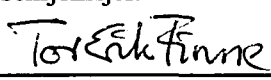


Fagrapport nr. 32  
NGU rapport 92.294

**En sammenligning av relativ  
forsuringsfølsomhet og  
tålegrenser beregnet ved bruk av  
modeller, i jord**

Rapport nr. 92.294		ISSN 0800-3416		Gradering: Åpen	
<b>Tittel:</b> Sammenligning av relativ forsurningsfølsomhet med tålegrenser beregnet ved bruk av modeller, i jord.					
<b>Forfatter:</b> Carl Einar Amundsen			<b>Oppdragsgiver:</b> Direktoratet for naturforvaltning		
<b>Fylke:</b> Sør-Norge			<b>Kommune:</b>		
<b>Kartbladnavn (M=1:250.00)</b>			<b>Kartbladnr. og -navn (M=1:50.000)</b>		
<b>Forekomstens navn og koordinater:</b>			<b>Sidetall:</b> 50		<b>Pris:</b> 126,-
<b>Feltarbeid utført:</b> NIJOS, 1988			<b>Rapportdato:</b> 16.11.92		<b>Prosjektnr.:</b> 63.2484.00
			<b>Seksjonssjef:</b> 		
<b>Sammendrag:</b> <p>Jordprøver fra sjiktene O+LFH, A<sub>h</sub>, A<sub>e</sub>, B og C ble slemmet opp i vann og fortynnet svovelsyre (pH 3 og pH 4). pH og innholdet av Ca, Mg, K, Na, Al, Fe og Mn ble bestemt i ekstraktene. Mengde tilsatt syre som <u>ikke</u> reagerer med jorda (Fa<sub>3</sub>) og mobiliteten av basekationer (<math>\Delta M \cdot \Delta H^{-1}</math>) og aluminium (<math>\Delta Al \cdot \Delta H^{-1}</math>) ved syretilsetning, ble bestemt. Resultatene viser at mobiliteten av basekationer og aluminium ved syretilsetning kan relateres til innholdet av utbyttbare basekationer (SEB) i jorda. Utvaskingen av basekationer er størst i prøvene med høyt innhold av SEB, mens mobiliteten av aluminium er størst ved lave og moderate konsentrasjoner av SEB. Fa<sub>3</sub> viser bare svake sammenhenger med SEB. Regionale variasjoner i mobiliteten av basekationer og aluminium faller sammen med regionale variasjoner i innholdet av H<sup>+</sup>, labilt aluminium og sulfat i overflatevann i det undersøkte området. Tålegrenser beregnet ved MAGIC viser en signifikant sammenheng med relativ følsomhet, definert som 5 følsomhetsklasser, og også signifikante sammenhenger med mobiliteten av basekationer og aluminium ved syrepåvirkning (<math>\Delta M \cdot \Delta H^{-1}</math> og <math>\Delta Al \cdot \Delta H^{-1}</math>). Tålegrenser beregnet ved PROFILE modellen viser ingen sammenheng med relativ forsurningsfølsomhet. Store lokale variasjoner i jordsmonnets kjemiske egenskaper gjør prøvetettheten til en viktig faktor i beregningen av tålegrenser og relativ forsurningsfølsomhet. PROFILE modellen som beregner forvitringen representativ for bare et prøvepunkt, er avhengig av større prøvetetthet i beregningen av regionale tålegrenser enn tilfellet er ved dagens beregninger.</p>					
Emneord: Geokjemi		Kjemisk analyse		Aluminium	
Kalium		Kalsium		Magnesium	
Jord		pH		Fagrapport	

## **FORORD**

Økonomiske midler til dette prosjektet ble bevilget av programmet "Naturens Tålegrenser" i april-92.

Prosjektet er utført i samarbeid med Norges geologiske undersøkelse (NGU) og Norsk institutt for skogforskning (NISK). Rolf Nilsen, Tor Erik Finne og Ola Kihle ved NGU har vært hjelpelige under utarbeidelsen av kartene som er presentert i rapporten. Tore Frogner og Arnt Olav Håøya ved NISK har stått for beregningene av tålegrenser ved bruk av PROILE og MAGIC-modellen. Jordprøvene som er brukt i prosjektet er innsamlet av NIJOS (Norsk institutt for jord- og skogkartlegging) i forbindelse med programmet "Overvåking av skogens sunnhetstilstand". Kjemiske analyser av jordprøvene er utført ved Landbrukets Analysesentral og NGU.

Carl Einar Amundsen har vært hovedansvarlig for prosjektet .

Forord	2
Sammendrag	4
Summary in English	6
1. Innledning	8
2. Definisjon av forsuring, relativ forsuringfølsomhet og tålegrense	10
3. Definisjon av brukte parametre. Forkortelser	10
4. Hensikt og målsetning for prosjektet	13
5. Prøvemateriale og areal	13
6. Kjemiske analyser av jordprøvene	16
7. DEL I - Relativ forsuringfølsomhet bestemt ved en enkel oppslemmingsmetode	16
7.1 Innledning	16
7.2 Resultater	16
7.3 Diskusjon	22
8. DEL II - Sammenligning av regionale forskjeller i relativ forsuringfølsomhet og tålegrenser	24
8.1 Ulike typer kart	24
8.2 Beregning av volumbaserte parametre	24
8.3 Beskrivelse av PROFILE og MAGIC modellene	25
8.4 Resultater	28
8.4.1 Regionale variasjoner for $Fa_3$ , $\Delta M \cdot \Delta H^{-1}$ , $\Delta Al \cdot \Delta H^{-1}$ og SEB	28
8.4.2 Regionale variasjoner for $H/(Ca+Mg)$ og $(Ca+Mg)/Al$ i O+LFH og B-sjiktet	34
8.4.3 Klassifisering av profilene i 5 følsomhetsklasser	34
8.4.4 Tålegrenser beregnet ved bruk av PROFILE og MAGIC modellene	37
8.5 Diskusjon	41
9. Konklusjoner	44
10. Referanser	46

## SAMMENDRAG

Hensikten med prosjektet var å 1) vise hvordan den relative følsomheten for effekter av sur nedbør kan bestemmes ved ekstraksjoner av jordprøver i vann og svovelsyre pH 3 og pH 4 2) sammenligne regionale forskjeller i relativ forsurningsfølsomhet med tålegrenser beregnet ved PROFILE og MAGIC modellene i 8 fylker i Sør-Norge.

722 jordprøver fra 8 fylker i Sør-Norge, samlet inn av NIJOS sommeren og høsten 1988, ble brukt i dette prosjektet. Prøvene var tatt fra 5 ulike sjikt; råhumus (O+LFH), humus (A<sub>H</sub>), bleikjord (A<sub>e</sub>), utfellingssjikt (B) og undergrunn (C).

Kjemiske analyser av jordprøvene omfattet bl.a. bestemmelse av utbyttbare basekationer (Ca+Mg+K+Na, forkortet SEB) og utbyttbar aciditet i 1N NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> og bestemmelse av pH og innholdet av bl.a. Ca, Mg, K, Na, Al, Fe og Mn i oppslemminger av vann og fortynnet svovelsyre (pH 3 og pH 4). Mengden tilsatt syre (i %) som ikke hadde reagert med jorda (Fa3), tilsatt syres evne til å mobilisere basekationer (forkortet  $\Delta M \cdot \Delta H^{-1}$ ) og tilsatt syres evne til å mobilisere aluminium (forkortet  $\Delta Al \cdot \Delta H^{-1}$ ) ble beregnet ved å bruke pH og kationinnholdet i vann- og syreekstraktene.

Resultatene viser at mobiliteten/utvaskingen av basekationer og aluminium i alle sjikt kan relateres til mengden utbyttbare basekationer i jorda. Utvaskingen av basekationer er størst i de prøvene hvor SEB er størst (positiv korrelasjon mellom  $\Delta M \cdot \Delta H^{-1}$  og SEB), men de mest følsomme prøvene med hensyn på utvasking av basekationer ble vist å være de med et middels til moderat høyt innhold av SEB og høy  $\Delta M \cdot \Delta H^{-1}$ . Dette er slik fordi disse prøvene er nær et punkt hvor forholdet mellom basekationer og aluminium er i ferd med å bli senket. Ved middels/lave konsentrasjoner av SEB i jorda skjer en økning av mobiliteten av Al og mobiliteten er størst ved lave verdier av utbyttbare basekationer i jorda. Fa3 viser bare svake sammenhenger med SEB og det ble antatt at andre reaksjoner enn ionebytte- og forvittringsreaksjoner påvirker pH endringen ved syretilsats.  $\Delta M \cdot \Delta H^{-1}$  og  $\Delta Al \cdot \Delta H^{-1}$  ble antatt å være mer nyttige enn Fa3 når effekter av sur nedbør i jorda skal vurderes med den anvendte metodikken.

Kartframstilling av SEB, Fa3 og av utvaskingen av basekationer og aluminium ved syretilsetning (hhv.  $\Delta M \cdot \Delta H^{-1}$  og  $\Delta Al \cdot \Delta H^{-1}$ ) viser at det er store regionale forskjeller for disse parametrene i det undersøkte området. Fa3 er høy (liten buffereffekt) i de sørligste delene av Vest-Agder og Østfold, de nordlige delene av Aust-Agder og i deler av Telemark og Buskerud. Mobiliteten av basekationer ved syretilsetning ( $\Delta M \cdot \Delta H^{-1}$ ) er størst i områder med høy SEB dvs. i første rekke Vestfold og Akershus, men også i deler

av Buskerud og Telemark. De mest følsomme områdene m.h.p. utvasking av basekationer ble funnet å være de sørligste delene av Aust-Agder, og Telemark og de nordligste delene av Akershus. Mobiliteten av aluminium ved syretilsetning ( $\Delta\text{Al}\cdot\Delta\text{H}^{-1}$ ) viser det omvendte mønsteret av  $\Delta\text{M}\cdot\Delta\text{H}^{-1}$  dvs. mobiliteten av aluminium er høy der SEB er lav. Dette gjelder i første rekke Agderfylkene og Telemark, men også den nordvestlige delen av Østfold viser høy mobilitet av aluminium ved syrepåvirkning. Utvaskingen av basekationer og aluminium (hhv.  $\Delta\text{M}\cdot\Delta\text{H}^{-1}$  og  $\Delta\text{Al}\cdot\Delta\text{H}^{-1}$ ) for profilene og forholdene  $\text{H}/(\text{Ca}+\text{Mg})$  og  $(\text{Ca}+\text{Mg})/\text{Al}$  i vannoppslemmingen i O+LFH- og B-sjiktet viser regionale mønstre som faller sammen med det regionale innholdet av  $\text{H}^+$ , labilt aluminium og sulfat i overflatevann i det undersøkte området (1000-sjøers undersøkelsen).

Klassifiseringen av profilene i 5 følsomhetsklasser ble gjort på bakgrunn av gjennomsnittsverdier for SEB,  $\Delta\text{M}\cdot\Delta\text{H}^{-1}$  og  $\Delta\text{Al}\cdot\Delta\text{H}^{-1}$  i 165 ruter (17x17 km). Det er en signifikant sammenheng mellom tålegrensen beregnet ved MAGIC modellen og relativ forsurningsfølsomhet definert i 5 følsomhetsklasser og mellom MAGIC tålegrensene og SEB,  $\Delta\text{M}\cdot\Delta\text{H}^{-1}$  og  $\Delta\text{Al}\cdot\Delta\text{H}^{-1}$ . Det er ingen slik sammenheng mellom tålegrenser beregnet ved PROFILE modellen og relativ forsurningsfølsomhet, SEB,  $\Delta\text{M}\cdot\Delta\text{H}^{-1}$  og  $\Delta\text{Al}\cdot\Delta\text{H}^{-1}$ .

Det er nødvendig å beregne forvittringshastigheten i flere profiler enn tilfellet er idag om tålegrenser beregnet ved PROFILE modellen skal være representative for de regionene som ønskes kartlagt.

## SUMMARY IN ENGLISH

722 soil samples collected in 8 counties in Southern Norway, were used in this project. The samples were taken from the O+LFH, A<sub>h</sub>, A<sub>e</sub>, B and C horizons.

Relative figures for pH depression, base cation depletion and aluminium mobilization were computed after extracting soil samples with H<sub>2</sub>O and dilute sulfuric acid (pH 3 and pH 4). The depletion of base cations (Ca+Mg+K+Na = M) and mobilization of aluminium was expressed as  $\Delta M \cdot \Delta H^{-1}$  and  $\Delta Al \cdot \Delta H^{-1}$ , respectively. The most sensitive soils with regard to pH depression, aluminium mobilization and base cation depletion were those with low and intermediate values of exchangeable base cations (SEB). The parameters  $\Delta M \cdot \Delta H^{-1}$  and  $\Delta Al \cdot \Delta H^{-1}$  seem to be the two most valuable parameters for predicting the sensitivity to acid rain effects using the proposed method. The defined factor Fa3, based on pH values determined in H<sub>2</sub>O and dilute acid extractants, respectively, and expressing the percentage fraction of added acid that has not reacted with the the soil, was found to be of limited use in the prediction of sensitivity to acid rain.

There are great regional variations for the parameters SEB, Fa3,  $\Delta M \cdot \Delta H^{-1}$  and  $\Delta Al \cdot \Delta H^{-1}$ . Fa3 is high in the southernmost parts of Vest-Agder and Østfold counties, the northern parts of Aust-Agder and in parts of Telemark and Buskerud (Figure 10 b).  $\Delta M \cdot \Delta H^{-1}$  shows high values where SEB is high i.e. in Vestfold, Akershus and in some parts of Buskerud and Telemark (Figure 10 a and c).  $\Delta Al \cdot \Delta H^{-1}$  shows the opposite pattern as does  $\Delta M \cdot \Delta H^{-1}$ , and is high in the Agder counties, Telemark and parts of Østfold. The molar ratios H/(Ca+Mg) and (Ca+Mg)/Al in the O+LFH and B horizons and  $\Delta M \cdot \Delta H^{-1}$  and  $\Delta Al \cdot \Delta H^{-1}$  show regional patterns very much similar to the regional patterns of labile aluminium, H<sup>+</sup> and sulfate in surface waters in the same area. There is obviously a connection between surface water and soil water chemistry and between surface water chemistry and dominating buffering reactions in the soil profile predicted by  $\Delta M \cdot \Delta H^{-1}$  and  $\Delta Al \cdot \Delta H^{-1}$ .

Each 17x17km grid, containing one or more soil profiles, was classified in five relative sensitivity classes, using the parameters SEB,  $\Delta M \cdot \Delta H^{-1}$  and  $\Delta Al \cdot \Delta H^{-1}$ . There is a significant correlation between critical loads computed by the MAGIC model and the defined relative sensitivity classes and between the MAGIC critical loads and the parameters SEB,  $\Delta M \cdot \Delta H^{-1}$  og  $\Delta Al \cdot \Delta H^{-1}$ . No such connection exists between the PROFILE critical load and relative sensitivity, SEB,  $\Delta M \cdot \Delta H^{-1}$  og  $\Delta Al \cdot \Delta H^{-1}$ .

It is necessary to calculate the weathering rate in a higher number of profiles to make reliable estimates of regional variability in critical loads using the PROFILE model.



## 1. INNLEDNING

Norges geologiske undersøkelse (NGU) framstilte i 1986 prøvekart for Nordland og Troms som viste jordas evne til å motstå pH-endringer ved syrepåvirkning (Bølviken *et al.* 1988). Disse prøvekartene var framkommet etter pH-målinger i vann- og syreekstrakter av jordprøver, hvor differansen mellom pH i vann- og syreoppslemmingene ble brukt til å beregne hvor mye av tilsatt syre som hadde reagert med jordprøven. Følgende definisjon av følsomhetsprosenten (F) ble benyttet av Bølviken *et al.* (1988) :

$$F = \frac{[\text{H}^+]_{\text{tilsatt syre}} - ([\text{H}^+]_{\text{syreoppsl.}} - [\text{H}^+]_{\text{vannoppsl.}})}{[\text{H}^+]_{\text{tilsatt syre}}} \quad (1)$$

Endring i pH ved en gitt syretilsetning var kriteriet som ble brukt for å definere forsuringfølsomheten i dette arbeidet. Forsuring ble definert som en senkning av pH i jorda. En av hovedkonklusjonene var at følsomheten for forsuring (følsomheten for pH endring) ikke kan leses ut fra geologiske kart og at faktorer som bl.a.leirinnhold, innhold av organisk materiale, sekundære utfellinger på mineraloverflater spiller en vesentlig rolle i bufringsreaksjonene. Utlaking av "ulike stoffer" ved syrepåvirkning og oppslemming av prøvene i fortynnet lut ble også anbefalt gjort i forbindelse med oppslemmingene. En eventuell oppslemming i lut var da ment å gi et mål på kalkingsbehovet. I et senere arbeide for kartlegging av forsuringfølsomheten i Sør-Norge brukte Bølviken *et al.* (1990) to ulike definisjoner av forsuringfølsomhet, en relativ (Fr) og en absolutt (Fa):

$$\% \text{ Fr} = (\Delta[\text{H}^+]/[\text{H}^+]_{\text{v}}) \cdot 100 \quad (2)$$

og

$$\% \text{ Fa} = (\Delta[\text{H}^+]/[\text{H}^+]_{\text{T}}) \cdot 100 \quad (3)$$

hvor

$\Delta[\text{H}^+]$  : økning i  $\text{H}^+$  konsentrasjonen fra vann til syreoppslemming funnet ved pH målinger i oppslemmingene

$[\text{H}^+]_{\text{v}}$  :  $\text{H}^+$  konsentrasjonen i vannoppslemming

$[\text{H}^+]_{\text{T}}$  :  $\text{H}^+$  konsentrasjonen i tilsatt syre

Fa uttrykker endringen i surhet pr. tilsatt syreekvivalent eller hvor mye av tilsatt syre (i %) som ikke har reagert med jorda. Fr uttrykker endringen i surhet pr. syreekvivalent i

vannoppslemmingen . Det ble i dette arbeidet antatt at Fr var den mest interessante parameteren ved geografiske sammenlikninger, men begge følsomhetsparametrene ble benyttet i rapporten. Bølviken *et al.* (1990) beregnet også en parameter for å uttrykke utvasking av basekationer ved en gitt syrepåvirkning, % F<sub>Me</sub>:

$$\% F_{Me} = (\Delta[Me]/[Me]_v) \cdot 100 \quad (4)$$

hvor

$\Delta[Me]$  : endring i kation konsentrasjonen fra vann til syreoppslemming

$[Me]_v$  : konsentrasjonen av kationet i vannoppslemmingen

I dette arbeidet ble tre syrestyrker i tillegg til vannoppslemmingen benyttet; 0.00001N (pH 5), 0.0001N (pH 4) og 0.001N (pH 3) H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. pH 4 syre ble antatt å være den mest aktuelle syrestyrken fordi denne ligner mest på surheten i forurenset nedbør. Dette ble antatt selv om Fa og Fr beregnet ved bruk av pH 4 syre ikke viste noen sammenheng med innholdet av basekationer i syreekstraktet, noe som skulle forventes ut fra ideen om at forbrukt syre ved ionebytte- eller forvitningsreaksjoner gir økt konsentrasjon av kationer i løsning. Den manglende korrelasjonen ble tilskrevet manglende informasjon om andre ioner som Al, Mn og Fe. En av hovedkonklusjonene til Bølviken *et al.* (1990) var at forsuringfølsomheten gav størst mening når den kunne sees i sammenheng med sjikttykkelse og mengden frigjorte kationer ved syrepåvirkning. Amundsen (1991) viste at korrelasjonen mellom Fa<sub>3</sub> og Fr<sub>3</sub> (beregnet ved bruk av pH 3 syre) og utløste kationer var signifikant negativ, i motsetning til Fa og Fr beregnet ved bruk av svakere syrer (pH 4 og pH 5). Det ble derfor anbefalt å bruke pH 3 syre i den videre anvendelse av oppslemmingsmetoden, fordi Fa og Fr beregnet ved pH 4 og pH 5 er mer tilfeldige parametre som er avhengige av nedbørmengde, fordampning i tiden før prøvetaking o.l. dvs. parametre som påvirker saltinnholdet i prøvene, i langt større grad enn oppslemminger med syre pH 3. Samtidig ble det antatt at reaksjonstiden (20 timer) er for kort til at tilsatt pH 4 og 5 syre skal kunne gi målbare endringer som kan registreres ved den anvendte analysemetodikken. Endringene er da ofte så små at påliteligheten i resultatene blir påvirket. Tolkningen av følsomhetsparametrene, Fa og Fr, vanskeliggjøres av reaksjoner med organisk materiale og salter i jorda. Konklusjonen på dette arbeidet var bl.a. at bestemmelse av ioneinnholdet i vann- og syreoppslemmingene er en mer lovende bruk av vann- og syreoppslemmingene enn målinger av endring i pH.

## 2. DEFINISJON AV FORSURING, RELATIV FORSURINGSFØLSOMHET OG TÅLEGRENSE.

Forsuringsbegrepet er i dette arbeidet knyttet både til intensitets- og kapasitetsfaktorer. Forsuring av jorda er definert både som en senkning av pH i jordvæska (intensitetsfaktor) og en senkning av innholdet av basekationer i jorda (senkning av BS). Årsaken til senkingen av basemetningsgraden er at ulike Al-forbindelser og H<sup>+</sup> tar basekationenes plass i ionebyttekomplekset i jorda og lageret av basekationer blir mindre. Dette fører til en senkning av den syrenøytraliserende kapasiteten i jorda. Forskning på indirekte effekter av sur nedbør har vist at pH, innholdet av basekationer (Ca, Mg og K) og innholdet av Al i jordløsningen er viktige faktorer for biologiske systemer i jord og vann (e.g. Overrein *et al.* 1980). Det er derfor naturlig å prøve å koble disse faktorene til følsomheten for forsuring.

**Relativ forsuringsfølsomhet** for en jordprøve er basert på i hvilken grad senkning av pH, utvasking av basekationer og mobilisering av Al vil skje relativt til andre prøver. Metoden er basert på regionale sammenligninger av disse effektene ved en gitt syrepåvirkning.

**Tålegrensen** er definert som den høyeste belastning av forsurende komponenter som ikke vil gi skadelige effekter på økosystemets struktur og funksjon. Tålegrensen beregnes ved bruk av ulike modeller og er en sted-spesifikk følsomhet basert på de kjemiske egenskapene i jorda og tålegrensen til en bestemt organisme.

## 3. DEFINISJON AV BRUKTE PARAMETRE. FORKORTELSER

Nedenfor er gitt definisjonen av de parametrene som blir brukt i rapporten og forkortelser som er hyppig benyttet (Tabell 1).

Parametrene  $\Delta M \cdot \Delta H^{-1}$  og  $\Delta Al \cdot \Delta H^{-1}$  uttrykker hvordan hhv. basekationer (M=Ca+Mg+K+Na) og aluminium ekstraheres ut fra en jordprøve ved å øke syrestyken fra pH 4 til pH 3 eller m.a.o. hvordan en økt syremengde påvirker mengden basekationer og aluminium i en jordoppslemming. Verdiene varierer normalt mellom 0 og 1, men kan i spesielle tilfeller bli negative (**mindre** ekstraherbare ioner i syre pH 3 enn i syre pH 4 ekstraktet) eller større enn 1 (flere ekvivalenter kationer ekstrahert ut enn tilsatt

**Tabell 1:** Oversikt over brukte parametre: forkortelser, definisjoner og benevnning. Verdiområde angir hvilke verdier de ulike parametrene kan ha (se forøvrig Tabell 1 og 2 for oversikt over minimum og maksimum for ulike parametre).

<b>Parameter</b>	<b>Forkortelse</b>	<b>Definisjon</b>	<b>Benevnelse Verdiområde</b>
Basemetnings- grad	<b>BS</b>	$(Ca+Mg+K+Na)/CEC \cdot 100\%$	% 0-100
Kationbytte- kapasitet (i 1N $NH_4NO_3$ )	<b>CEC</b>	Ca+Mg+K+Na+Mn+ titrerbar aciditet*	$mmol_C kg^{-1}$ 0-
Utbyttbare basekationer (i 1N $NH_4NO_3$ )	<b>SEB</b>	Ca+Mg+K+Na	$mmol_C kg^{-1}$ 0-
Ekstraherbare basekationer i $H_2O$	<b>BASE<sub>v</sub></b>	(Ca+Mg+K+Na) i $H_2O$ ekstraktet	$mmol_C kg^{-1}$ 0-
Ekstraherbare basekationer i pH 4 svovel- syre	<b>BASE<sub>4</sub></b>	(Ca+Mg+K+Na) i pH 4 svovelsyre ekstraktet	$mmol_C kg^{-1}$ 0-
Ekstraherbare basekationer i pH 3 svovel- syre	<b>BASE<sub>3</sub></b>	(Ca+Mg+K+Na) i pH 3 svovelsyre ekstraktet	$mmol_C kg^{-1}$ 0-
Forholdet mellom H og (Ca+Mg) i $H_2O$ ekstraktet (lime potential)	<b>LP</b>	$-\log \left( \frac{(H^+)^2}{(Ca^{2+} + Mg^{2+})} \right)$ = pH - 0.5·p(Ca+Mg)	---

tabell 1 forts.

Parameter	Forkortelse	Definisjon	Benevnelse
Forholdet mellom (Ca+Mg) og Al i H <sub>2</sub> O ekstraktet	CaMgAl	$-\log \left( \frac{(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})^3}{(\text{Al}^{3+})^2} \right)$ $=p(\text{Ca+Mg}) - 2/3 \cdot p\text{Al}$	---
Mobilitet av basekationer ved syrepåvirkning	$\Delta M \cdot \Delta H^{-1}$	$\frac{(\text{BASE}_3 - \text{BASE}_4)}{([\text{H}^+]_{\text{pH } 3} - [\text{H}^+]_{\text{pH } 4})}$	--- 0-1
Mobilitet av aluminium ved syrepåvirkning	$\Delta \text{Al} \cdot \Delta H^{-1}$	$\frac{(\text{Al}_{\text{pH } 3} - \text{Al}_{\text{pH } 4})}{([\text{H}^+]_{\text{pH } 3} - [\text{H}^+]_{\text{pH } 4})}$	--- 0-1
Mengde tilsatt syre (pH 3 svovelsyre) som har reagert med jordprøven (følsomhetsprosent)	Fa3 <sup>b</sup>	$\frac{([\text{H}^+]_{\text{pH } 3 \text{ jordoppsl}} - [\text{H}^+]_{\text{vannoppsl}})}{[\text{H}^+]_{\text{tilsatt syre}}} \cdot 100\%$	% 0-100

a -titrerbar aciditet ble bestemt ved titrering av 1M NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> ekstraktet til pH 7.00 med NaOH.

b- etter Bølviken *et al.* (1990)

ekvivalenter H<sup>+</sup>). Dette kan skje f.eks. ved oppløsning av lettløselige Ca eller Mg mineraler).

Det molare forholdet mellom H<sup>+</sup> og (Ca<sup>2+</sup> + Mg<sup>2+</sup>) ("lime potential" = LP) og det molare forholdet mellom (Ca<sup>2+</sup> + Mg<sup>2+</sup>) og Al<sup>3+</sup> ble beregnet i vannoppslemmingen for å få et relativt mål på forholdet mellom disse elementene i jordvæska.

#### 4. HENSIKT OG MÅLSETNING FOR PROSJEKTET

Dette prosjektet bygger videre på de erfaringer som er gjort tidligere i forbindelse med NGU's metode for å bestemme forsuringfølsomheten (Bølviken *et al.* 1988, 1990; Amundsen, 1991). Et kort resyme av dette arbeidet er gitt i innledningen til rapporten.

**Hensikten** med dette prosjektet er todelt:

- DEL I:** Vise hvordan den relative følsomheten for ulike effekter av sur nedbør kan bestemmes ved ekstraksjoner av jordprøver i vann og pH 3 svovelsyre.
- DEL II:** Sammenlikne regionale forskjeller i relativ forsuringfølsomhet med tålegrenser beregnet ved PROFILE og MAGIC modellene.

**Målsetningen** er å kunne si noe om:

- 1) hvilke av parametrene beregnet ved vann- og syreekstraksjon som best definerer den relative forsuringfølsomheten.
- 2) hvordan relativ forsuringfølsomhet og tålegrenser varierer regionalt
- 3) hvordan det regionale mønsteret i beregnet relativ forsuringfølsomhet og tålegrenser faller sammen med områder som en vet er skadet av sur nedbør (i.e. områder med utstrakt fiskedød)

#### 5. PRØVEMATERIALE OG AREAL

Prøvene som er benyttet i dette prosjektet ble innsamlet og klassifisert av NIJOS (Norsk institutt for jord- og skogkartlegging) sommeren og høsten 1988 i forbindelse med prosjektet "Overvåking av skogens sunnhetstilstand". Denne rapporten er m.a.o. basert på bare en liten del av det materialet som etterhvert er blitt samlet inn i forbindelse med dette prosjektet.

Prøvene som ble benyttet i DEL I, omfatter 675 prøver fra fylkene Aust-Agder, Vest-Agder, Akershus, Buskerud, Rogaland, Telemark, Vestfold og Østfold. Prøvene er tatt fra fem hovedsjikt (Tabell 1). Det er stor variasjon i antall prøver fra de ulike sjiktene. Det ble ikke benyttet jordprøver fra blanda sjikt (e.g. A<sub>he</sub>, AC, BC) eller jordprøver fra sjikt som var påvirket av menneskelig aktivitet (A<sub>p</sub>). Dette ble gjort for å

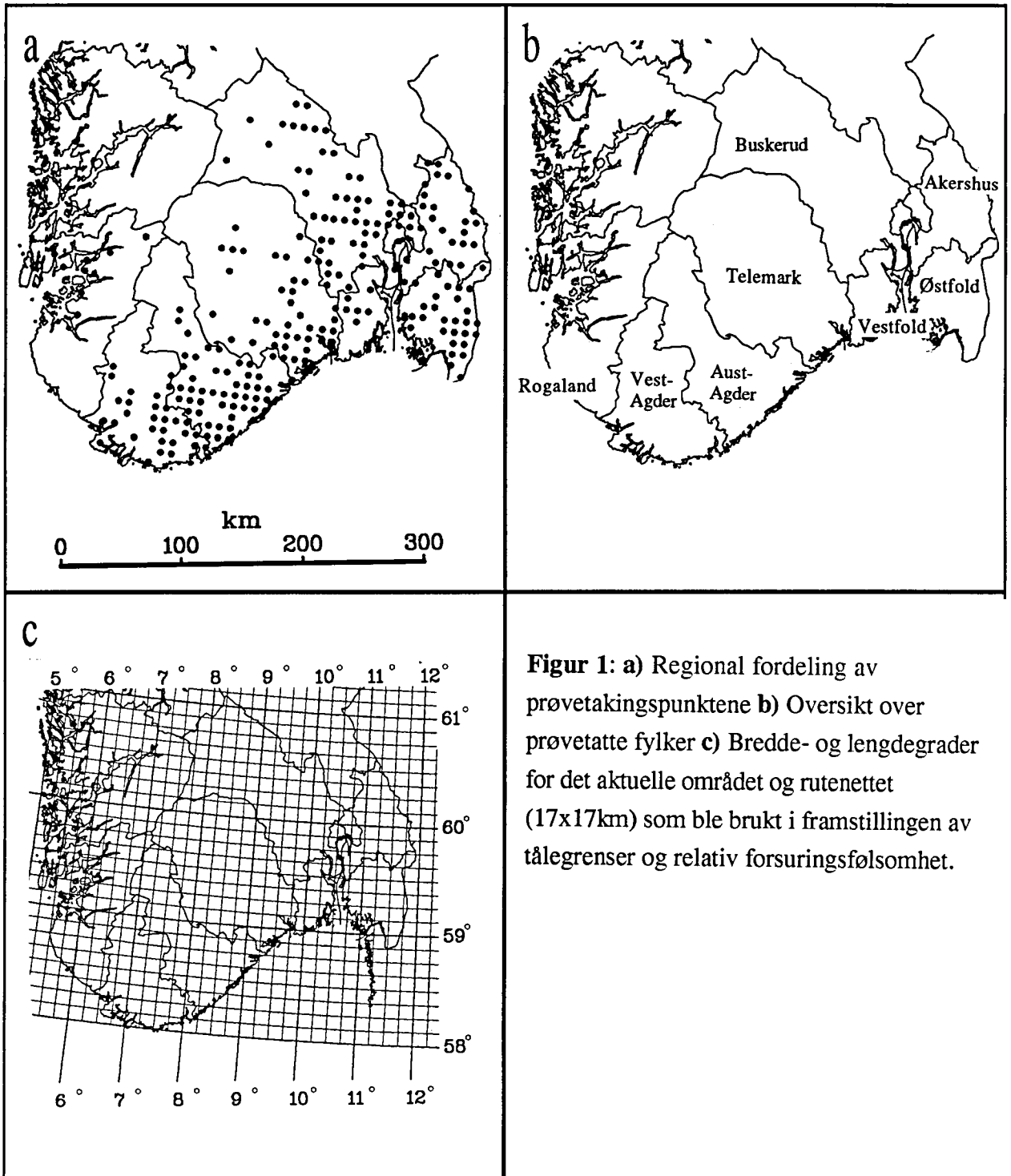
**Tabell 1:** Middelverdi (median i parentes) og range (under) for endel kjemiske egenskaper i sjiktene som er benyttet i dette arbeidet.

Sjikt	n	pH <sup>a</sup>		CEC	SEB	Utbyttbar aciditet	BS
		H <sub>2</sub> O	0.01M CaCl <sub>2</sub>				
O+LFH	256	4.10(4.0)	3.29(3.3)	254(249)	133(132)	116(116)	51.1(53.7)
		3.3-5.6	2.5-5.0	23.5-637	2.75-384	0-286	9.0-99.1
A <sub>h</sub>	80	4.34(4.3)	3.56(3.5)	87.2(79.0)	31.6(17.4)	54.3(49.3)	31.1(22.8)
		3.6-6.0	2.9-6.0	26.9-270	1.64-261	0-145	4.59-98.9
A <sub>e</sub>	103	4.17(4.1)	3.42(3.4)	36.6(30.0)	7.08(5.91)	29.3(24.0)	30.1(17.9)
		3.7-5.1	2.9-4.2	1.97-122	0.95-33.9	0-114	3.0-99.6
B	200	4.73(4.7)	4.10(4.1)	42.4(37.7)	6.61(4.82)	35.6(32.7)	24.0(13.9)
		3.9-5.5	3.2-5.0	1.46-158	0.39-32	0-146	3.8-99.9
C	36	4.92(5.0)	4.28(5.0)	22.3(10.3)	3.27(2.27)	19.0(8.95)	46.4(23.4)
		3.8-5.6	3.1-5.1	0.92-92.0	0.44-10.6	0-82.2	4.6-99.9

<sup>a</sup> Jord:løsning 1:2.5 (volum)

benytte mest mulig "typiske" prøver for de ulike sjiktene i den metodiske delen av prosjektet (DEL I). I DEL II av rapporten er 722 prøver benyttet (240 profiler eller prøvepunkter) fordi her er prøver fra blanda sjikt innkludert. Figur 1a viser den regionale fordelingen av prøvetakingspunktene. Detaljert beskrivelse av areal og prøvetaking er gitt av Grønlund og Solbakken (1987) og Rørå *et al.* (1988).

Det er store variasjoner i de kjemiske egenskapene mellom sjiktene og innen de samme sjiktene (Tabell 1). (Se forøvrig Amundsen (1991) for nærmere beskrivelse av de kjemiske egenskapene i sjiktene. En oversikt over de kjemiske egenskapene i ulike sjikt på 907 prøveflater i Norge (innsamlet 1988-1991) er gitt av Esser & Nyborg (1992)). Omlag 50 % av de anvendte profilene i denne rapporten er klassifisert som podsol, 20 % som brunjord og 8 % som organiske profiler (histosols). Resten av profilene er klassifisert som regosol, gleysol og folisol. (Se f.eks. Grønlund og Solbakken (1987) for en nærmere beskrivelse av de ulike ordnene).



**Figur 1:** a) Regional fordeling av prøvetakingspunktene b) Oversikt over prøvetatte fylker c) Bredde- og lengdegrader for det aktuelle området og rutenettet (17x17km) som ble brukt i framstillingen av tålegrenser og relativ forsurningsfølsomhet.



## 6. KJEMISKE ANALYSER AV JORDPRØVENE

pH(H<sub>2</sub>O), pH(CaCl<sub>2</sub>), CEC, BS, SEB og utbyttbar aciditet ble bestemt i henhold til Ogner *et al.* (1991). Bestemmelsen av disse parametrene ble utført ved Landbrukets analysesentral. Ekstraksjonene av jordprøvene i vann og syre ble utført som beskrevet i Bølviken *et al.* (1990). Disse ble utført ved NGU.

## 7. DEL I - RELATIV FORSURINGSFØLSOMHET BESTEMT VED EN ENKEL OPPSLEMMINGSMETODE ("NGU METODEN")

### 7.1 Innledning

Flere forfattere (f.eks. Wiklander, 1980; McFee, 1980; McFee, 1983; Johnson, 1981; Petersen, 1986; Reuss and Johnson, 1986) har påpekt betydningen av størrelsen på kationbyttekapasiteten (CEC), basemetningsgraden (BS) eller innholdet av utbyttbare basekationer (SEB) i jorda for forsurningsfølsomheten og det er derfor naturlig å se på hvordan følsomhetsparametrene som beregnes fra vann og syreoppslemminger varierer med disse mer "klassiske" parametrene. Innholdet av utbyttbare basekationer (exchangeable base cations) i jordprøvene er i denne rapporten brukt for å relatere følsomhetsparametrene med de klassiske parametrene. Denne sammenhengen viser hvordan endringer i konsentrasjonen (intensiteten) av basekationer og aluminium i jordvæska er avhengig av mengden basekationer i jorda.

Fa3 beregner hvor stor del av tilsatt syre (pH 3 svovelsyre) som ikke har reagert med jorda,  $\Delta M \cdot \Delta H^{-1}$  gir et mål på mobiliseringen av basekationer og  $\Delta Al \cdot \Delta H^{-1}$  gir et mål på mobilisering av aluminium ved en gitt syrepåvirkning. Den relative følsomheten baseres på størrelsen av disse parametrene i de ulike sjiktene.

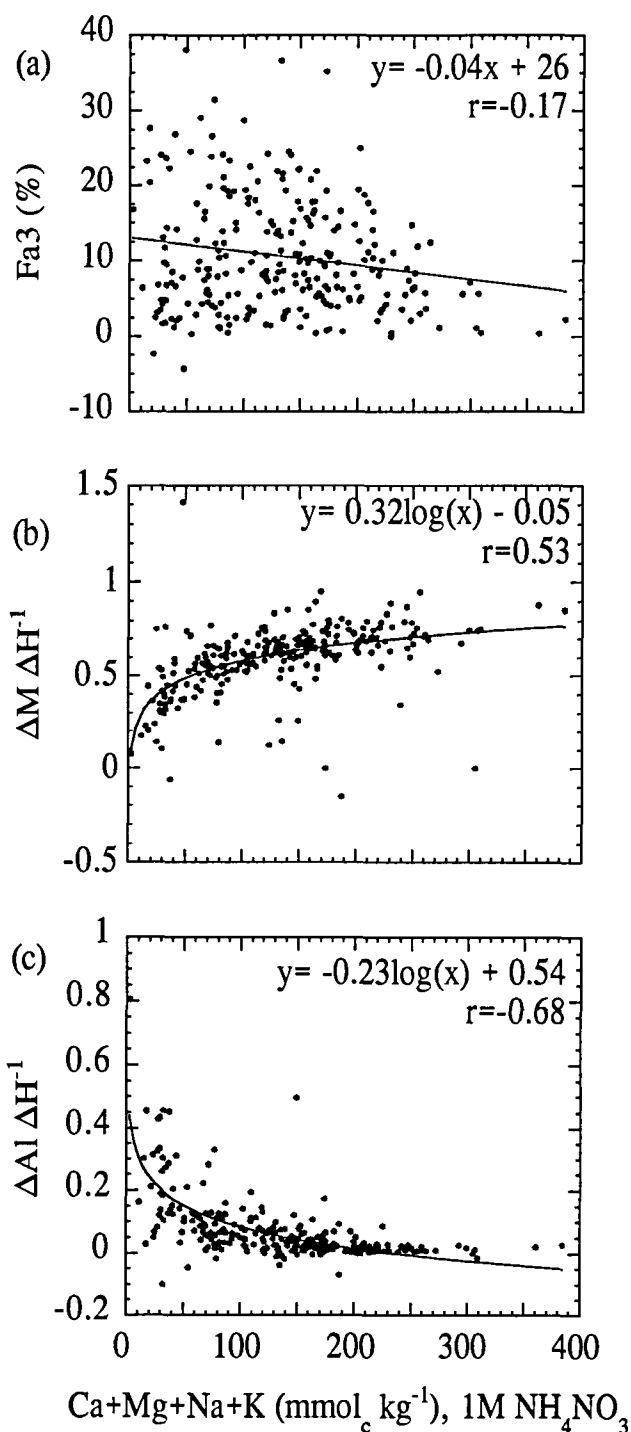
### 7.2 Resultater

Signifikante, men lave negative korrelasjoner finnes mellom Fa3 og SEB i alle sjiktene, bortsett fra i C-sjiktet hvor korrelasjonen ikke er signifikant (Figur 2-6 a). Mobiliteten av basekationer ved syretilsetning ( $\Delta M \cdot \Delta H^{-1}$ ) er positivt korrelert med innholdet av utbyttbare basekationer (SEB) i alle sjiktene (Figur 2-6 b) og figurene viser at utvasking

**Tabell 2: Middelerverdi (median i parentes) og range (under) for endel parametre bestemt i vann- og syreekstrakter.**

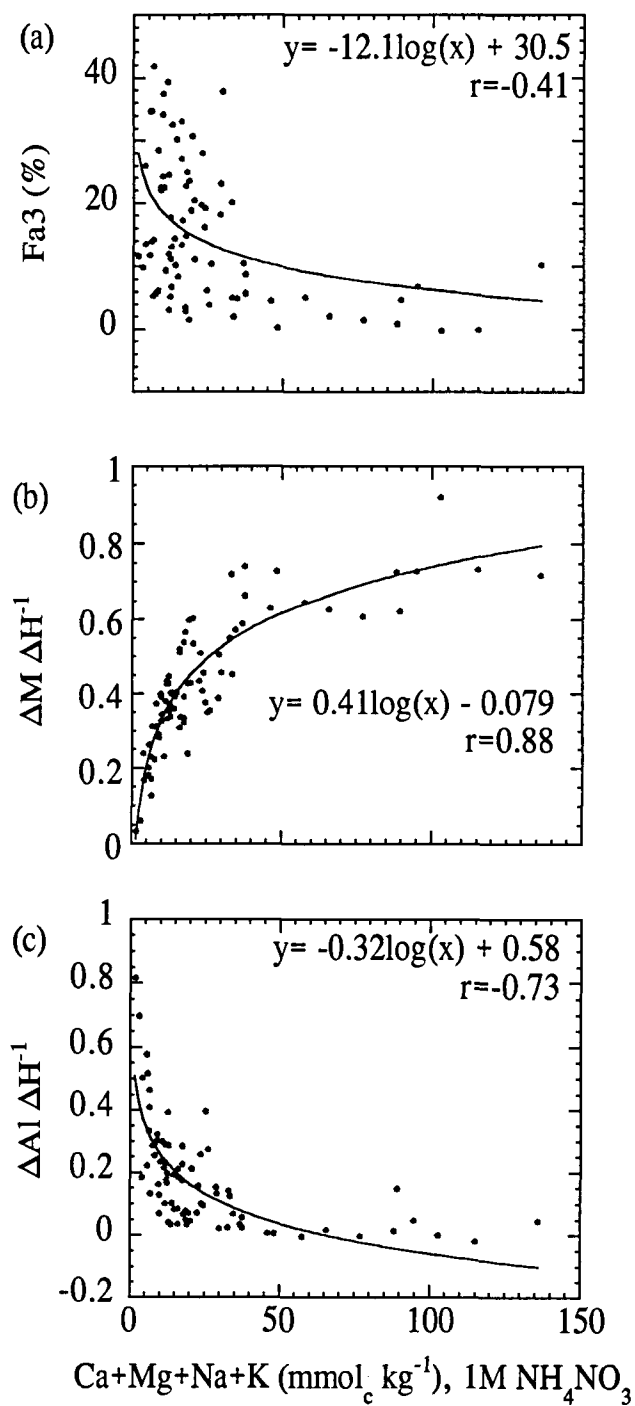
Sjikt	pH	Fa3	pH- 0.5p(Ca+Mg)	p(Ca+Mg) -2/3pAl	$\Delta M \cdot \Delta H^{-1}$	$\Delta Al \cdot \Delta H^{-1}$
O+LFH	4.16(4.11) 3.64-5.37	10.6(8.85) -4.3-38.1	2.09(2.02) 1.49-3.65	1.13(1.10) 0.19-2.28	0.59(0.62) -0.15-1.42	0.08(0.04) -0.1-0.81
A <sub>h</sub>	4.47(4.42) 3.78-6.12	15.1(12.6) -0.21-41.9	2.30(2.23) 1.57-4.53	1.44(1.51) -0.25-2.44	0.44(0.40) 0.04-0.92	0.18(0.15) -0.04-0.82
A <sub>e</sub>	4.55(4.53) 4.10-5.46	35.5(33.5) 4.68-76.7	2.10(2.08) 1.56-3.21	1.91(1.90) 1.14-2.48	0.26(0.23) 0.01-0.65	0.24(0.18) 0.01-0.88
B	4.80(4.77) 4.15-6.43	7.65(5.69) 0-40.4	2.50(2.46) 1.91-4.14	1.65(1.67) 0.75-2.37	0.16(0.12) -0.07-0.71	0.38(0.38) -0.28-0.93
C	4.97(5.01) 4.05-5.84	13.2(8.48) 2.69-66.5	2.53(2.54) 1.76-3.33	1.74(1.77) 1.17-2.22	0.11(0.07) 0-0.40	0.50(0.57) -0.11-0.93

av basekationer i første rekke skjer der hvor innholdet av utbyttbare basekationer er middels til høyt. Korrelasjonen mellom  $\Delta M \cdot \Delta H^{-1}$  og SEB er minst i O+LFH-sjiktet, hvor innholdet av organisk materiale er størst. Gjennomsnittsverdien for  $\Delta M \cdot \Delta H^{-1}$  er 0.59 i O+LFH-sjiktet (Tabell 2) noe som viser at  $H^+$  er effektiv til utbygging av basekationer i dette sjiktet relativt til de underliggende sjiktene. Når mobiliteten av basekationer blir mindre, øker mobiliteten av aluminium ( $\Delta Al \cdot \Delta H^{-1}$  øker).  $\Delta Al \cdot \Delta H^{-1}$  er negativt korrelert med SEB i alle sjikt (Figur 2-6 c). I O+LFH-sjiktet øker mobiliteten av aluminium kraftig når SEB blir mindre enn ca. 30 mmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>. Det er også en signifikant negativ korrelasjon mellom  $\Delta M \cdot \Delta H^{-1}$  og  $\Delta Al \cdot \Delta H^{-1}$  ( $r=-0.44$ ) i O+LFH-sjiktet. I A<sub>h</sub>-sjiktet er den gjennomsnittlige mobiliteten av basekationer ( $\Delta M \cdot \Delta H^{-1}$ ) lik 0.44 (Tabell 2) og mobiliteten av basekationer blir vesentlig mindre når innholdet av SEB blir mindre enn 30 mmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>. I dette området øker mobiliteten av aluminium kraftig ved avtagende innhold av utbyttbare basekationer. Også i A<sub>h</sub>-sjiktet er det en signifikant negativ korrelasjon mellom  $\Delta M \cdot \Delta H^{-1}$  og  $\Delta Al \cdot \Delta H^{-1}$  ( $r=-0.75$ ). I A<sub>e</sub>-, B og C-sjiktet observeres de samme tendensene for  $\Delta M \cdot \Delta H^{-1}$  og  $\Delta Al \cdot \Delta H^{-1}$  som i O+LFH og A<sub>h</sub>-sjiktet (Figur 4-6 a-c). Det er en signifikant positiv korrelasjon mellom mobiliteten av basekationer ( $\Delta M \cdot \Delta H^{-1}$ ) og innholdet av utbyttbare basekationer (SEB) og en signifikant negativ korrelasjon mellom mobiliteten av aluminium ( $\Delta Al \cdot \Delta H^{-1}$ ) og SEB også i disse sjiktene. Korrelasjonskoeffisientene mellom  $\Delta M \cdot \Delta H^{-1}$  og  $\Delta Al \cdot \Delta H^{-1}$  i A<sub>e</sub>-, B og C-sjiktet er hhv.  $r=-0.61$ ,  $r=-0.58$  og  $r=-0.71$ . Korrelasjonen mellom  $\Delta M \cdot \Delta H^{-1}$  og innholdet av ekstraherbare basekationer i pH 3 svovelsyre (BASE<sub>3</sub>) er også høy i de ulike sjiktene (Figur 7 a-c viser dette for O+LFH, A<sub>h</sub> og B-sjiktet). Dette er naturlig da  $\Delta M \cdot \Delta H^{-1}$  er differansen mellom innholdet av basekationer i pH 3 syreoppslemmingen og i pH 4



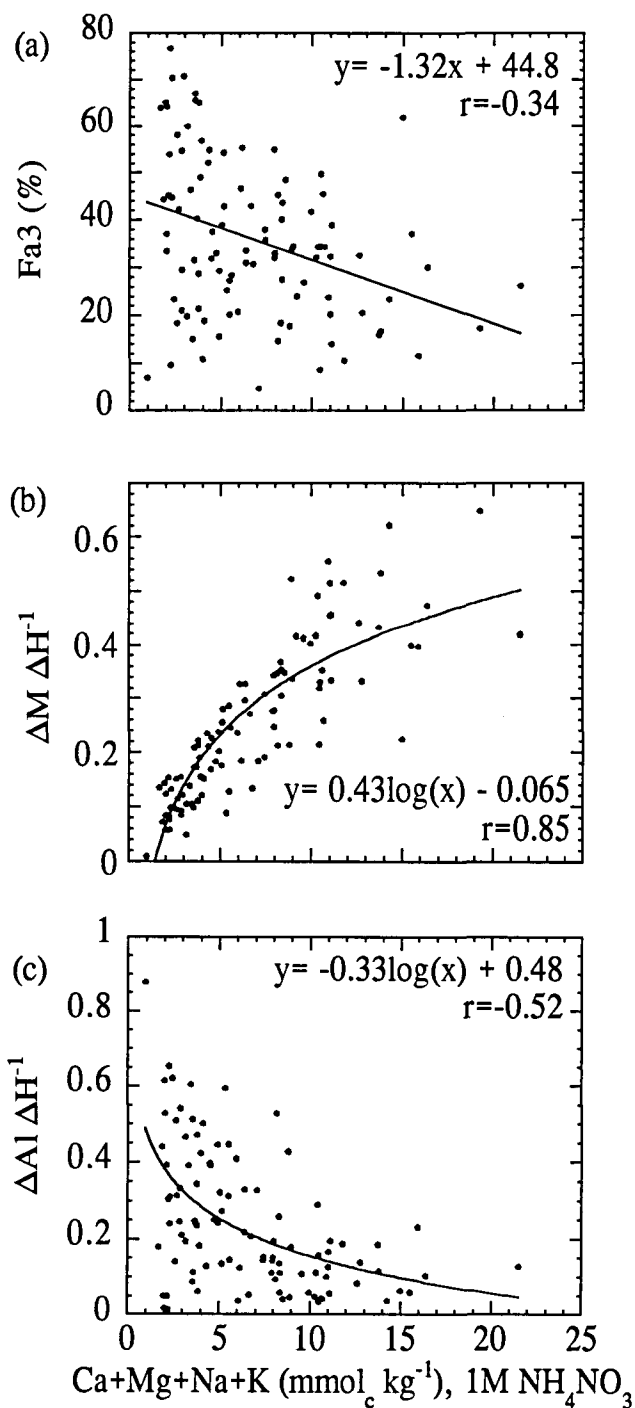
**Figur 2: O+LFH-sjiktet:**

a) Mengde (prosent) tilsatt syre (pH 3 svovelsyre) som ikke har reagert med jorda (Fa3) b) mobiliteten av basekationer ved syretilsetning ( $\Delta M \cdot \Delta H^{-1}$ ) og c) mobiliteten av aluminium ved syretilsetning ( $\Delta Al \cdot \Delta H^{-1}$ ) plottet mot mengden utbyttbare basekationer (SEB) i sjiktet.



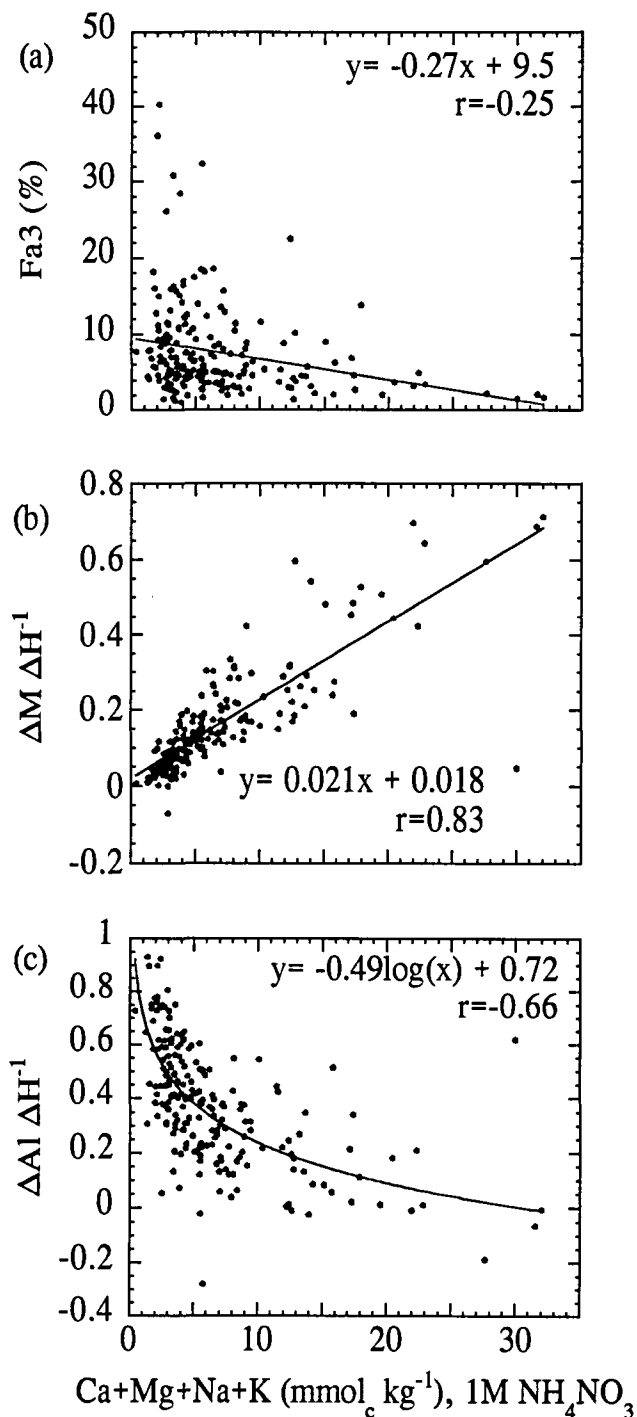
**Figur 3: Ah-sjiktet:**

a) Mengde (prosent) tilsatt syre (pH 3 svovelsyre) som ikke har reagert med jorda (Fa3) b) mobiliteten av basekationer ved syretilsetning ( $\Delta M \cdot \Delta H^{-1}$ ) og c) mobiliteten av aluminium ved syretilsetning ( $\Delta Al \cdot \Delta H^{-1}$ ) plottet mot mengden utbyttbare basekationer (SEB) i sjiktet.



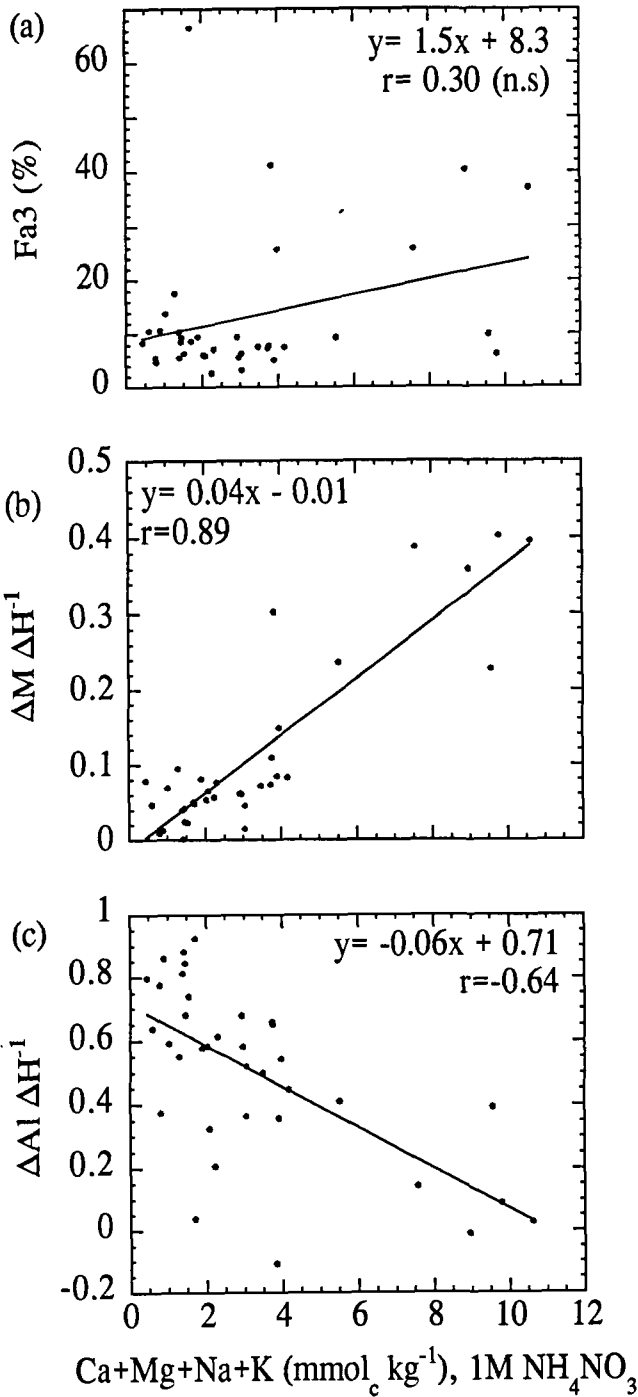
**Figur 4: A<sub>e</sub>-sjiktet:**

a) Mengde (prosent) tilsatt syre (pH 3 svovelsyre) som ikke har reagert med jorda (Fa3) b) mobiliteten av basekationer ved syretilsetning ( $\Delta\text{M} \cdot \Delta\text{H}^{-1}$ ) og c) mobiliteten av aluminium ved syretilsetning ( $\Delta\text{Al} \cdot \Delta\text{H}^{-1}$ ) plottet mot mengden utbyttbare basekationer (SEB) i sjiktet.



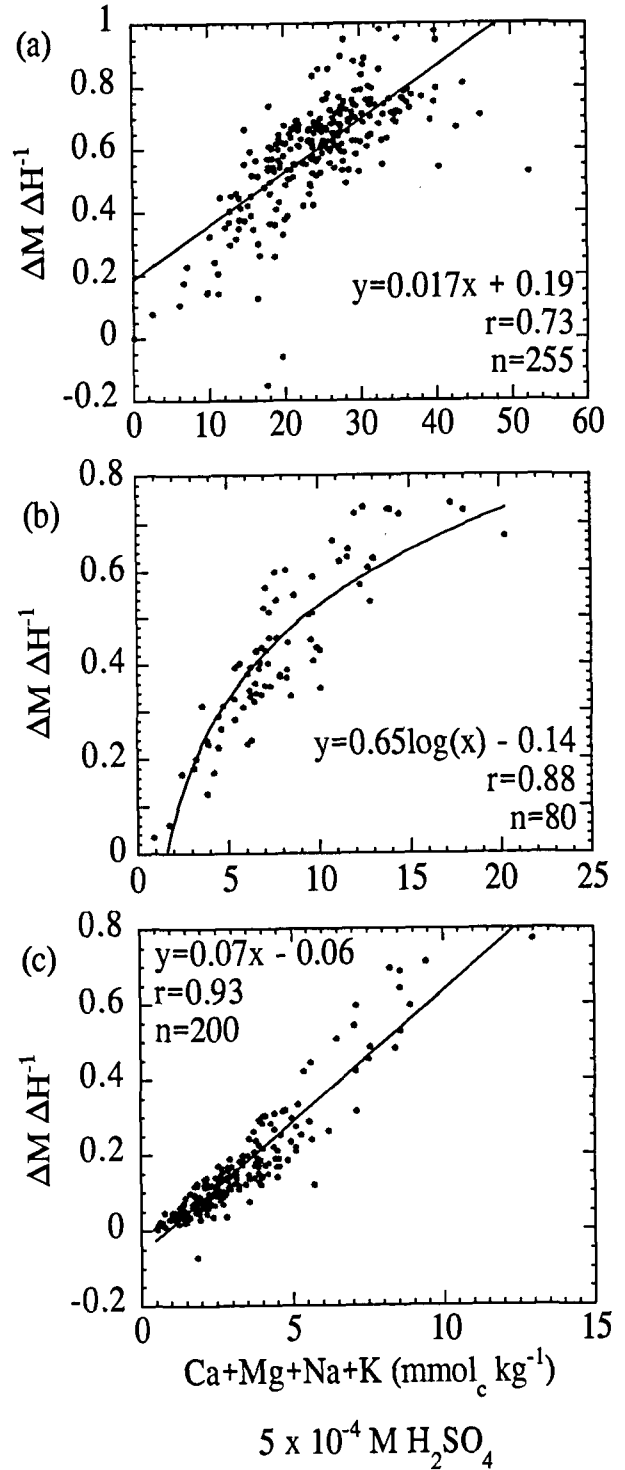
**Figur 5: B-sjiktet:**

a) Mengde (prosent) tilsatt syre (pH 3 svovelsyre) som ikke har reagert med jorda (Fa3) b) mobiliteten av basekationer ved syretilsetning ( $\Delta\text{M} \cdot \Delta\text{H}^{-1}$ ) og c) mobiliteten av aluminium ved syretilsetning ( $\Delta\text{Al} \cdot \Delta\text{H}^{-1}$ ) plottet mot mengden utbyttbare basekationer (SEB) i sjiktet.

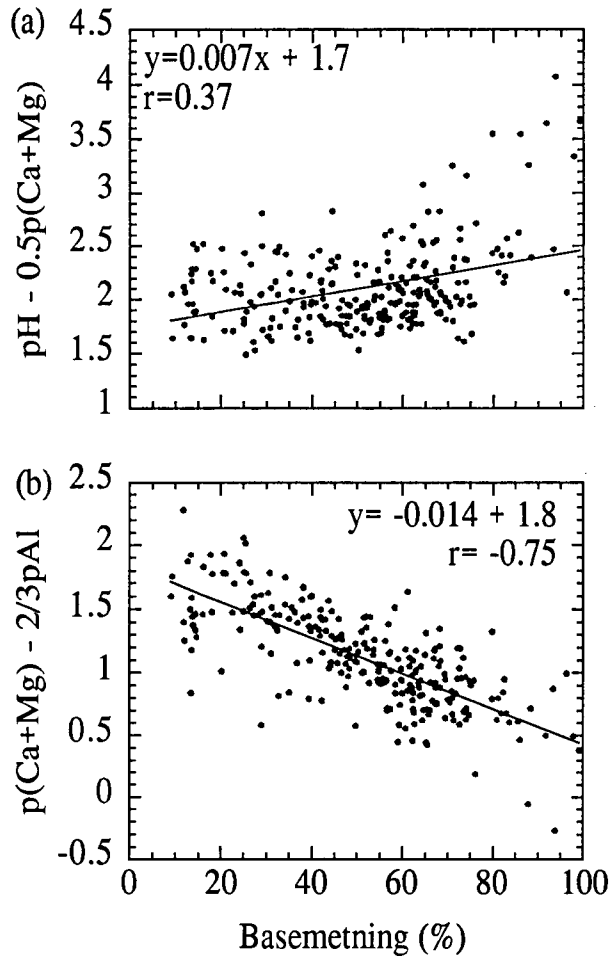


**Figur 6: C-sjiktet:**

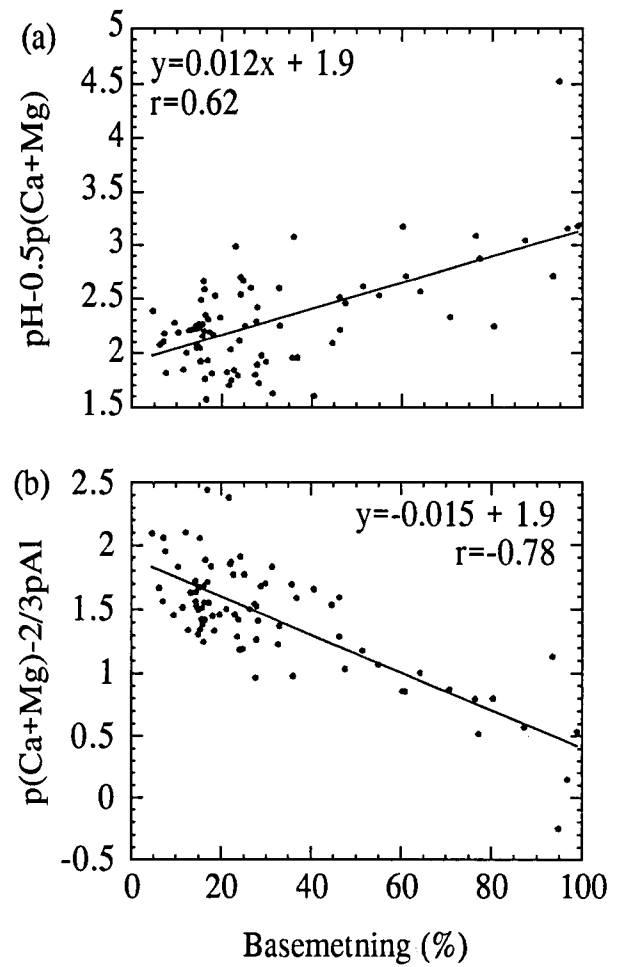
a) Mengde (prosent) tilsatt syre (pH 3 svovelsyre) som ikke har reagert med jorda (Fa3) b) mobiliteten av basekationer ved syretilsetning ( $\Delta M \cdot \Delta H^{-1}$ ) og c) mobiliteten av aluminium ved syretilsetning ( $\Delta \text{Al} \cdot \Delta H^{-1}$ ) plottet mot mengden utbyttbare basekationer (SEB) i sjiktet.



**Figur 7: a)** Mobiliteten av basekationer ved syretilsetning ( $\Delta M \cdot \Delta H^{-1}$ ) plottet mot summen av basekationer i pH 3 svovelsyre ekstraktet (BASE<sub>3</sub>) i O+LFH-sjiktet b) i A<sub>h</sub>-sjiktet og i c) B-sjiktet.



**Figur 8: O+LFH-sjiktet:**  
a) Forholdet H/(Ca+Mg) i vannoppslemmingen plottet mot basemetningsgraden (BS) b) forholdet (Ca+Mg)/Al i vannoppslemmingen plottet mot basemetningsgraden (BS).



**Figur 9: Ah-sjiktet:**  
a) Forholdet H/(Ca+Mg) i vannoppslemmingen plottet mot basemetningsgraden (%) b) forholdet (Ca+Mg)/Al i vannoppslemmingen plottet mot basemetningsgraden (%)

syreoppslemmingen. Det er også signifikante korrelasjoner mellom  $Fa_3$ ,  $\Delta Al \cdot \Delta H^{-1}$  og  $BASE_3$ . Amundsen (1991) viste at det var god korrelasjon mellom  $BASE_3$  og SEB i de ulike sjiktene. Dette viser at det ikke er nødvendig å bestemme innholdet av utbyttbare basekationer for å relatere effekten av tilsatt syre på mobiliteten av basekationene og aluminium til mengden tilgjengelige basekationer i jorda. Basekationene som ekstraheres ved pH 3 svovelsyre gir et godt estimat på den tilgjengelige/utbyttbare mengden.

Sammenhengen mellom de molare forholdene  $H^+ / (Ca+Mg)$  og  $(Ca+Mg) / Al$  i vannoppslemmingen og basemetningsgraden (BS) i de organiske sjiktene (O+LFH og  $A_h$ -sjiktene, hhv. Figur 8 og 9, a-b)) viser at vannoppslemmingen gir en indikasjon på syre/base forholdene i disse sjiktene.

### 7.3 Diskusjon

Den lave korrelasjonen mellom følsomhetsparameteren  $Fa_3$  og SEB viser at SEB har liten betydning for hvordan pH forandrer seg ved syretilsetning. Det er signifikante negative korrelasjoner mellom summen av kationer ( $Ca+Mg+K+Na+Al+Fe+Mn$ ) i pH 3 syreekstraktet og  $Fa_3$  i de tre øvre sjiktene ( $r = -0.36$ ,  $r = -0.59$  og  $r = -0.83$  i hhv. O+LFH,  $A_h$ - og  $A_e$ -sjiktet). I B- og C-sjiktet er det ingen korrelasjon. Dette indikerer at ionebyttereaksjoner dominerer i  $A_e$ -sjiktet og at reaksjoner med organisk materiale kan være av betydning i bufringen av  $H^+$ , spesielt i de organiske sjiktene. Protonering av løste organiske syrer og reaksjoner med komplekserte metaller kan føre til forbruk av tilsatt  $H^+$  uten å øke ionekonsentrasjonen i løsningen målt ved induktivt koplet plasmaemisjonsspektroskopi (ICP-ES). Mangelen på korrelasjon i B- og C-sjiktet kan skyldes forvittringsreaksjoner og/eller reaksjoner med organisk materiale.

Korrelasjonskoeffisientene mellom  $Fa_3$  og glødetap er svært lave og bare signifikante i  $A_h$ - og B-sjiktet (hhv.  $r = -0.32$  og  $r = -0.21$ ).  $Fa_3$  er et mål på jordas evne til å reagere med tilsatt syre og er på en måte et bedre mål på vannforsuring enn på jordforsuring. Ifølge Seip (1981) er ionebytte- og forvittringsreaksjoner i nedslagsfeltet to av de viktigste reaksjonene i vannforsuringsprosessen og  $Fa_3$  gir en indikasjon på disse reaksjonen i en jordprøve.

Mobiliteten av basekationer ved syretilsetning ( $\Delta M \cdot \Delta H^{-1}$ ) synes å være vel egnet til å gi et relativt mål på utvaskingen av basekationer i de ulike sjiktene. Utvaskingen avtar med avtagende innhold av SEB eller  $BASE_3$ . Dette innebærer at de jordtypene som er mest utsatt for utvasking av basekationer er de med moderat til høyt innhold av SEB. Dette bekrefter det som er funnet av andre forfattere f.eks. Wiklander, 1980; Johnson, 1981;

Reuss and Johnson, 1986. Spesielt er prøver med et moderat innhold av SEB utsatt da disse har en langt mindre kapital av basekationer å tære på. Det er ved moderate til lave innhold av SEB at mobilisering av aluminium skjer. Dette stemmer bl.a. med modellberegninger gjort av Reuss og Johnson (1986) som viser at mobilisering av aluminium bare vil skje ved lav basemetningsgrad (eller lavt innhold av SEB). Vi kan ut fra dette slå fast at metodikken gir en indikasjon på hvilke bufringsreaksjoner som dominerer i jordprøven. Mobiliteten av basekationer og aluminium ved syretilsetning ( $\Delta M \cdot \Delta H^{-1}$  og  $\Delta Al \cdot \Delta H^{-1}$ ) sett i sammenheng med SEB (eller  $BASE_3$ ), gir en brukbar indikasjon på hvor følsomt et system er, i første omgang for mobilisering av aluminium og utvasking av basekationer, med også i en viss grad endring i pH i jord og vann.

$\Delta M \cdot \Delta H^{-1}$  og  $\Delta Al \cdot \Delta H^{-1}$  synes å være de mest nyttige parametrene beregnet ved vann- og syreekstraksjoner av jordprøver. Disse parametrene viser hvilke reaksjoner som dominerer i jorda ved en gitt syrebelastning. Den forholdsvis høye korrelasjonen mellom SEB og ekstraherbare basekationer ved pH 3 svovelsyre ( $BASE_3$ ) i ulike sjikt (Amundsen 1991) gjør at  $BASE_3$  kan brukes for å relatere  $Fa_3$ ,  $\Delta M \cdot \Delta H^{-1}$  og  $\Delta Al \cdot \Delta H^{-1}$  til kvantiteten av basekationer i jorda. Sammenhengen mellom endringen i konsentrasjonen av  $H^+$ , (Ca+Mg) og Al i jorda ved syretilsetning og kvantiteten av basekationer, er viktig fordi sammenhengen mellom disse relaterer **endringer i intensitet til kapasiteten** til å binde basekationer i jorda. Denne sammenheng er viktig for å kunne estimere den relative følsomheten for forsuring av jord.

Vannoppslemmingen av prøver fra ulike sjikt ble brukt til å se på de molare konsentrasjonsforholdene  $H^+ / (Ca+Mg)$  (forkortet LP=lime potential) og  $(Ca+Mg)/Al$ . Det ble antatt at disse gjenspeiler det forholdet som finnes i jordløsningen. Korrelasjonene med BS viser at en sammenlikning av LP og  $(Ca+Mg) / Al$  i ulike prøver gir en indikasjon på syre/base forholdene i jorda og en sammenlikning av LP i jordvæska med LP i nedbøren vil gi en indikasjon på nedbørens forsurende effekt i jorda.



## 8. DEL II - SAMMENLIGNING AV REGIONALE FORSKJELLER I RELATIV FORSURINGSFØLSOMHET OG TÅLEGRENSER

### 8.1 Ulike typer kart

To typer kart vil bli brukt i framstillingen av resultatene 1) Løpende median (Bjørklund og Gustavsson, 1989) og 2) rutenettkart som er anbefalt brukt i kartlegging av tålegrenser (Sverdrup *et al.* 1990). Løpende median kart er framstilt ved at et sirkulært vindu med en bestemt radius (her 30 km) flyttes trinnvis over kartbladet. For hver 2.5x2.5 km flate er måleresultatenes medianverdi (50 prosentilen) innenfor vinduet beregnet. Medianverdien angis med en farge (etter en definert fargeskala) som plottes i vinduets sentrum dvs. hver 2.5x2.5 km flate får en farge. Løpende median kart framstiller den regionale bakgrunnen i et område. Rutenettet som benyttes er definert ved at hver 0.5° x 1° (br.grad x l.grad) rute er delt inn i 16 (tilnærmet) kvadratiske ruter (Figur 1 c). Resultatene for de ulike parametrene blir i dette tilfellet framstilt ved at hver rute får en verdi. Finnes flere prøvepunkter innenfor ruta, blir middelverdien framstilt.

### 8.2 Beregning av volumbaserte parametre

Parametrene  $Fa_3$ ,  $\Delta M \cdot \Delta H^{-1}$  og  $\Delta A_1 \cdot \Delta H^{-1}$  er bestemt ved tilsetning av 10ml (20ml for O+LFH-sjiktet) H<sub>2</sub>O eller syre til 1g prøve. Fordi sjiktene tetthet er forskjellig (Tabell 4), er ulike volumer tatt ut fra sjiktene. I oppslemmingsprosessen er denne tetthetsforskjellen noe korrigert for ved at et større væskevolum er brukt i oppslemmingene av O+LFH prøvene. For å kunne framstille en verdi for de enkelte parametrene for hver profil, ble parametrene vektet m.h.p. tetthet og tykkelse for hvert enkelt sjikt i profilet ved å bruke flg. formel:

$$P_c = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \times d_i \times \frac{m_{i0}}{m_1}}{\quad} \quad (5)$$

hvor

$P_c$  = omregnet parameter - gjennomsnitt for hele profilet

$P_i$  = parameter (e.g.  $Fa_3$ ) for sjikt i.

$d_i$  = tetthet for sjikt i (fra Tabell 4)

$n$  = antall sjikt i profilet (1,.....,5)

$m_{i0}$  = sjiktets tykkelse

$m_1$  = jordprofilets tykkelse

Omregningen medfører at parametrene blir vektet m.h.p. sjikttetthet og sjiktdybde og blir basert på volum istedet for vekt. De omregnede parametrene er m.a.o. basert på sjiktene og dermed profilets tykkelse og representerer gjennomsnittet for jordprofilet. De beregnede volumbaserte parametrene er m.a.o. ikke begrenset til de øverste 50 cm av profilet, som ofte betraktes som rottybden. Hele profilet er tatt med fordi bufringsreaksjoner i dypere sjikt (>50 cm) mange steder antas å ha (vil få) større betydning i bufringen av sur nedbør.

**Tabell 4:** Middelerdi (median i parentes) og range (under) for tykkelsen av ulike sjikt. Gjennomsnittlig (n=20) tetthet for sjiktene er også vist. Tettheten er beregnet på bakgrunn av 20 prøver fra de enkelte sjiktene i det innsamlete materialet.

Sjikt	Tykkelse (cm)	Tetthet (kg m <sup>-3</sup> )
O+LFH	12.3(10.0) 2-58	0.277
A <sub>h</sub>	10.3(9.0) 1.0-45	0.940
A <sub>e</sub>	9.92(8.0) 1.0-32	0.992
B	24.6(21.0) 1.0-96	0.992
C	23.0(19.0) 5.0-64	1.20

### 8.3 Beskrivelse av PROFILE og MAGIC modellene

Tålegrensen for jord kan defineres som *"den høyeste belastning av forsurende komponenter som ikke vil føre til kjemiske endringer i jord som kan gi skadelige effekter på økosystemets struktur og funksjon"*.

Tålegrensene som presenteres i denne rapporten er basert på to ulike modeller, PROFILE modellen som er en statisk massebalanse modell som anvendes for jord og vannkjemi (Warfinge og Sverdrup, 1992), og MAGIC som er en dynamisk modell basert på ligninger som beskriver endringer i f.eks. jordkjemien over tid (Cosby *et al.* 1985a; Cosby *et al.* 1985b).

**PROFILE** modellen er basert på at prosesser som consumerer og prosesser som produserer syrer i rotsonen (dybde = 50 cm) skal være i likevekt dvs. ved likevekt er produksjon og tilførsel av aciditet i likevekt med produksjon og tilførsel av alkalinitet i jorda. PROFILE beregner denne balansen for hvert enkelt sjikt. Ved tålegrensen er utvaskingen av basekationer fra jorda over tid lik null. Tålegrensen for skogsjord beregnes ved å bruke forholdet  $(Ca+Mg)/Al > 1.0$  og tålegrensen blir da den depositionsjonen av sur nedbør som ved likevekt holder forholdet  $(Ca+Mg)/Al=1$ . Tålegrensen for skogsjord blir da:

$$\text{TÅLEGRENSE} = \text{forvitring} - \text{utvasking av alkalitet} \quad (6)$$

Overskridelser av tålegrensen (7) er differansen mellom tilført syre (både antropogent og naturlig dannet syre i jorda) og beregnet tålegrense (likning 6).

$$\begin{aligned} \text{OVERSKRIDELSE} = & +\text{total tilførsel av svovel} \\ & + \text{total tilførsel av nitrogen} \\ & - \text{ikke-marin tilførsel av basekationer} \quad (7) \\ & - \text{nitrogenopptak i trærne} \\ & - \text{basekationopptak i trærne} \\ & - \text{tålegrensen} \end{aligned}$$

De viktigste input-data nødvendig for å beregne tålegrensen med PROFILE-modellen er:

- total deponisjon av sulfat, nitrat, ammonium og basekationer
- nedbørmengde, avrenning og temperatur
- klassifisering av fuktigheten i jorda
- mineralogien og tekturen i C-sjiktet
- opptak av basekationer og nitrogen i vegetasjonen

Fuktigheten i jorda ble estimert ved å bruke klassifiseringen av jordas fuktigheten som ble gjort ved prøvetakingen. Andre parametre som CO<sub>2</sub> trykket, oppløst organisk karbon i jordvæska, fordelingen av opptak gjennom jordprofilen og evapotranspirasjon er parametre som har mindre betydning for tålegrenseverdien og er standardverdier tatt fra litteraturen. Forvittringshastigheten ble beregnet ved å bruke tekstur, mineralogi og totalanalyser av jordprøver. Mineralogien ble bestemt for bare 18 prøvepunkter, men ved å korrelere disse

mot tekstur og totalanalyser i de resterende prøvepunktene, er mineralogien og dermed forvittringshastigheten estimert i alle prøvepunktene (Sverdrup *et al.* 1992).

Tålegrensene beregnet ved PROFILE modellen er gitt i  $\text{kmol}_c \text{ ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$ .

For nærmere beskrivelse av PROFILE-modellen, se Sverdrup *et al.* (1990), Sverdrup *et al.* (1992) og Warfinge og Sverdrup (1992).

**MAGIC modellen** er en dynamisk, prosess orientert modell og beregner (som andre dynamiske modeller) hvordan syre/base forholdene i et system reagerer på endringer i tilførselen av sur nedbør over tid. Dynamiske modeller er de eneste modellene som kvantitativt kan estimere framtidig vann- eller jordkvalitet på bakgrunn av ulike scenarier for nedfall av sure forbindelser og hvordan de ulike prosessene i jorda påvirker den denne kvaliteten. MAGIC er den mest brukte av de dynamiske modellene som er i bruk i dag.

MAGIC består av tre ulike sett av ligninger. Likevekts ligninger beskriver kvantitativt likevektsprosessene som skjer i jorda, massebalanse likninger beskriver kvantitativt tilførselen av basekationer og sure anioner fra nedbør og elvevann og et tredje sett av ligninger relaterer variablene i likevekts ligningene med variablene i masse balanse ligningene. De dynamiske modellene er mindre anvendbare enn statiske modeller som PROFILE fordi de krever en større mengde input-data, data som i mange tilfeller er vanskelig å få tilstrekkelig nøyaktig. MAGIC modellen betrakter jorda som en homogen boks dersom profiltykkelsen er mindre enn 60 cm, og som to bokser (0-50 cm og >50 cm) om profildybden er større enn 60 cm.

Data som er nødvendig for å kunne beregne tålegrenser ved bruk av MAGIC innbefatter bl.a. de dataene som er nevnt for PROFILE (også inkludert forvittringshastigheten), men i tillegg må informasjon om kationbyttekapasiteten, kapasiteten til å adsorbere sulfat og selektivitetskoeffisienter for sulfat og kationer i jorda inkluderes.

Forvitringen inngår også i MAGIC modellen, men her er gjennomsnittlig forvitring innenfor 12x12 km ruter basert på både vann og jorddata. Dette medfører at forvitringen i disse tilfellene representerer et gjennomsnitt over et større område, i motsetning til forvitringen som beregnes ved PROFILE modellen som er basert kun på mineralogien i det ene profilet.

Kationene  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$  og  $\text{K}^+$  er de ionene som representerer kationbyttereaksjoner i jorda i MAGIC modellen og tålegrenser som er vist her er basert på at forholdet Ca/Al skal være større enn 1. Tålegrensene for MAGIC modellen beregnes for 12x12 km ruter (NIVA-rute) og tålegrensen er det nedfallet av svovel som over en 50 års periode gir forholdet Ca/Al=1.

Tålegrensene beregnet ved MAGIC modellen er gitt i mekv m<sup>-2</sup> år<sup>-1</sup>. Dette medfører at tålegrensen for MAGIC er gitt ved en skala som er 100x skalaen for PROFILE dvs. kmol<sub>c</sub> ha<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup> = mekv m<sup>-2</sup> år<sup>-1</sup> / 100.

For nærmere beskrivelse av PROFILE og MAGIC modellene og tålegrensene slik de er beregnet i denne rapporten, se Frogner *et al.* (1992). **Tore Frogner og Arnt Olav Håøya, NISK**, har vært behjelpelige med å skaffe tålegrensedataene som er framstilt i denne rapporten.

## 8.4 Resultater

### 8.4.1 Regionale variasjoner for Fa<sub>3</sub>, ΔM·ΔH<sup>-1</sup>, ΔAl·ΔH<sup>-1</sup> og SEB.

Ved kartframstillingen er mengde tilsatt syre som ikke har reagert med jorda (Fa<sub>3</sub>), mobiliteten av basekationer og aluminium ved syretilsetning (hhv. ΔM·ΔH<sup>-1</sup> og ΔAl·ΔH<sup>-1</sup>) og innholdet av utbyttbare basekationer (SEB) vektet med hensyn på sjikttykkelse og tetthet dvs. de er gjennomsnittsverdier for profilet beregnet ved bruk av formel (5). Fargeskalaen som er benyttet er justert slik at den oransje fargen representerer 45-55 prosentilen i datasettene. Den regionale fordelingen av prøvepunktene er gitt i Figur 1 a.

Løpende median kart er brukt for å framstille regionale variasjoner i Fa<sub>3</sub>, ΔM·ΔH<sup>-1</sup>, ΔAl·ΔH<sup>-1</sup> og SEB. Kartene viser også verdiene (definert ved fargeskalaen) for hvert enkelt prøvepunkt. **Bare de punktene som avviker fra den regionale bakgrunnen vises på kartene.**

#### SEB

Innholdet av basekationer er lavt i Vest-Agder, deler av Aust-Agder, og i deler av Buskerud og Østfold (Figur 10 a). Noe overraskende er det at områder i Aust-Agder hvor geologien består stort sett av gneis/granitt, viser relativt høye verdier av utbyttbare basekationer. Oslo-feltet inneholder relativt mye utbyttbare basekationer og det samme gjør de nordligste delene av Buskerud. Dette mønsteret ligner på regionale variasjoner av vann- og syreløselig Ca og Mg (Bølviken *et al.* 1990).

#### Fa<sub>3</sub>

De høyeste verdiene for Fa<sub>3</sub> finnes på sydspissen av Norge (Vest-Agder), de høyere liggende områdene i Aust-Agder og et belte som strekker seg fra kysten av

Telemark og nordover inn i Buskerud (Figur 10 b). I de sydligste delene av Østfold er også verdiene høye. Områdene med best bufferevne finnes i Vestfold og de øvre delene av Buskerud. Geologien i det prøvetatte området er tilsynelatende noenlunde uniformt, bortsett fra Oslofeltet som strekker seg fra Vestfold og nordover mot Mjøsa (Figur 11). Dette området skiller seg ut ved lave verdier for Fa3 (god bufferevne). Variasjoner for parameteren Fa3 i andre områder kan ikke forklares ut fra geologiske variasjoner vist i Figur 11. Det er overraskende at Fa3 viser såvidt lave verdier i store deler av Agderfylkene, fordi SEB er lav i disse fylkene. Den høye reaktiviteten eller bufferevnen til jordprofilene i dette området kan skyldes økt mobilisering av aluminium ved ionebyttereaksjoner i de organiske sjiktene og oppløsning av aluminiumholdige silikater og hydroksider i mineraljorda.

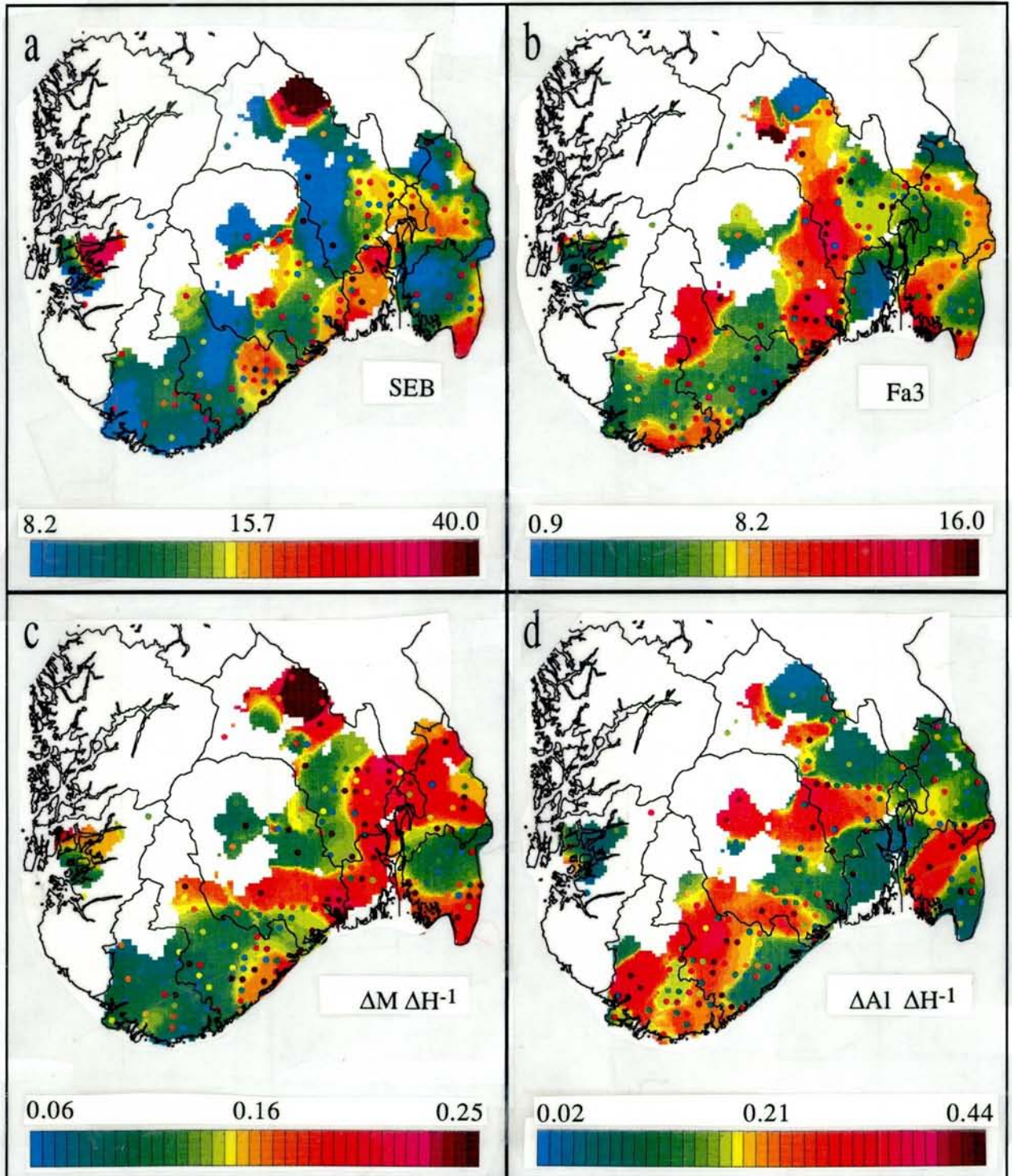
#### $\Delta M \cdot \Delta H^{-1}$

Mobiliteten av basekationer viser de høyeste verdiene i områder med høyt innhold av utbyttbare basekationer. Dette er vist i DEL I og en sammenlikning av Figur 10 a og c bekrefter dette. Det ble antatt fra DEL I at de mest sensitive profilene med hensyn på utvasking av basekationer var profiler med middels til moderat høyt innhold av basekationer og høy  $\Delta M \cdot \Delta H^{-1}$ . Dette innebærer at områdene med rød og oransje farge på SEB-kartet er mer utsatte for utvasking av basekationer enn andre områder dvs. de sørlige delene av Aust-Agder og store deler av Oslo-feltet. De nordligste delene av Buskerud har et svært høyt innhold av utbyttbare basekationer og snarlige effekter av utvasking av basekationer antas derfor ikke å oppstå i disse områdene. De sørligste delene av Østfold har også relativt høye verdier for  $\Delta M \cdot \Delta H^{-1}$  og samtidig et relativt høyt innhold av SEB. De nordligste delene av Akershus har et lavt innhold av SEB, men samtidig høye verdier for  $\Delta M \cdot \Delta H^{-1}$  og må derfor karakteriseres som et av de mest følsomme områdene hva angår effekter av basekationutvasking.

#### $\Delta Al \cdot \Delta H^{-1}$

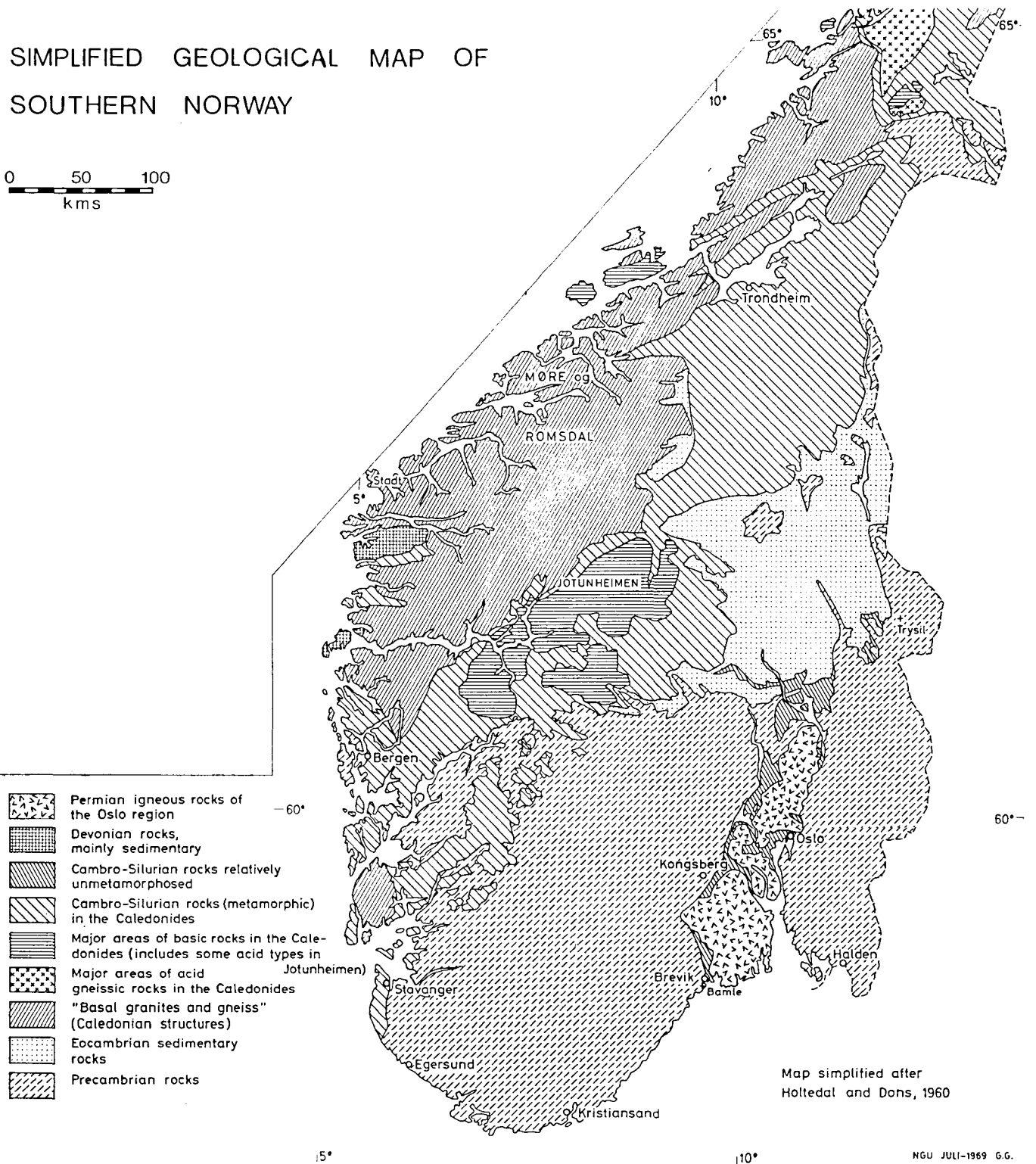
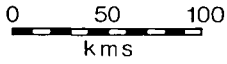
Mobiliseringen av aluminium er størst i de områder hvor SEB er lav. Dette gjelder i første omgang store deler av Aust- og Vest-Agder og Telemark (Figur 10 d). I Vestfold og de nordligste prøvetatte områder i Buskerud, er mobiliseringen av Al lav. Den nordvestlige delen av Østfold har også høye verdier for  $\Delta Al \cdot \Delta H^{-1}$ .

Kartene i Figur 10 viser at det er store regionale forskjeller for de ulike parametrene. Kartene viser også at det innenfor et område med en gitt farge også finnes prøvepunkter som klart avviker fra den regionale verdien for parameteren. De lokale variasjonen er m.a.o. stor. Fylkesvise middelveier for endel parametre og standard avvik (SD) for disse er framstilt i Figur 12. SD er stor for alle parametrene og i alle fylker. Dette



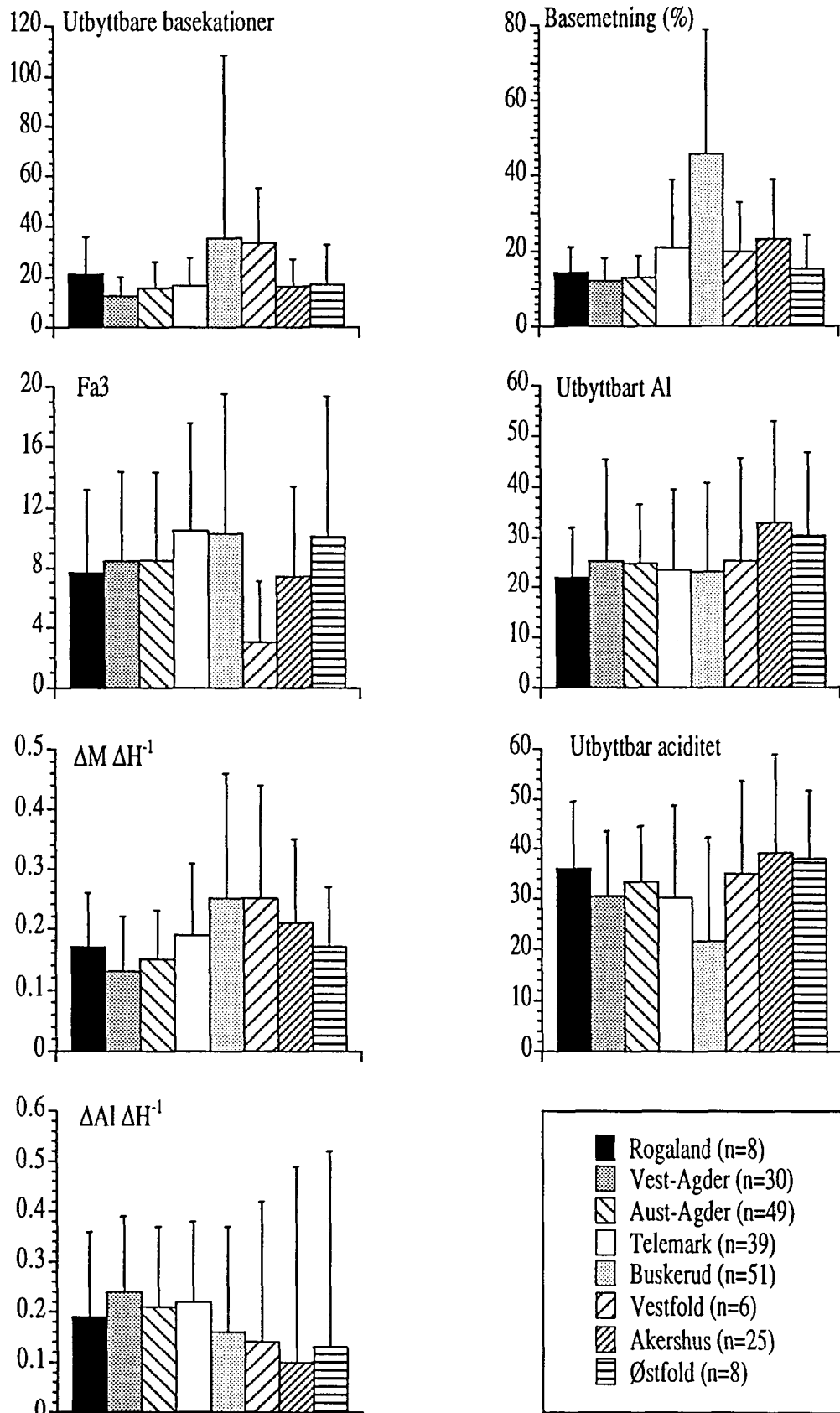
**Figur 10:** Løpende median kart som viser regional fordeling av a) summen av utbyttbare basekationer i de prøvetatte profilene (SEB,  $m^{-3}$ ) (logaritmisk verdiskala) b) mengde tilsatt pH 3 svovelsyre som ikke har reagert med jorda (Fa3 (%),  $m^{-3}$ ) c) mobiliteten av basekationer ved syretilsetning ( $\Delta M \cdot \Delta H^{-1}$ ,  $m^{-3}$ ) i profilene og d) mobiliteten av aluminium ved syretilsetning ( $\Delta Al \cdot \Delta H^{-1}$ ,  $m^{-3}$ ) i profilene (b-d lineær verdiskala). Se forøvrig kap. 8.2 for en nærmere beskrivelse av beregningen av volumbaserte parametre.

# SIMPLIFIED GEOLOGICAL MAP OF SOUTHERN NORWAY

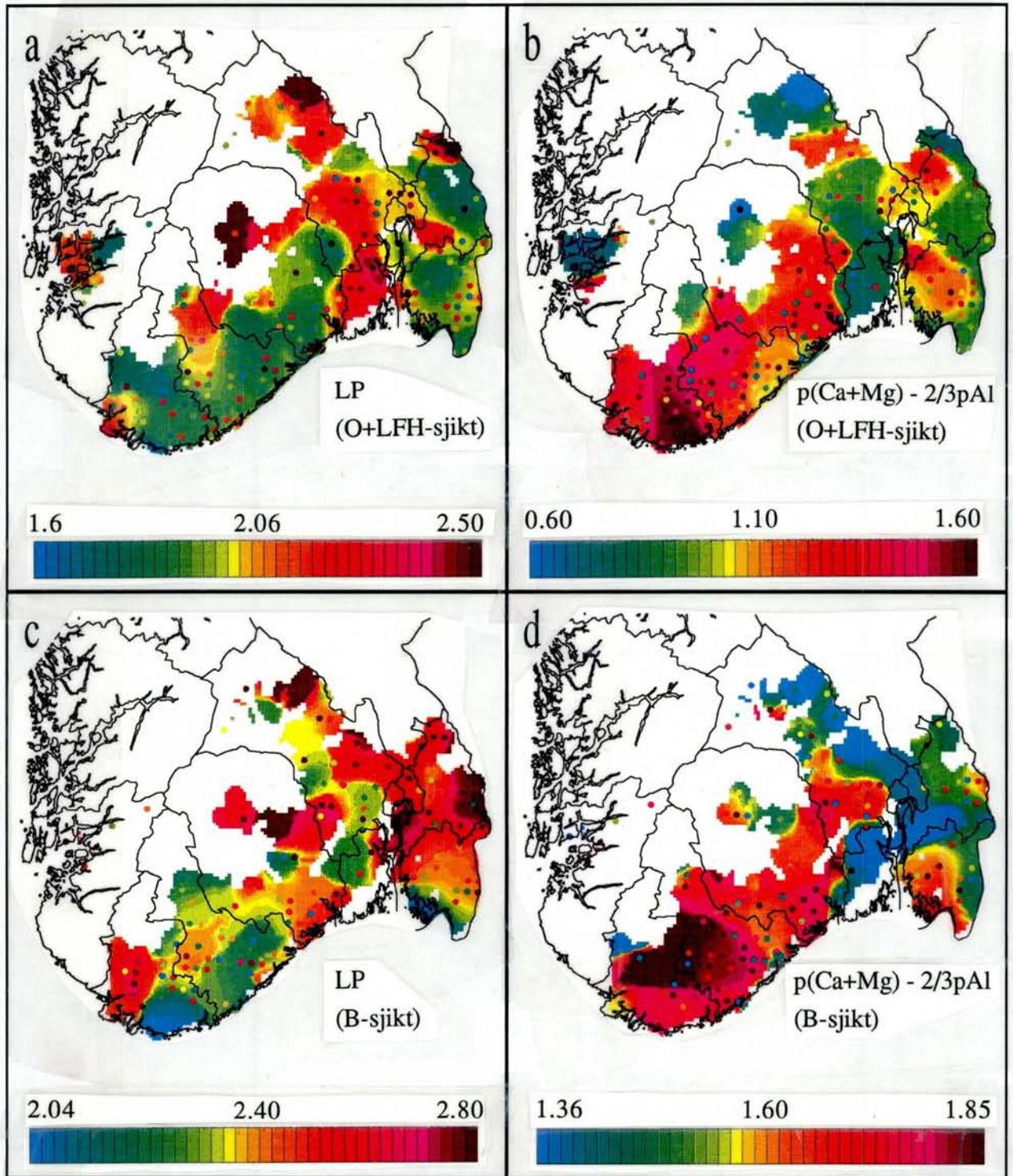


Figur 11: Forenklet berggrunnsgeologisk kart over Sør-Norge.





**Figur 12:** Fylkesvise middelværdier og standard avvik (SD) for utbyttbare basekationer (SEB), mengde tilsatt pH 3 svovelsyre som ikke har reagert med jorda (Fa3), mobiliteten av basekationer ved syretilsetning ( $\Delta M \cdot \Delta H^{-1}$ ), mobiliteten av aluminium ved syretilsetning ( $\Delta Al \cdot \Delta H^{-1}$ ), basemetningsgrad (%), utbyttbart aluminium og utbyttbar aciditet.



**Figur 13:** Løpende median kart som viser regionale variasjoner i forholdet  $H/(Ca+Mg)$  i vannoppslemmingen i O+LFH- og B-sjiktet (a og c) og regionale variasjoner i forholdet  $(Ca+Mg)/Al$  i vannoppslemmingen i O+LFH- og B-sjiktet (b og d)

illustrerer at prøvetettheten ved slike kartframstillinger er av stor betydning for pålitelighet og tolkning av resultater.

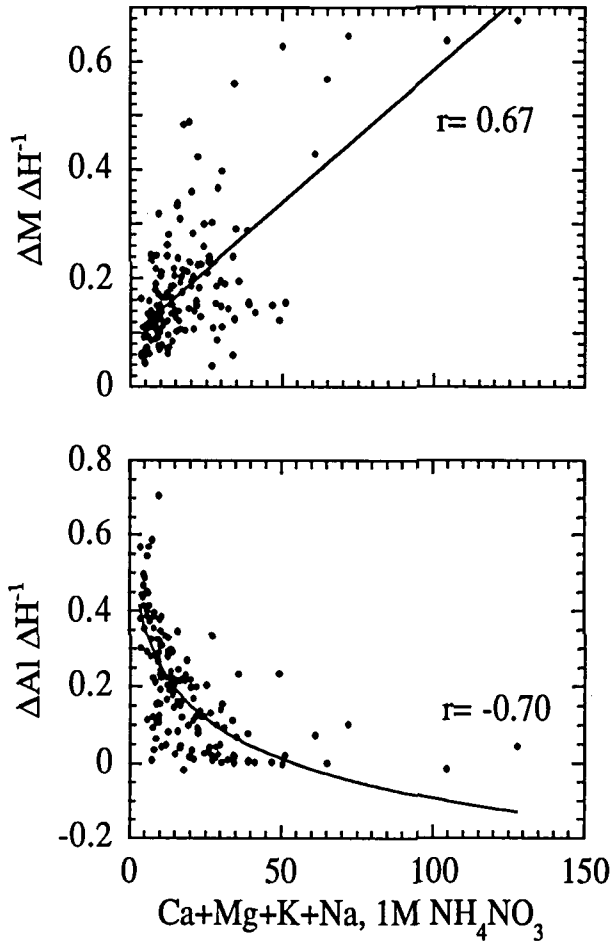
#### 8.4.2 Regionale variasjoner for $H/(Ca+Mg)$ og $(Ca+Mg)/Al$ i O+LFH og B-sjiktet.

230 og 168 profiler (av ialt 240) innehar prøver fra hhv. O+LFH og B-sjiktet. Av disse sjiktene er trolig O+LFH-sjiktet av størst betydning når effekter av sur nedbør skal vurderes. Bufringsreaksjoner i lavere sjikt er imidlertid ikke uten betydning for bufringen av sur nedbør i mange områder.

Som nevnt i DEL I, vil en sammenligning av forholdet  $H/(Ca+Mg)$  (forkortet LP) i nedbøren og i jordvæska gi en indikasjon på den forsurende effekten av nedbøren. Jo lavere LP er i nedbøren, desto større vil den forsurende effekten være (større (negativ) differanse mellom LP i nedbør og LP i jordvæska gir større forsurende effekt). LP i O+LFH-sjiktet er lav (høyest forhold mellom  $H^+$  og  $(Ca+Mg)$ ) i store deler av Agderfylkene, Telemark, Østfold og Akershus og høyere i Buskerud og Vestfold (Figur 13 a). Forholdet  $(Ca+Mg)/Al$  i O+LFH-sjiktet viser stort sett det omvendte fargemønsteret av LP (Figur 13 b). Dette betyr at der  $H^+$  er stor i forhold til  $(Ca+Mg)$  er også Al høy i forhold til  $(Ca+Mg)$ . Det er ikke overraskende at dette først og fremst er tilfelle i Agderfylkene og Telemark, hvor en har funnet høye verdier for  $H^+$  og labilt aluminium i overflatevann (Henriksen *et al.* 1986). I B-sjiktet er de regionale variasjonene for LP større enn i O+LFH-sjiktet, mens  $p(Ca+Mg) - 2/3pAl$  viser stort sett det samme mønsteret som i O+LFH-sjiktet med de høyeste verdiene i Agderfylkene og Telemark. Også i det sørlige Buskerud og i Østfold finnes områder med et lavt forhold  $(Ca+Mg)/Al$ .

#### 8.4.3 Klassifisering av profilene i 5 følsomhetsklasser

Sammenhengen mellom mobiliteten av basekationer og aluminium ved syretilsetning (hhv.  $\Delta M \cdot \Delta H^{-1}$  og  $\Delta Al \cdot \Delta H^{-1}$ ) og innholdet av utbyttbare basekationer (SEB) ble brukt for å klassifisere 16-dels rutene med hensyn på følsomheten for effekter av sur nedbør (Figur 14). Klassifiseringen er basert på fem ulike følsomhetsklasser, med de mest følsomme profilene i klasse 1 og de minst følsomme i klasse 5 (Tabell 5). Klassifiseringen i følsomhetsklasser er basert på gjennomsnittsverdiene for parametrene beregnet ved å bruke formel (5).



**Figur 14:** Gjennomsnittsverdier for mobiliteten av basekationer ( $\Delta M \cdot \Delta H^{-1}$ ) og mobiliteten av aluminium ( $\Delta Al \cdot \Delta H^{-1}$ ) i 165 (17x17 km) ruter plottet mot gjennomsnittet av utbyttbare basekationer (SEB) i de samme rutene.

**Tabell 5:** Inndeling i følsomhetsklasser for parametrene  $\Delta M \cdot \Delta H^{-1}$  og  $\Delta Al \cdot \Delta H^{-1}$ . Inndelingen for  $\Delta M \cdot \Delta H^{-1}$  er også basert på mengden utbyttbare basekationer (SEB) i profilet. Klassifisering av 165 ruter i 5 følsomhetsklasser er basert på summen av følsomhetsklassene for  $\Delta M \cdot \Delta H^{-1}$  og  $\Delta Al \cdot \Delta H^{-1}$  (% angir antall profiler i de ulike relative følsomhetsklassene). Se teksten for nærmere forklaring.

Verdier for klassene		SEB	Følsomhets-klasse
$\Delta M \cdot \Delta H^{-1}$	>0.40	>50	5
	<0.20	$\geq 25$	4
	$\leq 0.20$	<25	3
	0.20-0.30	-	2
	$\geq 0.30$	$\leq 50$	1
$\Delta Al \cdot \Delta H^{-1}$	<0.10	-	5
	0.10-0.20	-	4
	0.20-0.30	-	3
	0.30-0.40	-	2
	>0.40	-	1
<b>Sum</b>			
klasse-			Relativ
verdier	%		følsomhet
3	12.1		1
4			
5	18.8		2
6	27.9		3
7	27.9		4
8			
9	13.3		5
10			

På bakgrunn av Figur 14 ble rutene klassifisert i 5 følsomhetsklasser. Klassifiseringen ble gjort for  $\Delta M \cdot \Delta H^{-1}$  og  $\Delta Al \cdot \Delta H^{-1}$  (Tabell 5). For parameteren  $\Delta M \cdot \Delta H^{-1}$  (mobilisering av basekationer ved syretilsetning) er følgende definisjon av følsomheten brukt: Utvasking av basekationer fører til forsuring av jorda og i jordprøver hvor SEB er høy, er utvaskingen stor. Disse prøvene er derfor mest utsatt for basekationutvasking. Den negative effekten av utvaskingen er imidlertid størst for prøver med lavt innhold av basekationer og høy  $\Delta M \cdot \Delta H^{-1}$ , fordi en videre senkning av basekationinnholdet i disse prøvene kan føre til en rask senkning av Ca/Al forholdet. Disse prøvene er klassifisert som mer sensitive for effekter av sur nedbør, enn prøver med fra før lavt innhold av basekationer og relativt høyt innhold av aluminium. Høye verdier av SEB gir normalt de høyeste verdiene av  $\Delta M \cdot \Delta H^{-1}$  dvs. utvaskingen av basekationer er størst i disse prøvene. Men i og med det høye innholdet av basekationer, er mulighetene for en mangel på basekationer små i disse prøvene. De mest følsomme prøvene med hensyn på denne effekten er m.a.o. prøver med middels innhold av basekationer. Ved lave verdier av SEB er som oftest også  $\Delta M \cdot \Delta H^{-1}$  liten og aluminium er et konkurrerende ion i ionebytteposisjon. Ved disse lave verdiene av utbyttbare (eller syre ekstraherbare) basekationer, vil hovedeffekten være en økt mobilisering av aluminium. Følsomhetsklassene for parameteren  $\Delta Al \cdot \Delta H^{-1}$  er basert på at effekten av syrepåvirkning på mobiliteten av aluminium øker ved minkende innhold av utbyttbare basekationer i jorda. De mest følsomme profilene med hensyn på aluminium mobilisering i jorda er de med lavt innhold av utbyttbare basekationer.

Etter at rutene ble klassifisert m.h.p. parametrene for mobilisering av basekationer og aluminium (hhv.  $\Delta M \cdot \Delta H^{-1}$  og  $\Delta Al \cdot \Delta H^{-1}$ ), ble klasseverdiene for parametrene summert, og de summerte verdiene deretter inndelt i fem følsomhetsklasser (Tabell 5). (% angir hvor mange ruter som ble definert til de ulike klassene). Den regionale fordelingen av disse følsomhetsklassene er framstilt i Figur 15 c og d. Gruppe 1 (rød farge) innehar de **mest følsomme profilene** med tanke på effekter av sur nedbør og gruppe 5 (blå farge) de **minst følsomme profilene**. Figur 15 d gir ikke noen god indikasjon på de regionale forskjellene i relativ følsomhet fordi den lokale variasjonen er svært stor. Følsomhetsklasser 3 og 4 (gule og orange ruter) dominerer kartet, og 55.8% av rutene er klassifisert til disse følsomhetsklassene.

En inndeling av rutene i følsomhetsklasser basert på mobiliteten av basekationer og aluminium ( $\Delta M \cdot \Delta H^{-1}$  og  $\Delta Al \cdot \Delta H^{-1}$ ) gir et bedre sammenligningsgrunnlag med beregnede tålegrenser enn om også Fa3 inkluderes i klasseinndelingen.

110 ruter inneholder en prøve, 40 ruter inneholder 2 profiler, 10 ruter inneholder 3 profiler og 5 ruter inneholder 4 prøver. For å illustrere den store variasjonen som også finnes innenfor de enkelte rutene er gjennomsnittsverdier og standard avvik for Fa3,

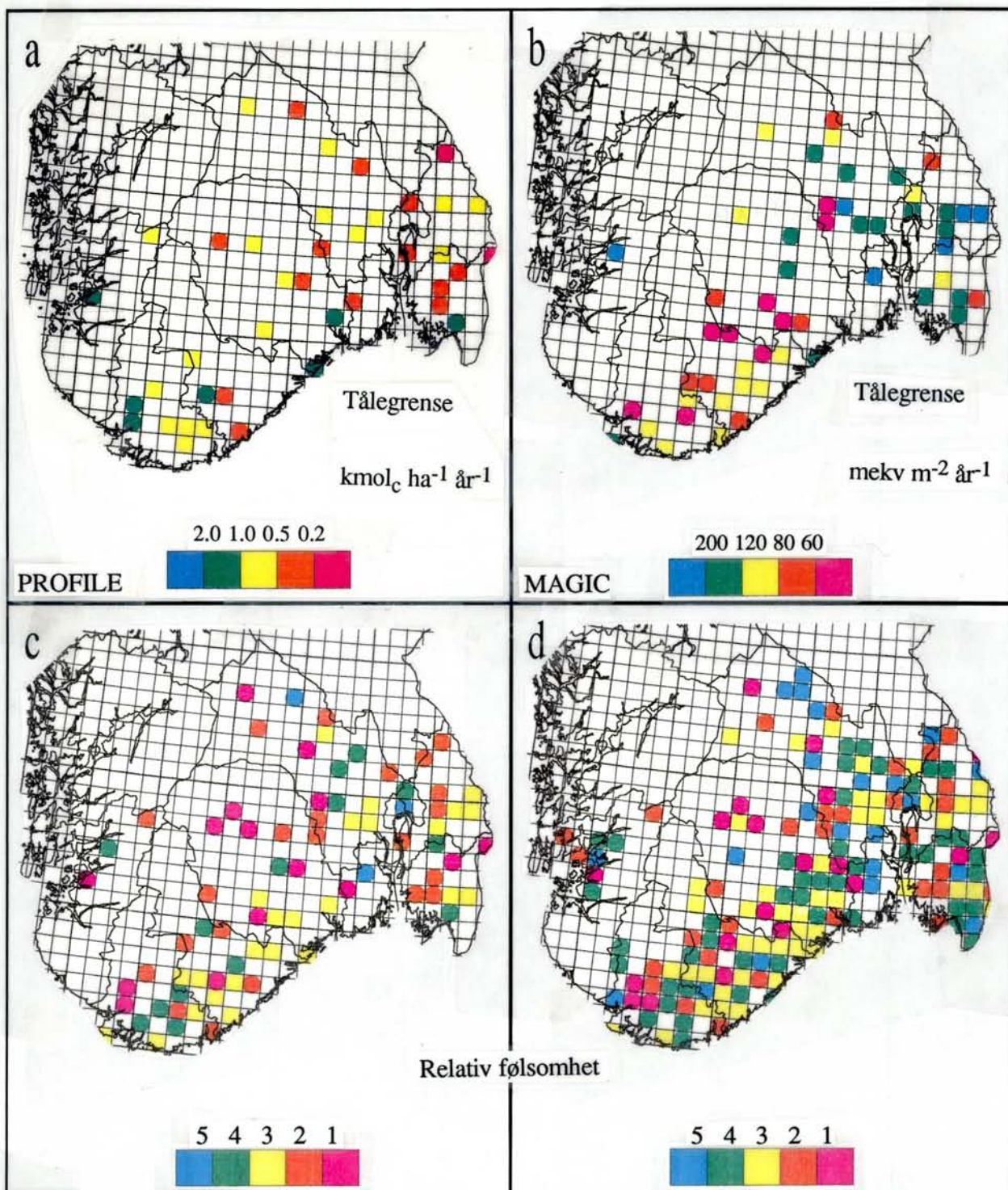
$\Delta M \cdot \Delta H^{-1}$ ,  $\Delta Al \cdot \Delta H^{-1}$  og SEB for profilene i rutene med 4 prøver framstilt i Figur 16. Figuren viser at det er tildels store variasjoner mellom de fire prøvene innenfor hver rute. Dette illustrerer at den lokale variasjonen i jordas kjemiske egenskaper er stor og at prøvetettheten derfor er viktig for påliteligheten av resultatene.

#### 8.4.4 Tålegrenser beregnet ved PROFILE og MAGIC modellene

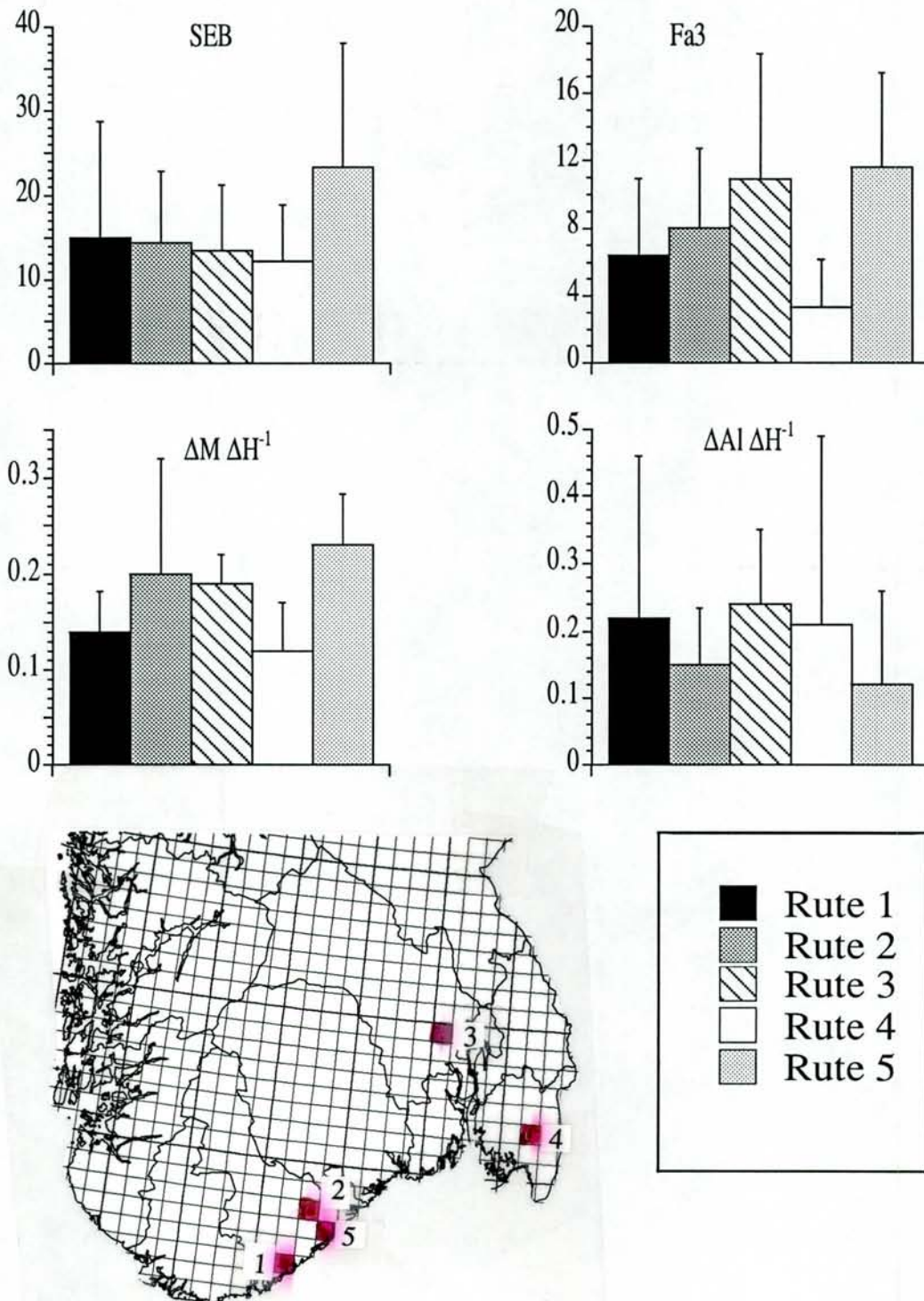
Tålegrensene er beregnet av Tore Frogner og Arnt Olav Håøya ved Norsk institutt for skogforskning.

Det er beregnet tålegrenser for 40 og 52 ruter for hhv. PROFILE og MAGIC i det prøvetatte området (Figur 15 a og b). Tålegrenseverdiene er delt inn i 5 klasser (fem fargekoder) hvor rød farge viser de mest følsomme områdene (lavest tålegrense) og blå farge de minst følsomme områdene dvs. de med høyest tålegrense. Tålegrensene beregnet ved PROFILE (Figur 15 a) viser at rutene med lavest tålegrense ( $<0.20 \text{ kmol}_c \text{ ha}^{-1}\text{år}^{-1}$ ) finnes i Akershus og Østfold og at det ikke er noen regioner som skiller seg ut m.h.t. lave tålegrenser. Det synes heller ikke å være noen sammenheng mellom tålegrensene beregnet ved PROFILE modellen og geologiske variasjoner. Tålegrensene beregnet for Oslo-feltet synes tvert imot å være lavere enn enkelte områder i Agder-fylkene og Telemark. Da forvittringshastigheten er av stor betydning for tålegrensen beregnet med PROFILE, indikerer dette at prøvetettheten er for lav til at tålegrensene kan sammenlignes regionalt. Tålegrensene beregnet ved MAGIC modellen (Figur 15 b) gir et klart regionalt mønster med de laveste tålegrensene i Agderfylkene og Telemark og høyere tålegrenser i Buskerud, Akershus, Vestfold og Østfold. Dette mønsteret er i overensstemmelse med data fra 1000-sjøers undersøkelsen som viser relativt høye konsentrasjoner av aluminium og lave konsentrasjoner av kalsium og magnesium i Agderfylkene og Telemark, områder hvor fiskebestanden er kraftig redusert i løpet av 60- og 70-tallet. Det er med andre ord bare MAGIC som beregner tålegrenser for jord som er i overensstemmelse med tålegrenser for vann i de samme områdene. Overskridelsen av tålegrensen (ikke vist her) er størst i Agderfylkene og Telemark fordi nedfallet av forsurende S- og N- forbindelser er størst her. Dette er tilfelle for begge modellene.

Som vist i Figur 12 og 16 er det store lokale og regionale variasjoner i jordsmonnets kjemiske egenskaper, og det er derfor vanskelig å få noe godt bilde av de regionale variasjonene i tålegrenser med bare 40 prøvepunkter. Vanligvis beregnes tålegrensen innenfor et større geografisk område, og 5 prosentilen av tålegrensene innenfor dette

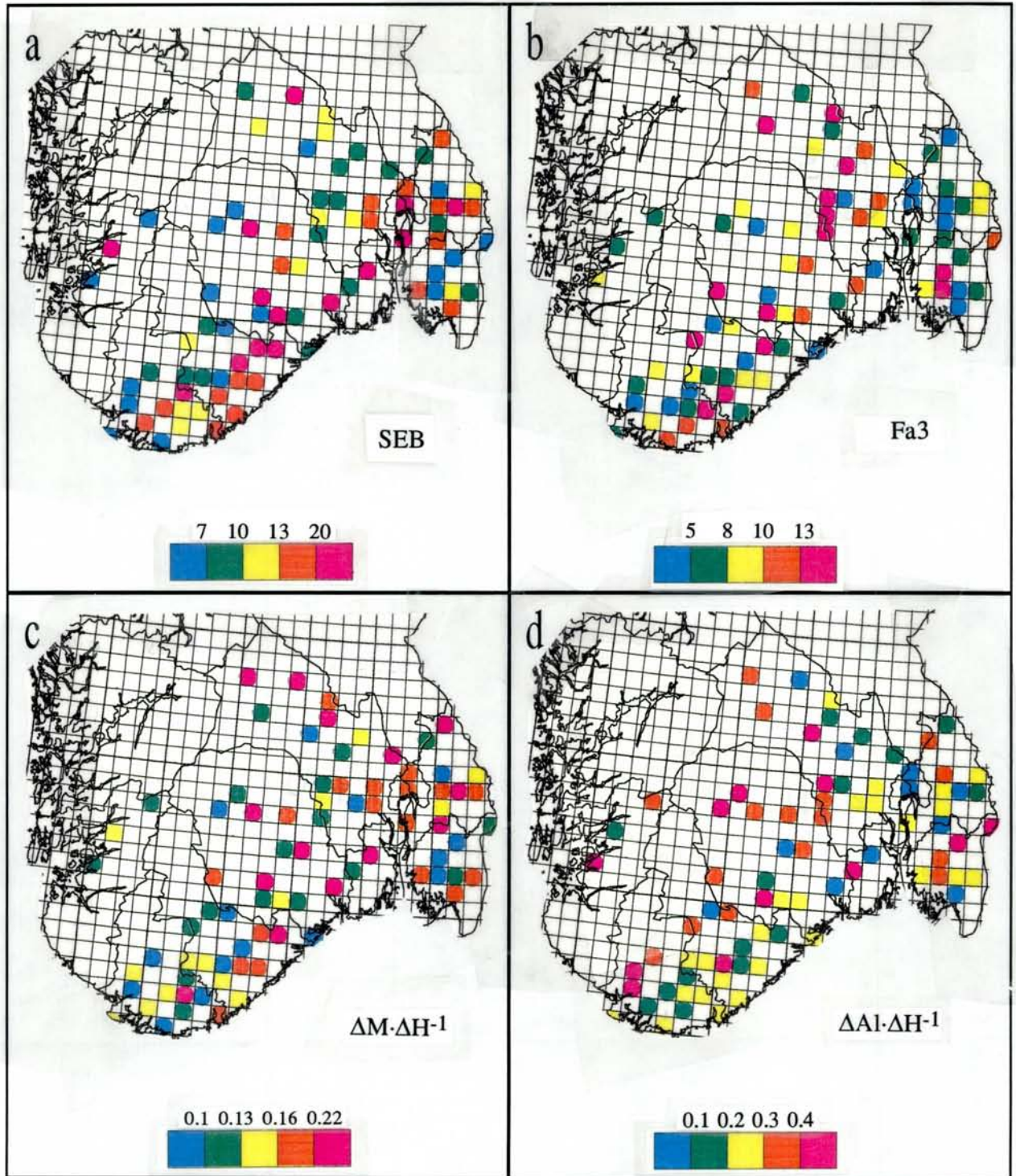


**Figur 15:** (a) Tålegrenser beregnet ved PROFILE modellen (40 ruter) (b) tålegrenser beregnet ved MAGIC modellen (52 ruter) (c) relativ følsomhet basert på 5 følsomhetsklasser for 79 ruter i det undersøkte (ruter hvor tålegrensen er beregnet enten ved PROFILE eller MAGIC modellen) området (d) relativ følsomhet basert på 5 følsomhetsklasser for 165 ruter i det undersøkte området.



**Figur 16:** Gjennomsnittsverdier (n=4 profiler) for utbyttbare basekationer (SEB), mengde tilsatt syre som ikke har reagert med jorda (Fa3, %), mobiliteten av basekationer ved syretilsetning ( $\Delta M \cdot \Delta H^{-1}$ ) og mobiliteten av aluminium ved syretilsetning ( $\Delta Al \cdot \Delta H^{-1}$ ) i 5 ruter i det undersøkte området (volumbaserte parametre, se kap.8.2). Den regionale fordelingen av rutene er vist.





**Figur 17:** Klasseverdier for (a) utbyttbare basekationer (SEB) (b) mengde syre som ikke har reagert med jorda (Fa3, %) (c) mobiliteten av basekationer ved syretilsetning ( $\Delta M \cdot \Delta H^{-1}$ ) og (d) mobiliteten av aluminium ved syretilsetning ( $\Delta Al \cdot \Delta H^{-1}$ ) for 79 ruter. Tålegrenser (Figur 15 a og b) er bestemt for de samme rutene.

området benyttes da for å definere tålegrensen for hele området. På denne måten kan en ta hensyn til alle punktene innenfor et område.

## 8.5 Diskusjon

Bestemmelse av kationinnholdet i vann- og syreekstrakter indikerer hvilke kjemiske reaksjoner som dominerer i reaksjon med tilsatt syre. Det antas at jordprofiler hvor aluminiumbufring dominerer ved tilsetning av pH 3 syre er mer utsatt for mobilisering av aluminium ved dagens nedbør enn profiler hvor basekationene dominerer ved den samme syretilsetningen. Områder med høy mobilisering av aluminium ( $\Delta\text{Al}\cdot\Delta\text{H}^{-1}$ ) og et lavt forhold mellom  $(\text{Ca}+\text{Mg})$  og Al er mer utsatt for skadelige virkninger på biologiske systemer enn områder med lavere verdier for  $\Delta\text{Al}\cdot\Delta\text{H}^{-1}$  og et høyere  $(\text{Ca}+\text{Mg})/\text{Al}$  forhold.

Det synes klart at de områdene man idag kjenner til er sterkt påvirket av sur nedbør, dvs. områder i Agderfylkene og Telemark, er dominerte av aluminium bufring. Dette gjelder også enkelte områder i Buskerud og Østfold. Alle disse områdene har lave konsentrasjoner av utbyttbare basekationer (SEB) og lav mobilisering av basekationer ved syrepåvirkning (lave verdier for  $\Delta\text{M}\cdot\Delta\text{H}^{-1}$ ). Forholdet  $(\text{Ca}+\text{Mg})/\text{Al}$  i vannoppslemingen i O+LFH og B-sjiktet er også lavt i Agderfylkene og i Telemark noe som tyder på at aluminiumbufring dominerer bufningsreaksjonene i disse områdene. Fiskebestanden i Vest- og Aust-Agder er redusert med hhv. 70 og 55% som følge av sur nedbør. Reduksjonene ble funnet å være noe mindre i Telemark og Rogaland (ca. 30%) og omlag 10% i Østfold og Buskerud (Henriksen *et al.* 1989). Det er en påfallende likhet mellom kartet for labilt aluminium i overflatevann som ble presentert i 1000 sjøers undersøkelsen og kartene som framstiller regionale forskjeller i SEB,  $\Delta\text{M}\cdot\Delta\text{H}^{-1}$  og  $\Delta\text{Al}\cdot\Delta\text{H}^{-1}$ . I områder med lavt innhold av SEB, lav  $\Delta\text{M}\cdot\Delta\text{H}^{-1}$  og høy  $\Delta\text{Al}\cdot\Delta\text{H}^{-1}$  vet en fra 1000 sjøers undersøkelsen at innholdet av aluminium,  $\text{H}^+$  og sulfat i innsjøene var høyt. Kartet som viser forholdet mellom  $(\text{Ca}+\text{Mg})$  og Al i vannoppslemingen i humussjiktet viser også at det er stort sett i de områdene som har sterkt reduserte fiskebestander som har de høyeste verdiene (laveste forholdet). Parametrene som er benyttet for å beregne følsomheten for effekter av sur nedbør i jord viser de samme faller sammen med de områdene hvor fiskebestanden er skadet av sur nedbør.

Forholdet  $\text{H}/(\text{Ca}+\text{Mg})$  (forkortet LP=lime potential) beregnet i vannoppslemingen i O+LFH-sjiktet viser at de fleste områder har et høyere LP enn gjennomsnittlig LP i nedbøren beregnet fra 8 bakgrunnsstasjoner i det aktuelle området ( $\text{LP}=1.76\pm 0.19$ ).

Dette innebærer at nedbøren som idag faller over store deler av Sør-Norge virker forsurende dvs. de områdene som idag bufrer nedbøren gjennom reaksjoner med silikater eller gjennom ionebytteprosesser, vil i denne nedbørsituasjonen være sensitive for økt mobilisering av aluminium i jorda. Dette gjelder i første rekke kystnære områder i Aust-Agder, Vestfold og deler av Oslo og Akershus med moderate konsentrasjoner av utbyttbare basekationer og høy mobilitet av basekationer ved syrepåvirkning (høye verdier for  $\Delta M \cdot \Delta H^{-1}$ ). Disse områdene har idag lave verdier for  $\Delta Al \cdot \Delta H^{-1}$  (liten mobilisering av aluminium ved syrepåvirkning). Den forsurende effekten med dagens nedbørkvalitet er størst i Oslofeltet. Dette området har en relativt rik geologi sammenlignet med andre områder (f.eks. Aust-Agder) og hvorvidt den sure nedbøren vil senke forholdet  $(Ca+Mg) / Al$  er avhengig av bl.a. forvittringshastigheten.

Selv om effekter på planter og dyr som lever i og på jord ikke er dokumentert i særlig grad i Sør-Norge, indikerer resultatene at store områder i Sør-Norge er utsatt for økt mobilisering av aluminium. Det må antas at effekter av forsurenningen på organismer som lever i og på jorda først vil oppstå i områder hvor de jordkjemiske forholdene er dårligere enn andre steder. Dette gjelder bl.a. områder som har et lavt forhold  $(Ca+Mg)/Al$  i jordvæska og som viser høy utvasking av Al relativt til basekationer ved syretilsetning dvs. områder som er dominert av aluminiumbufring.

Tålegrensen er beregnet for 79 ruter i det undersøkte området og bare i 13 av disse rutene er tålegrensen definert ved både PROFILE og MAGIC modellen. Det er ingen korrelasjon mellom PROFILE og MAGIC tålegrensene for disse rutene. Den relative følsomheten, definert ved 5 følsomhetsklasser, er positivt korrelert ( $r=0.43$ ,  $p<0.01$ ,  $n=52$ ) med MAGIC-tålegrensen, men ikke signifikant korrelert med PROFILE-tålegrensen. MAGIC-tålegrensen er også signifikant korrelert ( $p<0.05$ ) med innholdet av utbyttbare basekationer, SEB, ( $r=0.46$ ), mobiliteten av basekationer ved syretilsetning,  $\Delta M \cdot \Delta H^{-1}$ , ( $r=0.33$ ) og mobiliteten av aluminium ved syretilsetning,  $\Delta Al \cdot \Delta H^{-1}$ , ( $r=-0.38$ ) i de 52 rutene hvor MAGIC-tålegrensen er definert. Den bedre overensstemmelsen mellom MAGIC-tålegrensene og parametre beregnet ved vann- og syreoppslemminger er ikke overraskende da bufringsreaksjonene ved syretilsetning gjenspeiler endel av de prosessene som modelleres i MAGIC modellen f.eks. ionebyttreaksjoner mellom  $H^+$  og  $Al^{3+}$ ,  $Ca^{2+}$  og  $Mg^{2+}$ .

Manglende sammenheng mellom PROFILE og MAGIC skyldes at modellene er basert på forskjellige prinsipper spesielt når det gjelder forvitring og i måten å betrakte jordprofilene på. Som nevnt er forvittringsparameteren for MAGIC basert på vanndata over et større område (12x12 km) samt jorddata (hele profilet) fra den samme ruta, og

representerer dermed gjennomsnittlig forvitring over et større område. PROFILE modellen beregner forvitringen for et bestemt profil ned til 50 cm. Dette kan også forklare forskjellen i tålegrenser spesielt for de østlige delene av Sør-Norge hvor tålegrensen beregnet for PROFILE er lavere enn for MAGIC. Et gjennomsnittlig tykkere jordsmonn enn 50 cm vil føre til at MAGIC beregner en høyere forvitring enn PROFILE. Se forøvrig Frogner *et al.* (1992) for nærmere drøfting av forskjeller/likheter i PROFILE og MAGIC modellene.

Den lokale variasjonen i jordas kjemiske egenskaper er stor. Parametrene SEB, Fa3,  $\Delta M \cdot \Delta H^{-1}$  og  $\Delta A1 \cdot \Delta H^{-1}$  for de 79 rutene hvor tålegrensene er definert (Figur 17 a-d), gir ikke noe regionalt mønster, til det er prøveantallet for lite. Kartene som viser den regionale fordelingen for disse parametrene (Figur 10) viser at det til tross for stor lokal variasjon er det regionale mønstre i området. Variasjonen i geokjemiske egenskaper er av fraktal karakter (Bølviken, 1992) noe som innebærer at f.eks. geokjemiske variasjoner er likeartede enten de betraktes innen et lite begrenset område eller over store regioner. Det er likevel avgjørende at prøvetettheten er stor nok til at den geokjemiske variasjonen lokalt gjenspeiles av de prøveflatene/profilene som er prøvetatt. Skal tålegrenser eller relativ følsomhet for effekter av sur nedbør bestemmes regionalt, må prøvetettheten være tilstrekkelig stor. Dette gjelder spesielt tålegrenser beregnet ved PROFILE modellen hvor det er kun forvitringen i prøvetakingspunktet som gjenspeiles. Det er derfor nødvendig å bestemme forvittringshasigheten i et større antall punkter enn tilfellet er idag for bestemmelse av tålegrensene med PROFILE modellen.

## 9. KONKLUSJONER

- oppslemminger av jordprøver i vann og fortynnet svovelsyre (pH 3 og pH 4) informasjon om de kjemiske forholdene i jorda og hvordan jorda reagerer ved syretilsetning. Den relative følsomheten for effekter av sur nedbør kan bestemme disse oppslemmingene.

- parametrene  $\Delta M \cdot \Delta H^{-1}$  og  $\Delta Al \cdot \Delta H^{-1}$  som beskriver hhv. utvaskingen av basekationer og aluminium ved syretilsetning, synes å være mer nyttige i vurderingen av skadelige effekter av sur nedbør enn  $Fa_3$ , som uttrykker hvor mye av tilsatt syre som ikke har reagert med jorda (buffereffekt).

- den regionale variasjonen i parametrene  $\Delta M \cdot \Delta H^{-1}$  og  $\Delta Al \cdot \Delta H^{-1}$  indikerer hvilke buftringssystemer som dominerer i jordprofilene i ulike regioner. Den relative følsomheten for effekter av forhøyde konsentrasjoner av aluminium i jordvæska er størst i Agder-fylkene og i deler av Telemark, Buskerud og Østfold. De mest følsomme områdene for effekter av basekationutvasking er områder med et middels innhold av utbyttbare basekationer og høy  $\Delta M \cdot \Delta H^{-1}$ . Dette gjelder i hovedsak de sørlige delene av Aust-Agder og Telemark og de nordlige delene av Akershus.

- forholdene  $H/(Ca+Mg)$  og  $(Ca+Mg)/Al$  (mol/mol) i vannopslemmingene viser regionale variasjoner i O+LFH- og B-sjiktet som faller sammen med områder hvor overflatevann inneholder relativt høye konsentrasjoner av labilt aluminium,  $H^+$  og  $SO_4^{2-}$ . Disse områdene (Agder-fylkene og Telemark) har idag sterkt reduserte fiskebestander.

- det er store lokale variasjoner i de kjemiske egenskapene i jordprofilene og det er derfor viktig at prøvetettheten er stor nok til at prøvene gjenspeiler de ulike jordbunnskjemiske typene i et definert område.

- tålegrensene beregnet med PROFILE modellen viser ingen samvariasjon med kjente geologiske mønstre og viser heller ingen sammenheng med data fra 1000 sjøers undersøkelsen (fiskedød, innhold av Ca, Mg og labilt Al i overflatevann). MAGIC modellen beregner de laveste tålegrensene i Agderfylkene og Telemark hvor de største skadene av sur nedbør på fiskebestanden er observert.

- MAGIC tålegrensene er signifikant korrelert med relative følsomhet basert på 5 følsomhetsklasser, innholdet av utbyttbare basekationer i jordprofilet (SEB), mobiliteten av basekationer ved syrepåvirkning ( $\Delta M \cdot \Delta H^{-1}$ ) og mobiliteten av aluminium ( $\Delta Al \cdot \Delta H^{-1}$ )

beregnet fra vann og syreoppslemminger. Dette er ikke tilfelle for PROFILE tålegrensene.

-det er store variasjoner i tålegrenser (spesielt PROFILE tålegrenser) og relativ forsuringsfølsomhet innenfor relativt små områder. Dette viser at prøvetettheten er av stor betydning for tolkning og pålitelighet av tålegrensekart beregnet ved PROFILE modellen. Da forvitringen beregnet ved PROFILE representerer bare det ene profilet og variasjonen i profilers kjemiske egenskaper er stor, bør forvittringshastigheten beregnes i langt flere profiler enn tilfellet er idag. Forvittringshastigheten som er brukt i MAGIC modellen representerer som nevnt gjennomsnittlig forvittringshastighet innenfor 12x12 km ruter og tålegrensene beregnet ved MAGIC gir en bedre regional dekning enn tålegrensene beregnet ved PROFILE.

-det er nødvendig å beregne forvittringshastigheten i flere profiler enn tilfellet er idag om tålegrenser beregnet ved PROFILE modellen skal være representative for de regionene som ønskes kartlagt.

## 10. REFERANSER

AMUNDSEN, C.E. 1991. Sammenligning av parametre for å bestemme forsurningsfølsomheten i jord. Fagrapport nr.20. NGU-rapport 91.265, 60s., Norges geologiske undersøkelse, P.b. 3006 - Lade, 7002 Trondheim.

BØLVIKEN, B., OTTESEN, R.T. & VOLDEN, T. 1988. Naturlig motstand mot forsuring. En type temakart. *Naturen* **4**, s.147-149.

BØLVIKEN, B., NILSEN, R. & VOLDEN, T. 1990. Forsurningsstatus, forsurningsfølsomhet og lettløselige basekationer i naturlig jordsmonn, Sør-Norge. Fagrapport nr. 4/89, NGU-rapport 90.156, Bind I - Tekst, 32s. Norges geologiske Undersøkelse, P.b. 3006 - Lade, 7002 Trondheim.

BØLVIKEN, B., STOKKE, P.R., FEDER, J. & JØSSANG, T. 1992. The fractal nature of geochemical landscapes. *Journal of Geochemical Exploration* **43**, s.91.109.

COSBY, B.J., HORNBERGER, G.M. & GALLOWAY, J.N. 1985a. Modelling the effects of acid deposition: assessment of a lumped parameter model of soil water and stream water chemistry. *Water Resources Research*, **21**, s.51-63

COSBY, B.J., WRIGHT, R.F., HORNBERGER, G.M. & GALLOWAY, J.N. 1985b. Modelling the effects of acid deposition: estimation of long-term water quality responses in a small forested catchment. *Water Resources Research*, **21**, s.1591-1601.

ESSER, J.M. & NYBORG, Å. 1992. Jordsmonn i barskog - en oversikt for Norge. Rapport nr. 3/92. Norsk institutt for jord- og skogkartlegging, P.b. 115, 1430 Ås. ISBN 82-7464-034-9.

FROGNER, T., WRIGHT, R.F., HÅØYA, A.-O., COSBY, J.B., RUDI, G. & ESSER, J. 1992. Map of critical loads (sulfur) for coniferous forest soils in Norway. Fagrapport nr. 33. Norsk institutt for skogforskning, 1430 Ås

GRØNLUND, A. & SOLBAKKEN, E. 1987. Jordsmonnkartlegging. Norsk institutt for jord- og skogkartlegging, 52s.

HENRIKSEN, A., LIEN, L., TRAAEN, T.S. & SEVALDRUD, I.H. 1987. 1000 sjøers undersøkelsen 1986. Statlig program for forurensningsovervåking, rapport 282/87, SFT. 31s.

HENRIKSEN, A., LIEN, L., TRAAEN, T.S., SEVALDRUD, I.S. & BRAKKE, D.F. 1989. Lake acidification in Norway - present and predicted chemical status. *Ambio* 17, s.259-266.

JOHNSON, D.W. 1981 Effects of acid precipitation on elemental transport from terrestrial to aquatic ecosystems. In *Beyond the Energy Crisis: Opportunity and Challenge* (eds. R.A. Fazzolare and C.Smith), s.539-545, Pergamon Press, New York

MCFEE, W.W. 1980. Sensitivity of soil regions to acid precipitation. U.S. Environmental Protection Agency, Corvallis, Oregon 97330, USEPA-600/3-80-013.

MCFEE, W.W. 1983. Sensitivity ratings of soils to acid deposition: a review. *Environmental and Experimental Botany* 23, s.203-210.

OGNER, G., OPEM, M. REMEDIOS, G., SJØTVEIT, G. & SØRLIE, B. 1991. The chemical analysis program of the Norwegian Forest Research Institute. P.b. 61, Ås-NLH, Norge, 21s. (ISBN 82-7169-485-5).

OVERREIN, L.N., SEIP, H.M. & TOLLAN, A. 1980. *Acid precipitation-effects on forest and fish*. Sluttrapport SNSF prosjektet 1972-1980, 175s., Oslo-Ås.

PETERSEN, L. 1986. Effects of acid deposition on soil and sensitivity of the soil to acidification. *Experientia* 42, s.340-344.

REUSS, J.O. & JOHNSON, D.W. 1986. *Acid deposition and the acidification of soils and waters*. Ecological Studies 59, Springer-Verlag, New York.

RØRÅ, A., KVAMME, H., LARSSON, J.Y., NYBORG, Å. & ØKLAND, T. 1988. Program: Overvåking av skogens sunnhetstilstand. Norsk institutt for jord- og skogkartlegging, 23s.

SEIP, H.M. 1981. Mechanisms of surface water acidification. In *Beyond the Energy Crisis: Opportunity and Challenge* (eds. R.A.Fazzolare & C.Smith), s.651-667. Pergamon Press, New York.



SVERDRUP, H., DE VRIES, W. & HENRIKSEN, A. 1990. *Mapping critical loads*. Miljørapport 1990:14. Nordisk Ministerråd, København - NORD 1990:98. 125s.

SVERDRUP, H., WARFINGE, P., FROGNER, T., HÅØYA, A.O., JOHANSSON, M. & ANDERSEN, B. 1992. Critical loads for forest soils in the Nordic countries. *Ambio* **21**, s.348-355.

WARFINGE, P. & SVERDRUP, H. 1992. Calculating critical loads of acid deposition with PROFILE - a steady-state soil chemistry model. *Water, Air and Soil Pollution* **63**, s.119-143

WIKLANDER, L. 1980. The sensitivity of soils to acid precipitation. In *Effects of Acid Precipitation on Terrestrial Ecosystems* (eds. T.C. Hutchinson and M. Havas), s.553-567, Plenum Press, New York

WIKLANDER, L. & ANDERSSON, A. 1972. The replacing efficiency of hydrogen ion in relation to base saturation and pH. *Geoderma* **7**, s.159-165.

## Naturens tålegrenser - Oversikt over utgitte rapporter

- 1 Nygaard, P. H., 1989. Forurensningers effekt på naturlig vegetasjon en litteraturstudie. Norsk institutt for skogforskning (NISK), Ås.
- Uten nr. Jaworovski, Z., 1989. Pollution of the Norwegian Arctic: A review. Norsk polarinstitutt (NP), rapportserie nr. 55. Oslo
- 2 Henriksen, A., L. Lien & T. S. Traaen, 1990. Tålegrenser for overflatevann. Kjemiske kriterier for tilførsler av sterke syrer. Norsk institutt for vannforskning (NIVA). Rapport O-89210.
- 3 Lien, L., A. Henriksen, G. Raddum & A. Fjellheim, 1989. Tålegrenser for overflatevann. Fisk og evertebrater. Foreløpige vurderinger og videre planer. Norsk institutt for vannforskning (NIVA). Rapport O-89185.
- 4 Bølviken, B. & medarbeidere, 1990. Jordforsuringsstatus og forsuringsfølsomhet i naturlig jord i Norge. Norges geologiske undersøkelse (NGU). NGU-rapport 90.156. 2 bind (Bind I: Tekst, Bind II Vedlegg og bilag).
- 5 Pedersen, H. C. & S. Nybø, 1990. Effekter av langtransporterte forurensninger på terrestriske dyr i Norge. En statusrapport med vekt på SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> og tungmetaller. Norsk institutt for naturforskning (NINA), utredning 005.
- 6 Frisvoll, A. A., 1990. Moseskader i skog i Sør-Norge. Norsk institutt for naturforskning (NINA), oppdragsmelding 018.
- 7 Muniz, I. P. & K. Aagaard, 1990. Effekter av langtransportert forurensning på ferskvannsdyr i Norge - virkninger av en del sporelementer og aluminium. Norsk institutt for naturforskning (NINA), utredning 013.
- 8 Hesthagen, T., H. Mack Berger & L. Kvenild, 1992. Fiskestatus i relasjon til forurensning av innsjøer. Norsk institutt for naturforskning (NINA), forskningsrapport 032.
- 9 Pedersen, U., S. E. Walker & A. Kibsgaard, 1990. Kart over atmosfærisk avsetning av svovel- og nitrogenforbindelser i Norge. Norsk institutt for luftforskning (NILU), OR:28/90.
- 10 Pedersen, U. 1990. Ozonkonsentrasjoner i Norge. Norsk institutt for luftforskning (NILU), OR:28/90.
- 11 Wright, R. F., A. Stuanes, J. O. Reuss & M. B. Flaten, 1990. Critical loads for soils in Norway. Preliminary assessment based on data from 9 calibrated catchments. Norsk institutt for vannforskning (NIVA), rapport O-89153.
- 11b Reuss, J. O., 1990. Critical loads for soils in Norway. Analysis of soils data from eight Norwegian catchments. Norsk institutt for vannforskning (NIVA), rapport O-89153.
- 12 Arundsen, C. E., 1990. Bufferprosent som parameter for kartlegging av forurensningsfølsomhet i naturlig jord. Universitetet i Trondheim, AVH (stensil).
- 13 Flatberg, K. I., B. Foss, A. Løken & S. M. Saastad, 1990. Moseskader i barskog. Direktoratet for naturforvaltning (DN), notat (under trykking)
- 14 Frisvoll, A. A., & Flatberg, K.I., 1990. Moseskader i Sør-Varanger. Norsk institutt for naturforskning (NINA) Oppdragsmeld. 55.
- 15 Flatberg, K.I., Bakken, S., Frisvoll, A.A., & Odasz, A.M. 1990. Moser og luftforurensninger. Norsk institutt for naturforskning (NINA) Oppdragsmeld. 69.
- 16 Mortensen, L.M. Ozonforurensning og effekter på vegetasjonen i Norge. Norsk landbruksforsk. 5:235-264.

- 17 Wright, R.F., Stuanes, A.O. & Frogner, T. Critical Loads for Soils in Norway Nordmoen. Norsk institutt for vannforskning (NIVA). Rapport O-89153.
- 18 Pedersen, H.C., Nygård, T., Myklebust, I. og Sæther, M. 1991. Metallbelastninger i lirype. Norsk institutt for naturforskning (NINA) Oppdragsmeld. 71.
- 19 Lien, L., Raddum, G.G. & Fjellheim, A. 1991. Tålegrenser for overflatevann evertebrater og fisk. Norsk institutt for vannforskning (NIVA) Rapport O-89185,2.
- 20 Amundsen, Carl Einar. 1992. Sammenligning av parametre for å bestemme forsurningsfølsomhet i jord. NGU-rapport 91.265.
- 21 Bølviken, B., R. Nilsen, J. Romundstad & O. Wolden. 1992. Surhet, forsurningsfølsomhet og lettløselige baeskationer i naturlig jord fra Nord-Trøndelag og sammenligning med tilsvarende data fra Sør Norge. NGU-rapport 91.250.
- 22 Sivertsen, T. & medarbeidere. 1992. Opptak av tungmetaller i dyr i Sør-Varanger. Direktoratet for naturforvaltning, DN-notat 1991-15. 53s.
- 23 Lien, L., Raddum, G.G. & A. Fjellheim. 1992. Critical loads of acidity to freshwater. Fish and invertebrates. Norwegian Institute for Water Research (NIVA), rapport O-89185,3
- 24 Fremstad, E. 1992. Virkninger av nitrogen på heivegetasjon. En litteraturstudie. Norsk institutt for naturforskning (NINA) Oppdragsmeld. 124.
- 25 Fremstad, E. 1992. Heivegetasjon i Norge, utbredelseskart. Norsk institutt for naturforskning (NINA) Oppdragsmeld. (i trykk)
- 26 Flatberg, K.I. & Frisvoll, A. 1992. Undersøkelser av skader hos to sigdmoser i Agder. Norsk institutt for naturforskning (NINA) Oppdragsmeld. 134
- 27 Lindstrøm, E.A.1992. Tålegrenser for overflatevann. Fastsittende alger. Norsk institutt for vannforskning (NIVA). O-90137/E-90440, rapport-2 (i trykk)
- 28 Brettum, P. 1992. Tålegrenser for overflatevann. Planteplankton. Norsk institutt for vannforskning (NIVA). O-90137/E-90440, rapport-3 (i trykk)
- 29 Brandrud, T.E., Mjelde, M. 1992. Tålegrenser for overflatevann. Makrovegetasjon. Norsk institutt for vannforskning (NIVA). O-90137/E-90440, rapport-1 (i trykk)
- 30 Mortensen, L.M. & Nilsen, J. 1992. Effects of ozone and temperature on growth of several wild plant species. Norwegian Journal of Agricultural Sciences 6:195-204.
- 31 Pedersen, H.C., Myklebust, I., Nygård, T. & Sæther, M. 1992. Akkumulering og effekter av kadmium i lirype. Norsk institutt for naturforskning (NINA), oppdragsmelding 152.
- 32 Amundsen, C.E. 1992. Sammenligning av relativ forsurningsfølsomhet med tålegrenser beregnet med modeller, i jord. Norges geologiske undersøkelse. NGU-rapport 92.294.

Henvendelser vedrørende rapportene rettes til utførende institusjon