørk - landsomfattande 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 Polarinstitutt. 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 naturovervaking. 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 Oppdragsmending 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 naturovervaking. Landsomfattande 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 naturovervaking. Gjenkartlegging av epifyttisk lav i Åmotsdalen og Lund 1996. ALLFORSK Rapport 9: 1-40.

82. Gaare, E. & Strand, O. 1998. Overvåking av 137Cs i Dovre/Rondane i perioden 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 naturovervaking. 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. & Fossøy, F. 2000. Accumulation of heavy metals in circumpolar willow ptarmigan populations. NINA Oppdragsmelding 646: 1-31.

89. Bruteig, I.E. 1998. Terrestrisk naturovervaking. 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: 1-47.

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. & Tronstad, I.K.K 2000. Landsomfattande gjenkartlegging av epifyttvegetasjonen på bjørk 1997. - ALLFORSK Rapport 16: 1-38

98. Økland, R. Skrindo, A. og Hansen, K. T: 1999. Endringer i trærs vekst og vitalitet, vegetasjon og humuslagets kjemiske og fysiske egeneskaper 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 650: 1-15.

100. Kålås., J.A. (red.). 2000. Terrestrisk naturovervåking. Smågnagere og fugl i TOV-områdene, 1999. NINA Oppdragsmelding 653:1-33.

101. Aas, W., Tørseth, K., Berg, T., Solberg, S. & Manø, S. Overvåking av langtransportert fururenset luft og nedbør. Atmosfærisk tilførsel, 1999. NILU OR 23/ 2000.

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

103. Gaare, E., Skogen, A. & Strand, O. 2000. Overvåking av 137 Cs i Dovrefjell og Rondane i perioden 1997-1999. NINA Oppdragsmelding 616: 1-43.

104. Lawesson (red.). 2000. A concept for vegetation studies and monitoring in the Nordic countries. Nord Environment 2000: xxx. (rapporten er delfinansiert fra TOV).

105. Bakkestuen, V. m. fl. 2001. Vegetasjonsøkologiske undersøkelser av boreal bjørkeskog i Børgefjell nasjonalpark- reanalyser 2000. NINA Oppdragsmelding 700: 1-41

106. Aas, W., Tørset, K. Solberg, S., Berg, T., Manø, S. & Yttri, K.E. 2001. Overvåking av langtransportert forurenset luft og nedbør. Atmosfæriske tilførsel, 2000. Oslo. Statlig program for forurensningsovervåking. NILU rapport OR 34/ 2001.

107. Kålås, J.A. (red.) 2001. Terrestrisk naturovervåking. Smågnagere og fugl i TOV-områdene, 2000. NINA Oppdragsmedling 697: 1-33.

108. Nygård, T., Skaare, J.U., Kallenborn, R. & Hezke, D. 2001. Terrestrisk naturovervåking. Persistente organiske miljøgifter i rovfuglegg i Norge. NINA Oppdragsmelding nr. xx:1-xxx (i trykk).

109. Bruteig, I. 2001. Terretrisk naturovervaking. Gjenkartlegging av epifyttvegetasjonen i Solhomfjell og Børgefjell 2000. NINA Oppdragsmelding 703:1-39.

110. Økland, T., Bakkestuen, V. &, Økland, R. 2001. Nasjonalt nettverk av vegetasjonsflater for intensiv overvåking (i trykk).

111. Framstad, E. & Kålås, J.A. 2001. TOV 2000. Nytt program for overvåking av biologisk mangfold på land– basert på videreutvikling av dagens TOV. NINA Utredning xxx:1-xx (i trykk).

112. Bruteig, I.E. 2001. Terrestrisk naturovervaking. Gjenkartlegging av epifyttvegetasjonen i Gutulia og Dividal 1998. ALLFORSK rapport xx. 1-xx (i trykk).

113. Røsberg, I., Sjøbakk, T. E., Steinnes, E. & Aamlid, D. 2001. Program for terrestrisk naturovervåking. Overvåking av jordvann - Sluttrapport 2000 (Monitoring programme for terrestrial ecosystems. Monitoring of soil water – Final report 2000). Rapport fra skogforskningen 5/01:1-25.

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.