

Rapport nr. 90.156		ISSN 0800-3416		Åpen/ Fortrolig til XXXXXX	
Tittel: Forsuringsstatus, forsuringsfølsomhet og lettløselige basekationer i naturlig jordsmonn, Sør-Norge. BIND I - Tekst.					
Forfatter: B. Bølviken og medarbeidere, se baksiden.			Oppdragsgiver: Miljøverndepartementet og NGU		
Fylke:			Kommune:		
Kartbladnavn (M. 1:250 000)			Kartbladnr. og -navn (M. 1:50 000)		
Forekomstens navn og koordinater:			Sidetall: 32		Pris: 90,-
Feltarbeid utført: NIJOS, 1988			Rapportdato: 15. desember 1990		Prosjektnr.: 63.2484.00
Seksjonssjef:					
Sammendrag: Råhumus (A _o , 285 prøver), humus (Ah, 107 prøver), blekjord (Ae, 112 prøver), utfellingslag (B, 227 prøver) og undergrunn (C, 50 prøver) ble samlet inn fra 70.000 km ² i Sør Norge. Fraksjonen mindre enn 2 mm ble slemmet opp i vann og 3 fortyninger av svovelsyre (0.00001N, 0.0001N og 0.001N). Forsuringsstatus (pH i vannoppslemming), følsomhet for pH endring fra vannoppslemming til hver av de 3 syreoppslemminger og innhold av Mg, Ca, Na og K i oppslemmingene ble bestemt. Resultatene er rapportert som (1) statistiske parametre for gjennomsnitt og spredning, (2) korrelasjonskoeffisienter mellom målte og avledede data og (3) geokjemiske kart. De målte og beregnede parametre varierer på en systematisk måte. Resultatene indikerer at sur nedbør i visse områder kan føre til en skadelig økning i utvasking av Mg fra de øvre jordsjikt. Det anbefales å videreføre undersøkelsene ved (1) ytterligere bearbeiding av eksisterende data, (2) gjennomføring av flere typer kjemiske analyser av de innsamlede prøver og (3) gjentagelse av undersøkelsen i et område som er mindre påvirket av sur nedbør.					
Emneord Fagrapport		Kjemisk analyse		Geokjemi	
Jord		Magnesium		Kalsium	
Natrium		Kalium		pH	

Følgende personer fra Norsk Institutt for Jord og Skogkartlegging (NIJOS) og Norges geologiske undersøkelse (NGU) har deltatt i undersøkelsen:

Prøvetaking: Prosjekt: "Overvåking av Skogens Sunnhetstilstand" ved Arne Rørå, og Åge Nyborg

Analysering og/eller karttegning: Liv Anita Botngård, Kirsti Buvarp, Jørgen Ekremsæter, Eli Høibråten, Ann Elisabeth Karlsen, Henry Kalvøy, Unni Lysholm, Åse Rønningen, Bård Søberg, Odd Wolden, Magne Ødegård, NGU

Statistisk bearbeiding og rapportering: Bjørn Bølviken, Rolf Nilsen, Tore Volden, NGU

BIND I

	Side
SAMMENDRAG	1
ENGLISH SUMMARY	7
INNLEDNING	8
DEFINISJONER	10
PRØVEMATERIALE, AREAL OG METODIKK	11
- Prøvemateriale	11
- Areal	11
- Prøvebehandling og analysemetodikk	11
- Kvalitetskontroll	12
- Dokumentasjon av resultater	12
- Statistiske parametre	12
- Samvariasjoner og korrelasjoner	12
- Geokjemiske kart	13
RESULTATER (GJENNOMSNITTSVERDIER OG FORDELING)	15
- Forsuringsstatus	15
- Gjennomsnittsverdier	15
- Geografisk fordeling	15
- Følsomhet for forsuring	15
- Gjennomsnittsverdier	15
- Geografisk fordeling	16
- Utlutbar Ca, K, Mg og Na	16
- Gjennomsnittsverdier	16
- Geografisk fordeling	16
RESULTATER (SAMVARIASJONER)	17
- Samvariasjon mellom jordparametre	17
- Sammenligning med andre måleresultater	18
NOEN KOMMENTARER TIL RESULTATENE	27
- Variasjon mot dypet	27
- Samvariasjoner	28
OPPSUMMERING AV RESULTATER OG KOMMENTARER	29
- Forsuringsstatus	29
- Følsomhet for forsuring	29
- Innhold av lett løselig Ca, K, Mg og Na	30
HOVEDKONKLUSJON	31
ANBEFALINGER	31
REFERANSER OG HENVISNINGER	32

FIGURER

	Side
Figur 1. Jordprofil med prøvetatte sjikt	11
Figur 2. Innsamling av jordprøver utført av NIJOS sommeren 1989.	13
Figur 3. Berggrunnsgeologisk kart	14
Figur 4. Eksempel på diagram for reproduserbarheten av jordanalyser.	13
Figur 5. pH i vannoppslemminger av råhumus (A_0).	19
Figur 6. Følsomhet for forsuring $F_A = (100 \cdot [H^+]/[H^+]_r)$, i råhumus (A_0)	19
Figur 7. Vannløselig Mg i råhumus (A_0) (løpende median)	19
Figur 8. Vannløselig Ca i råhumus (A_0) (løpende median).	19
Figur 9. Vannløselig Na i råhumus (A_0) (løpende median).	19
Figur 10. Vannløselig K i råhumus (A_0) (løpende median).	19
Figur 11. Aritmetisk middel av pH i ulike sjikt av jordprofiler, Sør Norge	20
Figur 12. Følsomhet for forsuring $F_A = (100 \cdot [H^+]/[H^+]_r)$, Sør Norge	20
Figur 13. Vannløselig Mg i jordprøver, Sør Norge	20
Figur 14. Vannløselig Ca i jordprøver, Sør Norge	20
Figur 15. Vannløselig Na i jordprøver, Sør Norge	20
Figur 16. Vannløselig K i jordprøver, Sør Norge	20
Figur 17. Relativ økning i utløst Mg^{++} fra vann oppslemming til syreoppslemming av jordprøver	21
Figur 18. Samvariasjon mellom pH i vannoppslemming og forsuringfølsomhet	22

TABELLER

	Side
Tabell 1. Jordprøver fra Sør-Norge innsamlet av NIJOS sommeren 1988.	23
Tabell 2. Innveining, syrestyrke og syremengder brukt ved vann og syreekstraksjon av jordprøver.	23
Tabell 3. Gjennomsnitts- og variasjonsbredde for pH i vann og syreoppslemminger.	23
Tabell 4. pH i jordprøver oppslemmet i vann og fortynnede syrer normalisert mot pH i vannoppslemming.	23
Tabell 5. pH i vann og syreoppslemminger av jordprøver fra 18 profiler	23
Tabell 6. pH i vann og syreoppslemminger av jordprøver fra 18 utvalgte profiler .	23
Tabell 7. Forsuringfølsomhet, F_A	23
Tabell 8. Relativ følsomhet for forsuring, F_R ,	24
Tabell 9. Følsomhet for forsuring F_A (%), 18 utvalgte profiler	24
Tabell 10. Relativ forsuringfølsomhet (F_R %), 18 utvalgte profiler	24
Tabell 11. Vann og syreekstraherbart Mg	24
Tabell 12. Vann og syreekstraherbart Ca	24
Tabell 13. Vann og syreekstraherbart Na	24
Tabell 14. Vann og syreekstraherbart K	24
Tabell 15. Vann og syreekstraherbart Mg, 18 profiler	24
Tabell 16. Vann og syreekstraherbart Ca, 18 profiler	25
Tabell 17. Vann og syreekstraherbart Na, 18 profiler	25
Tabell 18. Vann og syreekstraherbart K, 18 profiler	25
Tabell 19. Gjennomsnittsverdier for syreløselig Ca, K, Mg og Na	25
Tabell 20. Ca, K, Mg og Na i prøver fra ulike sjikt i 18 jordprofiler normalisert mot innholdet i undergrunnsprøvene	25
Tabell 21. Korrelasjonskoeffisienter mellom pH i vannoppslemming og pH i syreoppslemming.	25
Tabell 22. Korrelasjonskoeffisienter mellom jordprøvenes forsuringstatus og deres følsomhet for forsuring	26
Tabell 23. Korrelasjonskoeffisienter mellom vannløselige grunnstoffer og de samme grunnstoffer løselige i 0.0001N H_2SO_4	26
Tabell 24. Korrelasjonskoeffisienter mellom jordprøvenes forsuringstatus og Ca, K, Mg og Na i vannoppslemming.	26
Tabell 25. Korrelasjonskoeffisienter mellom relativ forsuringfølsomhet (F_R) ved og mengder Mg, Ca, Na og K	26
Tabell 26. Korrelasjonskoeffisienter mellom relativ forsuringfølsomhet (F_R) ved og relativ økning i utløst Mg, Ca, Na og K	26
Tabell 27. Korrelasjonskoeffisienter mellom innhold av grunnstoffer i vannekstrakt	26
Tabell 28. Elementvise korrelasjonskoeffisienter mellom vannløselig Ca, K, Mg og Na og relativ økning i utløst Ca, K, Mg og Na	26

INNHOOLD B I N D II

VEDLEGG 1-5	Diagram for reproduserbarhet.
VEDLEGG 6	Analyseresultater, råverdier.
VEDLEGG 7.	Statistiske parametre.
VEDLEGG 8-117	Geokjemiske kart, punktkart i svart/hvitt.
VEDLEGG 118-123	Tabeller over sammenligninger med andre temakart.
VEDLEGG 124	Frekvensfordelingsdiagrammer.
VEDLEGG 125	Prøvenummerkart.
KARTBILAG 1-32	Geokjemiske kart, løpende median i farver.

ENGLISH SUMMARY

During the field season 1988, the Norwegian Institute of Land Inventory (NIJOS) described and sampled 285 soil profiles within a 70,000 km² area in Southern Norway. The samples were taken from the raw humus layer (A₀, 285 samples), an A-horizon enriched in organic matter (Ah, 107 samples), the bleached layer (Ae, 112 samples), the enrichment layer (B, 227 samples), and the soil parent material (C, 50 samples). The collected material was air dried, and fractions with grain size less than 2 mm were sent to the Geological Survey of Norway (NGU) for chemical analysis. One gram of each sample was suspended respectively in water, 0.00001N H₂SO₄ (pH 5), 0.0001N H₂SO₄ (pH 4) and 0.001N H₂SO₄ (pH 3) for 20 hours. The suspensions were then filtered and the contents of H⁺ (pH), Mg⁺⁺, Ca⁺⁺, Na⁺ and K⁺ were determined in the filtrates. The sensitivity to acidification was calculated as follows:

- (1) Sensitivity $F_A = \frac{([H^+]_{\text{Acidified suspension}} - [H^+]_{\text{Water suspension}})/[H^+]_{\text{Added acid}}}{[H^+]_{\text{Acidified susp.}} - [H^+]_{\text{Water susp.}}}/[H^+]_{\text{Water susp.}}$
- (2) Relative sensitivity $F_R = \frac{([H^+]_{\text{Acidified susp.}} - [H^+]_{\text{Water susp.}})/[H^+]_{\text{Water susp.}}}{[H^+]_{\text{Acidified susp.}} - [H^+]_{\text{Water susp.}}}$

Here [H⁺] indicates H⁺ concentration in mol/l.

Parameters analogous to F_R were also calculated for magnesium by exchanging [H⁺] for [Mg⁺⁺] in equation (2). The data for water and 0.0001N H₂SO₄ (pH 4) are the most interesting since these simulate most closely the overall effects, respectively, of the actual and a slightly more acid rain on soils. The analytical results and their derivatives are reported as (1) statistics for mean and deviations, (2) correlation coefficients between measured and calculated parameters, and (3) geochemical maps.

18 profiles with complete sets of the 4 horizons A₀, Ae, B and C (altogether 72 samples) show that the average pH in water suspensions increases regularly from 4.03 in the A₀ horizon to 5.12 in the C horizon. Corresponding pH values for all samples (altogether 781 samples) are 4.18-5.05.

Except for the Ah and Ae horizons, the average pH increases from water-suspension to 0.00001N acid suspensions, producing negative values for the acidification parameters (F_A and F_R). This indicates that acid rain with a pH of 5 should have little or no harmful effects on the soil. For the other acid dilutions the average sensitivity to acidification is positive for all horizons, highest for the bleached horizon (Ae) and strongest acids ($F_A=18.2-46.6\%$) and lowest for the enrichment layer (B) and weakest acids ($F_A=2.1-4.6\%$).

The contents of water and acid soluble Mg, Ca, Na and K are significantly greater in the raw humus than in the other horizons. For samples from the 18 complete profiles suspended in water and the three acids, respectively, the average enrichment factors between the contents in the A₀ and the C horizons vary as follows: 7.0-27 for Mg, 10-13 for Ca, 9.5-10 for Na, and 33-48 for K. The contents of extractable Mg, Ca, Na and K increase with the strength of the acid, most for Mg and Ca. For Mg the increase is most pronounced in the upper soil horizons, while for Ca the increase is greater in the parent material than in the humic horizons. In the humic layers the Mg increase is greatest at locations where the contents of water soluble Mg are low. There is a positive correlation between pH in water and the contents of dissolved Ca. For the other elements this type of correlation is lacking or negative. For 0.0001N H₂SO₄ there are no correlations between the relative sensitivity to acidification (F_R) and the amounts of Mg, Ca, Na and K extractable in the acid.

These features indicate that (1) considerable parts of the easily extractable Mg, Na and K in the soil are probably present as salts of marine origin, while Ca seems to be more a weathering product; and (2) ions other than those of Mg, Ca, Na and K take part in the neutralizing processes. Of particular interest in this connection are: OH⁻, Al⁺⁺⁺, Fe⁺⁺ and Mn⁺⁺. Varying contents of organic matter and sea salts, differences in grain size distributions, coatings of secondary minerals on the grains and possible

precipitation of insoluble compounds in the acidified soil suspensions are factors that complicate the above interpretations.

The geochemical maps show that all the measured and calculated parameters vary geographically in a systematic way. The pH in water suspensions of raw humus tends to depict north-south striking structures, while the sensitivity to acidification seems to be lower in the inland than along the coast. The contents of easily extractable Mg and Ca are relatively high in the eastern parts of the survey area as compared to the southwestern parts. The contents of easily extractable Na are highest in areas of low altitude, while those for K depict an irregular pattern. There are certain similarities between the geochemical distribution patterns obtained in the soil samples and those earlier obtained for the same elements by more rigorous chemical attacks on overbank sediment. For other themes such as bedrock geology, Quaternary geology, precipitation etc. there are no covariations sufficiently striking to be easily detectable by visual comparison of the geochemical and the actual thematic maps.

The results indicate that in certain areas acid rain can cause harmful removal of Mg from the upper soil horizons. This removal seems to be most pronounced at locations where the contents of water soluble Mg

in the soil are low, and it is indicated that in such areas repeated supply of Mg poor acid rain will probably lead to a temporary increase in plant available Mg, followed by an accelerating degree of deficiency. These conclusions agree with experimental results obtained by Abrahamsen et al. (1987) after adding acid rain artificially to certain field localities.

It is recommended the investigations be continued by (1) interpretation of the obtained data in view of other existing data such as values for exchangeable cations, degree of base saturation etc. (2) additional chemical analysis of the samples, including determination of the contents of organic matter, and of sensitivity to pH changes by bases (lime requirement), and (3) performing a similar survey in an area less influenced by acid rain.

Reference to the English Summary

Abrahamsen, G., Tveite, B. and Stuanes, A.O., 1987. Wet acid deposition effects on soil properties in relation to forest growth. Experimental results. In: Lavender, D.P. (ed). Woody plant growth in changing and physical environment. Proceedings of the Workshop of IUFRO Working Party on Shoot Growth Physiology, Vancouver, Canada, 189-197.

INNLEDNING

Norges geologiske undersøkelse (NGU) utarbeidet i 1986 prøvekart for Nordland og Troms over variasjoner i jordas naturlige surhet og evne til å motstå pH-endringer ved syrepåvirkning (Bølviken et al., 1988, 1990). Kartene viser at det er regionale variasjoner i løsmassenes forsuringstatus og forsuringfølsomhet. Fordelingsmønstrene kan ikke uten videre forutsies ved tolkning av geologiske eller andre tematiske kart.

Prøvekartet ble presentert for Miljøverndepartementet (MD) våren 1988, som ba NGU om å utarbeide en plan for slik kartlegging av hele landet. Planen ble levert MD i august 1988 og derfra videresendt til prosjektet "Naturens tålegrenser". Arbeidsgruppen i dette prosjektet ønsket endel justeringer av planen, og NGU leverte en revidert plan i juli 1989 (NGU, 1989). I brev av 2. august 1989 fra Direktoratet for naturforvaltning (DN) fikk NGU i oppdrag å gjennomføre et prosjekt for kartlegging av forsuringstatus og forsuringfølsomhet i naturlig jordsmonn i Norge (DN, 1989). Målingene skulle utføres på prøver innsamlet fra Sør-Norge av Norsk institutt for jord- og skogforskning (NIJOS) 1988. NGU forpliktet seg til å:

- bestemme pH i 4 oppslemminger, bestående av:
 - prøve og vann
 - prøve og 0.00001N svovelsyre (pH 5)
 - prøve og 0.0001N svovelsyre (pH 4)
 - prøve og 0.001N svovelsyre (pH 3)
- beregne forsuringfølsomhet basert på pH-målingene
- bestemme de mengder av kalsium, magnesium, kalium og natrium som ble løst ut fra prøvene i de forskjellige oppslemmingsvæsker
- kartfremstille og rapportere resultatene fra målingene

DN ber i sitt tildelingsbrev om at NGUs resultater blir vurdert i forhold til andre relevante jordparametre som er/eller vil bli fremskaffet av NIJOS. Dette har ikke vært mulig, fordi analyseresultatene fra Landbrukets Analysesenter ennå ikke har vært tilgjengelige.

I denne rapporten legger NGU frem måledata for forsuringstatus (pH), beregnede parametre for pH-endringer fra vann til syreopslemminger, analysedata for Ca, K, Mg og Na utlutbar med vann og syre og beregnede parametre for økningen i utlutbarhet fra vann til syre.

DEFINISJONER

Følgende definisjoner er anvendt i rapporten:

Forsuringsstatus: Jordas surhet (syre/base reaksjon) målt som pH i vannoppslemming.

Jordforsuring: Økning i jordas surhet med tiden. Økningen kan være naturlig eller antropogen.

Syrepåvirkning: Tilførsel av syre til jord fra ekstern kilde.

Følsomhet for jordforsuring: Et mål på hvor lett surheten i jord endres ved en gitt syrepåvirkning. Endringen kan uttrykkes ved (1) endring i surhet pr. tilsatt syreekvivalent (Absolutt forsuringfølsomhet F_A) eller (2) endring i surhet pr. syreekvivalent i vannoppslemming (Relativ forsuringfølsomhet F_R).

(1): Absolutt forsuringfølsomhet:
 $\% F_A = (\Delta[H^+]/[H^+]_T) \cdot 100$

eller

(2): Relativ forsuringfølsomhet:
 $\% F_R = (\Delta[H^+]/[H^+]_V) \cdot 100$

Her er:

$\Delta[H^+]$: økning i H^+ konsentrasjon påvist ved pH målinger i jordoppslemminger først i vann og deretter i syreblanding

$[H^+]_T$: H^+ konsentrasjon i tilsatt syreblanding

$[H^+]_V$: H^+ konsentrasjonen i vannoppslemming

$\Delta[H^+]$ er positiv dersom syretilsatsen fører

til en økt H^+ konsentrasjon i oppslemmingene (vanlig), og negativ dersom syretilsatsen fører til en minsket H^+ konsentrasjon i oppslemmingen (sjeldnere). Forsuringfølsomhetene F_A og F_R er empiriske og gjelder bare for en gitt innveining, syremengde, reaksjonstid og blandemåte. F_A er mest interessant ved beregning av titerkurver etter behandling med syrer av ulik styrke. F_R antas å være av størst interesse ved geografiske sammenstillinger.

H^+ konsentrasjonen i vann er vanligvis neglisjerbar i forhold til H^+ konsentrasjonen i de anvendte syreblandinger. Under slike forhold er F_A relatert til bufferprosenten B , (se Låg, 1945, 1948; Frank, 1978 og Bergseth, 1985) ved:

$$\%B = 100 - \%F_A = (1 - \Delta[H^+]/[H^+]_T) \cdot 100$$

Effekter av syrepåvirkning og jordforsuring: Økning i utluting av kationer fra vannoppslemming til syreoppslemming kan uttrykkes ved:

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

Her er:

$\Delta[Me]$: Økningen i konsentrasjonen av et kation fra vann til syreoppslemming.

$[Me]_V$: Konsentrasjonen av kationet i vannoppslemming.

Endringer i jordas kation-ombyttingskapasitet og basemetningsgrad samt endringer i forhold som fiskens og skogens sunnhetstilstand etc. regnes etter disse definisjoner også under kategorien: Mulige effekter av syrepåvirkning eller jordforsuring.

PRØVEMATERIALE, AREAL OG METODIKK

Detaljert beskrivelse av areal og prøvetaking er gitt av Grönlund og Solbakken (1987) og Rörå et al. (1988). Nedenfor følger et sammendrag.

PRØVEMATERIALE

Ulike sjikt av jordprofiler ble klassifisert og prøvetatt (Fig. 1) av NIJOS i løpet av sommeren og høsten 1988 i forbindelse med prosjektet "Overvåking av skogens sunnhetstilstand". En utsplittet del av prøvene ble sendt til NGU i Trondheim for videre undersøkelse. Tilsendt prøvemengde var normalt mellom 50 og 100 gram, men noen prøver inneholdt mindre enn 50 gram. I alt har NGU mottatt 781 prøver, se Tabell 1.

		Overflate
Råhumus A ₀	I	
Humus Ah	I	
Blekjord Ae	I	
Utfellingslag B	I	
Undergrunn C	I	Dyp

FIGUR 1. Jordprofil med prøvetatte sjikt.
I: Prøvetakingssted.

AREAL

Det prøvetatte areal er ca. 70.000 km² og dekker store deler av fylkene Aust-Agder, Akershus, Buskerud, Rogaland, Telemark, Vest-Agder, Vestfold og Østfold (Fig. 2 og 3). Prøvene er tatt under skoggrensen i et rutenett 9 km x 9 km.

PRØVEBEHANDLING OG ANALYSEMETODIKK

Prøvene ankom fra NIJOS i pappbokser i lufttørr tilstand, kornstørrelse <2mm. Analysene ved NGU ble utført på materialet slik det forelå fra NIJOS, og analyseresultatene er angitt i lufttørr prøve.

Måling av pH og konsentrasjon av oppløste kationer ble utført i oppslemminger av prøvene i destillert vann og i svovelsyre av forskjellig styrke, se Tabell 2. Dataene for vann og 0.0001 N syre er sannsynligvis de mest interessante fordi disse forsøksbetingelser best simulerer henholdsvis (1) den aktuelle situasjon i jorda og (2) hvordan forholdene vil bli ved noe surere nedbør. Ved prøvetaking vil jordvæsken være preget av nedbørens sammensetning. Væsken damper inn når prøven tørkes, men løses igjen ved vann- eller syretilsatsen.

Prøvene ble veid inn i reaksjonskaret, tilsatt vann eller syreblanding, og plassert i karusell som langsomt snudde karet opp ned gjentatte ganger i 2 timer. Prøvene fikk

deretter stå i 20 timer, før filtrering over i målekar for bestemmelse av pH. En annen porsjon av prøven ble filtrert over i et annet kar for bestemmelse av Ca, K, Mg og Na med ICP-spektrometer (Ødegård, 1981, 1983). Elementkonsentrasjonene er angitt som ekstrahert mengde fra prøven.

KVALITETSKONTROLL

Reproduserbarheten av målingene av pH og innhold av Mg, Ca, Na og K i oppslemmingene ble bestemt ved nyinnveining og analysing av 26 tilfeldig valgte humusprøver og 37 tilfeldig valgte mineraljordprøver.

Resultatene av alle dobbeltanalysene finnes som diagrammer i vedleggene 1-5 i Bind II. Et eksempel er gitt som Figur 4 i tekstbindet. Diagrammene viser at reproduserbarheten gjennomgående er god nok for formålet.

DOKUMENTASJON AV RESULTATER

Resultatene er dokumentert på tre forskjellige måter; som (1) frekvensfordelinger og statistiske parametre, dvs. gjennomsnittsverdier og spredning, (1) korrelasjonskoeffisienter og (2) geokjemiske kart.

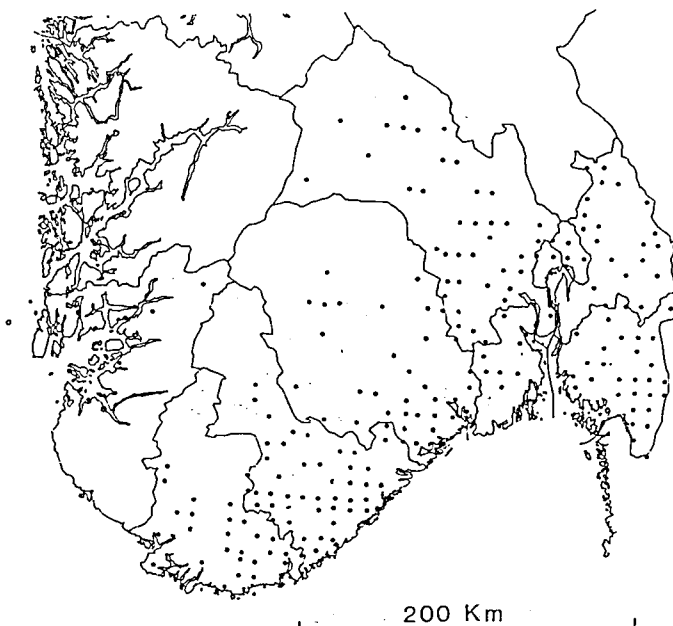
Statistiske parametre er beregnet sjiktvis for a) alle prøver og b) et utvalg av prøver fra de profiler der alle sjiktene råhumus, (A_0), blekjord (Ae), utfellingslag (B) og undergrunn (C) er representert samtidig (18

prøvestasjoner). Bare disse 18 profiler bør brukes ved sammenligning av resultater fra sjikt til sjikt, fordi de øvrige profiler er ufullstendige. I totalmaterialet har de forskjellige sjikt ulik geografisk representasjon.

For alle gjennomsnittsverdier av rådataene er det laget tabeller over normaliserte verdier for hvert sjikt. Normaliseringen er gjort på to måter: (1) For hele materialet er måleresultatet i syreoppslemming dividert med måleresultatet i vannoppslemming. (2) For de 18 utvalgte profiler er måleresultatene i henholdsvis A_0 , Ae og B sjiktene dividert med resultatet i C-sjiktet. For pH er de tilsvarende normaliseringer gjort ved subtraksjon (fordi pH er en logaritmisk funksjon).

Samvariasjoner og korrelasjoner. To typer samvariasjoner er undersøkt her:

(1) Innbyrdes samvariasjoner mellom målte og beregnede jordparametre ble studert ved korrelasjonsanalyse (Pearsons korrelasjonskoeffisient). Korrelasjonsanalysen forutsetter normalfordelte data, en betingelse som ikke alltid er oppfylt. Lognormalt fordelte data vil ofte gi for stor korrelasjonskoeffisient. Analysefeil forårsaker at de oppnådde korrelasjonskoeffisienter er mindre enn de virkelige. Særlig vil dette være fremtredende når de parametre som inngår i korrelasjonsanalysen er beregnet ut fra differenser og/eller kvotienter mellom to analyseresultater. Med så mange beregnede korrelasjonskoeffisienter som i denne rapporten, svekkes testen av enkeltkoeffisientenes signifikans. Disse forhold sammen med geografisk autokorrelasjon gjør at korrelasjonskoeffisientene ikke bør brukes ukritisk ved vurdering av samvariasjonenes betydning.

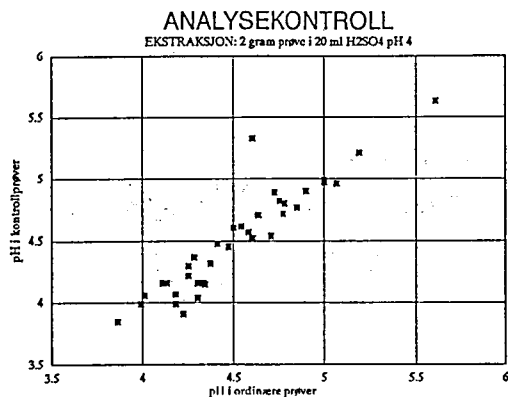


FIGUR 2. Innsamling av jordprøver utført av NIJOS sommeren 1989.

(2) Kartene over målte og beregnede jordparametre i denne undersøkelsen er sammenlignet visuelt med publiserte kart over nedbør/avrenning, fordampning, berggrunnsgeologi, kvartærgeologi, innhold av syreløselig Ca, K, Mg og Na i flomsedimenter, pH i nedbør og pH i innsjøvann. Bare data fra råhumuslaget (A_0) og utfellingslaget (B) ble brukt ved disse sammenligningene,

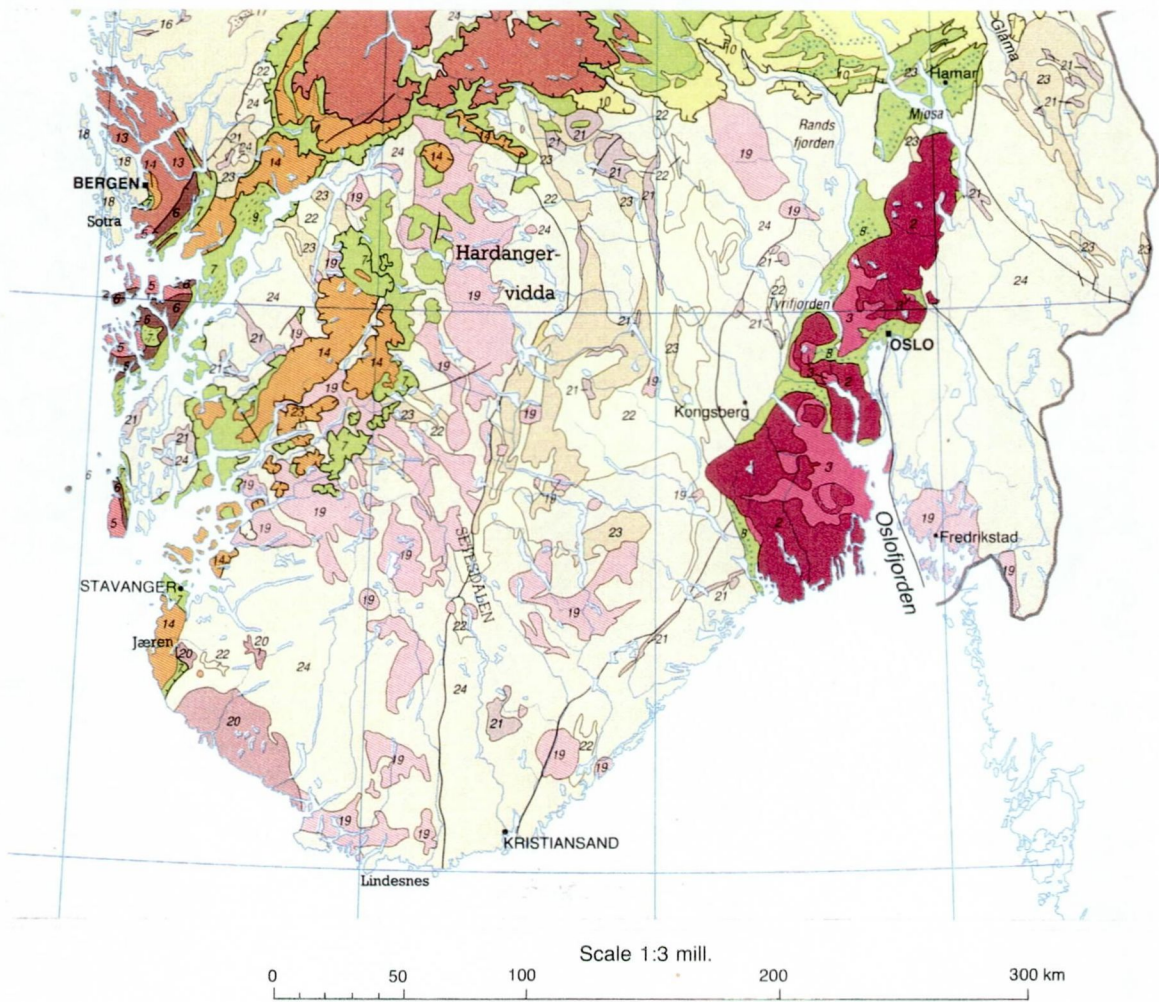
fordi prøveantallet for de andre sjiktene ble ansett å være for lave til å gi pålitelige fordelingsmønstre.

Geokjemiske kart over geografisk fordeling av måleverdiene er fremstilt som (1) punkt-kart i svart/hvitt, eller (2) kart over løpende median i farver (Bjørklund og Gustavsson, 1989). På punktkartene angir et punkt prøvens beliggenhet, og størrelsen på punktet måleverdien. Kartet over løpende median er fremstilt ved at et sirkulært vindu med diameter 40 km flyttes trinnvis over kartbladet. For hver posisjon er måleresultatenes medianverdi (50 prosentilen) innenfor vinduet beregnet. Hver medianverdi angis med en farve som plottes i vinduets sentrum. Farveskalaen går frem av tegnforklaringen. Fra Ah-, Ae- og særlig C-lagene er det for få prøver til at de geografiske mønstre for disse kan regnes noenlunde sikre. Det er derfor lagt størst vekt på fordelingsmønstrene for råhumus (A_0) og utfellingslag (B).



FIGUR 4. Eksempel på diagram for reproduserbarheten av jordanalyser. Alle diagrammer er vist i Vedleggene 1-5.

FIGUR 3. BERGGRUNNSGEOLOGISK KART (Sigmond 1985)



- | | | | |
|--|--|---|--|
| Rocks of Jurassic and Cretaceous age | | Rocks of Proterozoic age, in places Caledonized | |
| 1 | Sandstone, shale, coal | 15 | Granite to tonalite |
| Rocks of Devonian to Permian age | | 16 | Gabbro, amphibolite, anorthosite |
| 2 | Plutonic rocks (Permian age) | 17 | Metamorphosed sedimentary and volcanic rocks |
| 3 | Volcanic and sedimentary rocks (Carboniferous and Permian age) | 18 | Gneiss, migmatite, amphibolite |
| 4 | Sedimentary rocks (Devonian age) | Basement, autochthonous rocks of Precambrian age | |
| Rocks of Precambrian to Silurian age in the Caledonian mountain chain | | Plutonic rocks of Proterozoic age | |
| Plutonic rocks, mainly of Cambro-Silurian age | | 19 | Granite to tonalite |
| 5 | Granite to tonalite | 0 | Charnockitic to anorthositic rocks |
| 6 | Gabbro, diorite, ultramafic rocks | 21 | Gabbro, ultramafic rocks |
| Metamorphosed volcanic and sedimentary rocks of Precambrian to Silurian age | | Metamorphosed rocks of Proterozoic age | |
| 7 | Phyllite, mica schist, mica gneiss, metasandstone, amphibolite | 22 | Metasandstone, mica schist, conglomerate |
| 8 | Limestone, marble | 23 | Metabasalt, meta-andesite, metarhyolite |
| 9 | Metamorphosed volcanic rocks | 24 | Gneiss, migmatite, foliated granite |
| Metamorphosed sedimentary rocks of Late Precambrian age | | Metamorphosed rocks of Archaean age | |
| 10 | Metasandstone, conglomerate, in places shale | 25 | Gneiss, granite, mica schist, amphibolite |
| 11 | Limestone | Geological boundaries | |
| 12 | Sandstone, conglomerate, shale, silty mudstone (emplaced by strike-slip movement in Late Precambrian time) | — | Lithological boundaries |
| Metamorphosed rocks of Precambrian age | | — | Thrust boundary |
| 13 | Charnockitic to anorthositic rocks | — | Fault |
| 14 | Gneiss, migmatite, granite, metamorphosed volcanic and sedimentary rocks | | |

RESULTATER (GJENNOMSNITTSVERDIER OG FORDELING)

Analyseresultater for hver prøve er gitt i Vedlegg 6. Frekvensfordelinger og gjennomsnittsverdier for hele materialet går frem av vedleggene 124 og 7. Geografiske fordelinger er vist på kart i svart/hvit, (Vedleggene 8-117) og i farver (Bilagene 1-32). Gjennomsnittsverdier, korrelasjoner og eksempler på kart finnes også i Tabellene 3-28 og i Figurene 5-17 i tekstbindet. Kommentarene nedenfor er gitt med referanse til disse tabeller, vedlegg, bilag og figurer.

FORSURINGSSTATUS

Gjennomsnittsverdier

(1) pH i vannoppslemminger av råhumus er i gjennomsnitt for hele materialet 4.18. pH øker jevnt nedover profilet til 5.05 i undergrunnsjorda (Tabell 3, Tabell 5 og Fig. 11).

(2) Det er liten forskjell i gjennomsnittlig pH enten prøvene oppslemmes i vann eller 0.00001 eller 0.0001N syre (Tabell 3 og 4 og Fig. 11). pH-økningen mot dypet er likeartet for alle disse oppslemmingsvæskene (Tabell 5, og Tabell 6).

(3) Ved oppslemming av prøvene i 0.001N syre er pH i oppslemmingene 0.4 - 1.1 enheter lavere enn for de andre oppslemmingsvæskene. Forskjellen er minst for humus og størst for blekjord og undergrunn (Tabell 4, Fig. 11 og Vedlegg 124).

Geografisk fordeling

(1) Jordas forsuringstatus (pH), danner

systematiske mønstre i alle sjikt (Fig. 5, Bilagene 1-4 og Vedleggene 8-27).

(2) De geografiske mønstre avhenger av oppslemmingsvæsken. I råhumus er mønstrene relativt like for alle oppslemmingsvæsker. For de øvrige sjikt er mønstrene like for vannoppslemminger og 0.00001 til 0.0001N syre, mens mønstrene for 0.001N syre skiller seg ut.

(3) De geografiske mønstre varierer fra sjikt til sjikt. Vannoppslemminger av råhumus viser således nord-sydgående strukturer, mens trendene i utfellingslaget har en tendens til å gå parallelt med kysten.

FØLSOMHET FOR FORSURING

Gjennomsnittsverdier

(1) Ved oppslemming i 0.00001N H_2SO_4 er den gjennomsnittlige absolute følsomhet (F_A) negativ for prøvene fra råhumus, utfellingslag og undergrunn. Dette betyr at i gjennomsnitt øker pH for disse sjikt fra vannoppslemming til oppslemming i 0.00001N syre. Relativ pH økning er størst for råhumus (A_0) og minst for undergrunnen (C). For humus (Ah) og blekjord (Ae), er gjennomsnittlig F_A ved 0.00001N syre positiv, med størst verdi for blekjord (Tabell 7 og 9 og Fig. 12).

(2) Ved oppslemming i 0.0001N og 0.001N syre er den gjennomsnittlige følsomhet (F_A) positiv for alle prøver og sjikt (Tabell 7 og Fig. 12). I begge tilfeller er følsomheten størst i blekjord (Ae) og minst i utfellingslaget (B) (Tabell 9).

(3) For alle sjikt øker vanligvis følsomheten (F_A) fra vannoppslemming til syreoppslemming med økende syrestyrke. Økningen er størst fra 0.0001N til 0.001N syre. Blekjord danner et unntak fra denne regel. Her minsker følsomheten fra 0.00001N syre til 0.0001N (Tabell 7, 9 og Fig. 12).

Geografisk fordeling

Den geografiske fordeling av forsuringfølsomheten er mest interessant for råhumus og utfellingssjiktet (p.g.a. prøvetallet) og for 0.0001 N H_2SO_4 . Denne syren ligner mest på meget sur nedbør, se side 11. (Fig. 6, kartbilagene 5-16 og Vedleggene 28-32). Både i humuslaget (A_0) og i utfellingslaget (B) er det en generell tendens til at følsomheten er lavere i innlandet enn nærmere kysten. I utfellingslaget (B) nyanseres denne trend ved at følsomheten stedvis er lav også i de helt kystnære områder.

UTLUTBAR Ca, K, Mg OG Na

Gjennomsnitts verdier

(1) Innholdet av lett ekstraherbart Ca, K, Mg og Na er i gjennomsnitt vesentlig høyere i prøvene fra rå-humuslaget enn i prøvene fra de andre sjiktene (Fig. 13 - 16). I vann og de 2 svakeste syrene er anrikningen i forhold til C-laget størst for K (33-35) og minst for Mg (7.0 - 8.8). Som oftest viser C-laget de laveste analysetall. Dette gjelder for Mg og Na ved alle utlutinger, for Ca utlutet med 0.0001N og 0.001N syre og for K utlutet med 0.001N syre. Men i noen tilfelle viser blekjord minimumsverdier for utluting

(gjelder for Ca utlutet med vann og 0.001N syre), i andre tilfeller opptrer minimum i utfellingslaget (gjelder for K utlutet med vann og 0.0001N og 0.00001N syre). Med enkelte få unntak er det således en generell tendens til avtagende innhold av lettløselig Ca, K, Mg og Na mot dypet (Tabell 11-20).

(2) I alle sjikt er det en neglisjerbar økning i utluting av K og Na når syrestyrken øker fra vann til 0.00001N og 0.0001N. Utlutingen av Mg og Ca er derimot 20-90% høyere med 0.0001N syre enn med vann og 0.00001N syre. For Mg er denne økningen sterkest i de øverste sjikt, for Ca er økningen mindre i råhumus-laget enn i de øvrige sjikt (Tabell 11-20).

(3) For Ca, K og Mg er det en markant økning i utluting når syrestyrken økes fra 0.0001N til 0.001N. Økningen er sterkest for Ca (300 -600%) og svakest for K (0 -40%). Prosentvis økning er størst i de grunteste sjikt. For Na er det ingen påfallende økning når syrestyrken økes fra 0.0001N til 0.001N (Tabell 11-20).

Geografisk fordeling

(1) Det er systematiske regionale forskjeller i jordas innhold av lettløselige basekationer (Fig. 7-10). For et bestemt sjikt og element er det likheter i fordelingsmønstrene for alle ekstraksjonsmidler (vann - 0.001N H_2SO_4) (Bilagene 17-32, Vedleggene 33-52 og 58-117).

(2) Likheten mellom sjiktene fordelingsmønstre er størst for Ca og Na og minst for Mg og K (Fig. 7-10, Bilag 17-32, Vedleggene 33-52 og 58-117).

(3) Hvert element har sitt særegne dispersjonsmønster.

- Mg-innholdet er relativt høyt i Østfold, Akershus og Vestfold og lavt i Agderfylkene og Telemark. I utfellingslaget er det en tendens til at de høyeste Mg-verdier forekommer i områder med liten høyde over havet (Fig. 7, Bilag 17-20, Vedlegg 33-52).
- Ca viser lave konsentrasjoner i Agderfylkene og Telemark og høye konsentra-

sjoner i Østfold, Akershus, Buskerud og Vestfold (Fig. 8, Bilag 21-24, Vedlegg 58-77).

- Na viser lave konsentrasjoner i Buskerud, særlig de indre deler, og høyere konsentrasjoner i områder med liten høyde over havet (Fig. 9, Bilag 25-28, Vedlegg 78-97).
- K-mønsteret er nokså uregelmessig (Fig. 10, Bilag 29-32, Vedlegg 98-117).

RESULTATER (SAMVARIASJONER)

SAMVARIASJON MELLOM JORD-PARAMETRE

Surhetsgrad og forsuringfølsomhet. Korrelasjonen mellom pH i vannoppslemming og pH i syreoppslemming er god for 0.00001N og 0.0001N syre ($r > 0.80$), og noe dårligere for 0.001N syre ($r = 0.51$) (Tabell 21, Vedlegg 8-32).

Det er en komplisert sammenheng mellom absolutt forsuringfølsomhet (F_A) og pH i vannoppslemming (Fig. 18) og Tabell 22. Mellom absolutt (F_A) og relativ (F_R) forsuringfølsomhet innbyrdes er det signifikant korrelasjon (Tabell 22).

Vannløselig Ca, K, Mg og Na mot syreløselig Ca, K, Mg og Na. For hvert element og sjikt er det god korrelasjon mellom den vannløselige del og den del som er utlutbar med 0.0001N syre ($r > 0.92$) (Tabell 23).

pH i vannoppslemming mot vannoppslemmingens innhold av Ca, K, Mg og Na. (Tabell 24). For Ca er det positiv korrelasjon mot pH i alle sjikt unntatt i blekjord, der det er negativ korrelasjon.

For K er det ingen korrelasjon mot pH i humus og undergrunn, men negativ korrelasjon i blekjord og utfellingslag.

For Mg er det ingen korrelasjon mot pH i humussjiktene, svak negativ korrelasjon i blekjord og utfellingslag og svakt positiv korrelasjon i undergrunnen.

For Na er korrelasjonen negativ i alle sjikt. De fire elementer oppfører seg således forskjellig i forhold til jordas pH.

Relativ forsuringfølsomhet mot utløst Mg, Ca, Na og K. Det er ingen tydelige korrelasjoner mellom relativ forsuringfølsomhet (F_R) og utløst Mg, Ca, Na eller K i vann eller syre. Tabell 23 og 25. Det er

heller ingen klare korrelasjoner mellom relativ forsurningsfølsomhet (F_R) og økningen i uløst Mg, Ca, Na eller K fra vann til syre (Tabell 26). Dette er bemerkelsesverdig. Dersom det hovedsakelig er Mg, Ca, Na og K som frigjøres ved syrenøytraliseringen (ionebyttereaksjoner eller mineraloppløsning), skulle det forventes at innholdet av lettløselig Mg, Ca, Na og K vil øke med avtagende relativ forsurningsfølsomhet (F_R).

Korrelasjoner mellom Ca, K, Mg og Na i vannoppslemming. Bortsett fra i blekjord er det ingen korrelasjon mellom Ca og Na. Mellom Ca og K er det ingen korrelasjon i B og C laget. Mg viser likheter både med Na og K og med Ca (Tabell 27).

Korrelasjoner mellom vannløselig Ca, K, Mg og Na og relativ økning i utlutbarhet ved syrebehandling. Det er beregnet korrelasjonskoeffisienter for samvariasjoner av vannløselige elementer (henholdsvis Ca_v , K_v , Mg_v , Na_v), og økning i utløsbarhet (henholdsvis Ca_s/Ca_v , K_s/K_v , Mg_s/Mg_v og Na_s/Na_v) (Tabell 28). Her er Ca_v etc. den mengde som er utlutbar i vann, og Ca_s/Ca_v etc. relativ økning i utlutbar mengde fra vann til syre. For Ca, K og Na i humussjiktet er denne type korrelasjonskoeffisienter lave. For Mg i humussjiktene er det en klar negativ korrelasjon mellom den

vannløselige mengde og økningen i ekstraksjon fra vann til syre. I humussjiktet er altså økningen i utlutet mengde Mg liten når det er mye vannløselig magnesium.

Denne oppførsel av Mg bekreftes på geokjemiske kart, se Figur 17. For humus og blekjord er Mg/Mg_v relativt lav i Østfold-Akershus der vannløselig Mg er høy (Fig. 7).

SAMMENLIGNING MED ANDRE MÅLERESULTATER

Resultatene av sammenligningene er angitt som merknader i Vedleggene 118-123. Bare hovedtrekk er fremhevet. De tydeligste sammenhenger forekommer mellom lettløselig Mg, Ca, Na og K i jordprøvene og de samme elementer bestemt etter angrep med varm 7N HNO_3 i prøver av flomsedimenter (NGU, 1990). Andre sammenhenger er mindre iøynefallende.

Inntil videre er det ikke mulig å avgjøre i hvilken grad sammenhengene er causale. Noen kan være tilfeldige, eller indikere at ikke registrerte parametre samvarierer med de parametre som inngår i sammenligningene.

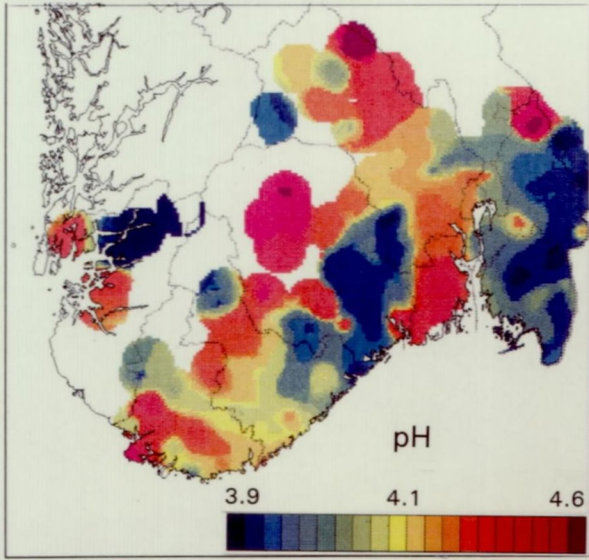


Fig. 5. pH i vannopslemminger av råhumus (A_0). Kartet viser medianverdiene innenfor et bevegelig sirkulært vindu med diameter 40 km. Prøvepunktene er indikert i Fig. 2.

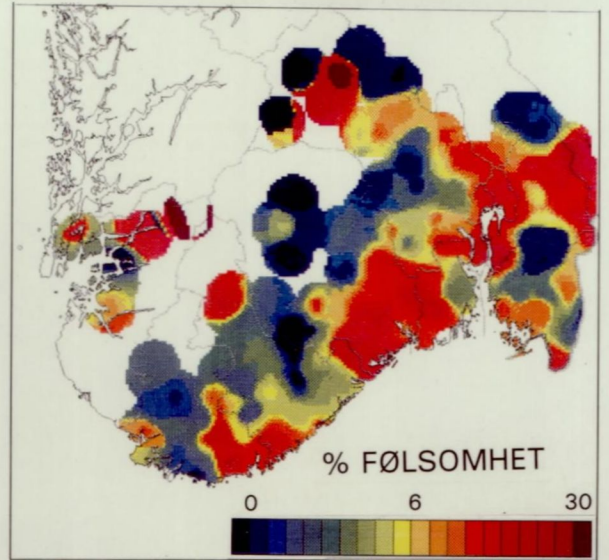


Fig. 6. Følsomhet for forsuring ($100 \cdot \Delta [H^+]/[H^+]_T$, definisjon i teksten) i råhumus (A_0) (løpende median, se Fig. 5) ved oppslemming i henholdsvis vann og 0.001 N H_2SO_4 (pH 4).

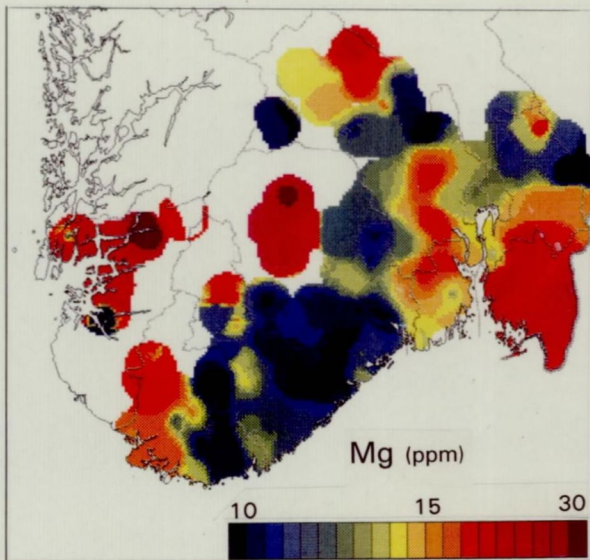


Fig. 7. Vannløselig Mg i råhumus (A_0) (løpende median, se Fig. 5).

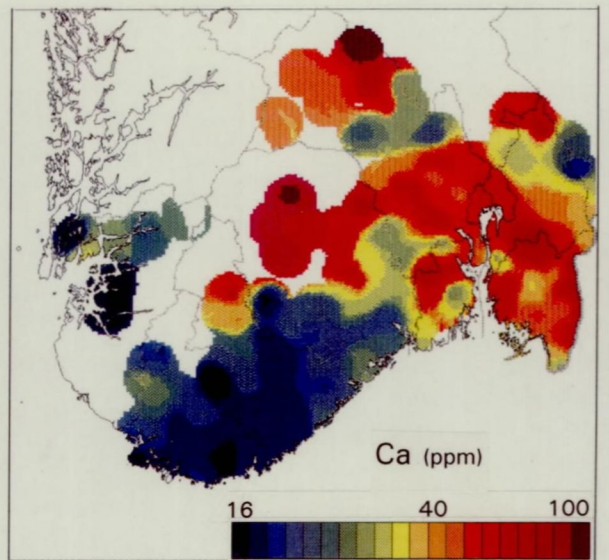


Fig. 8. Vannløselig Ca i råhumus (A_0) (løpende median).

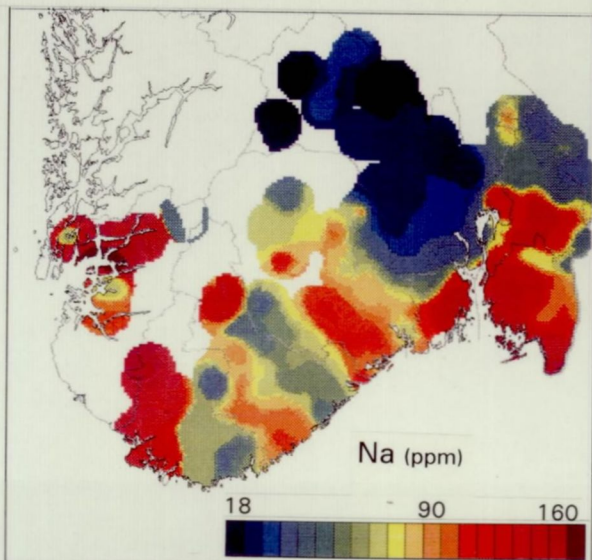


Fig. 9. Vannløselig Na i råhumus (A_0) (løpende median).

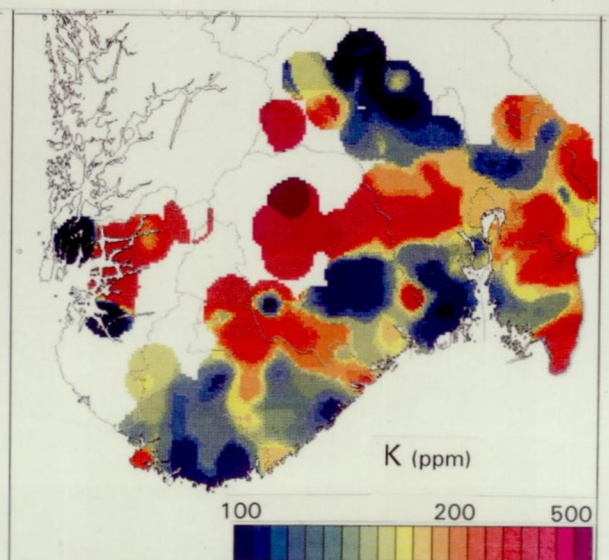


Fig. 10. Vannløselig K i råhumus (A_0) (løpende median).

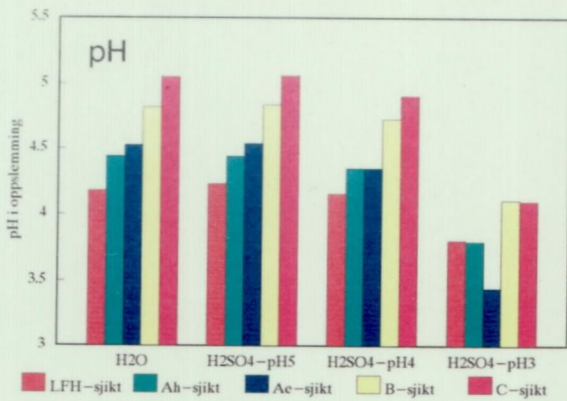


Fig. 11. Aritmetisk middel av pH i ulike sjikt av jordprofiler, Sør-Norge (se Fig. 2).

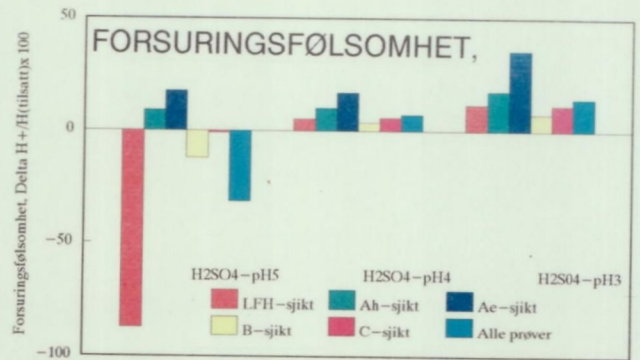


Fig. 12. Følsomhet for forsurening ($100 \cdot \frac{\Delta [H^+]}{[H^+]_T}$, definisjon i teksten), Sør-Norge (for lokaliteter etc., se Fig. 11).

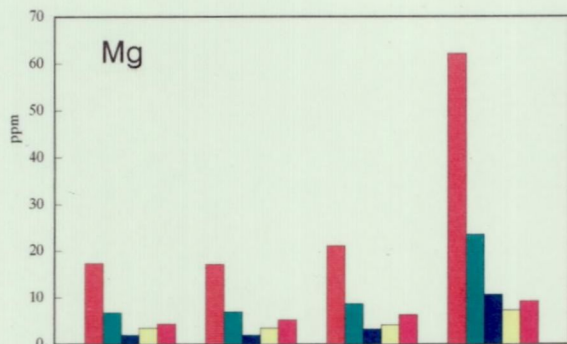


Fig. 13. Lettløselig Mg i jordprøver, Sør-Norge (for farveskala, lokaliteter etc., se Fig. 11).

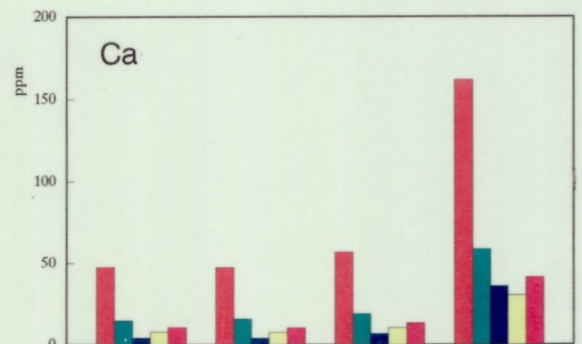


Fig. 14. Lettløselig Ca i jordprøver, Sør-Norge (for farveskala, lokaliteter etc., se Fig. 11).

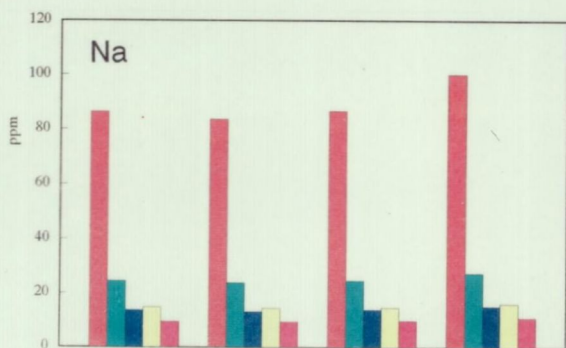


Fig. 15. Lettløselig Na i jordprøver, Sør-Norge (for farveskala, lokaliteter etc., se Fig. 11).

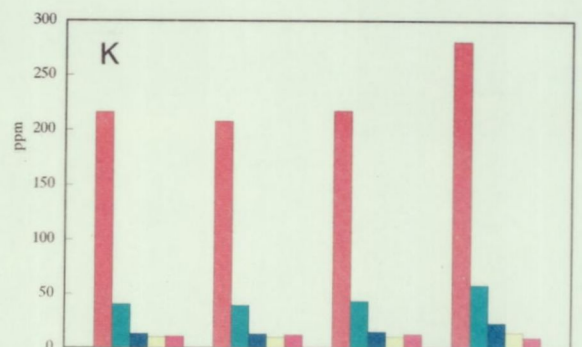
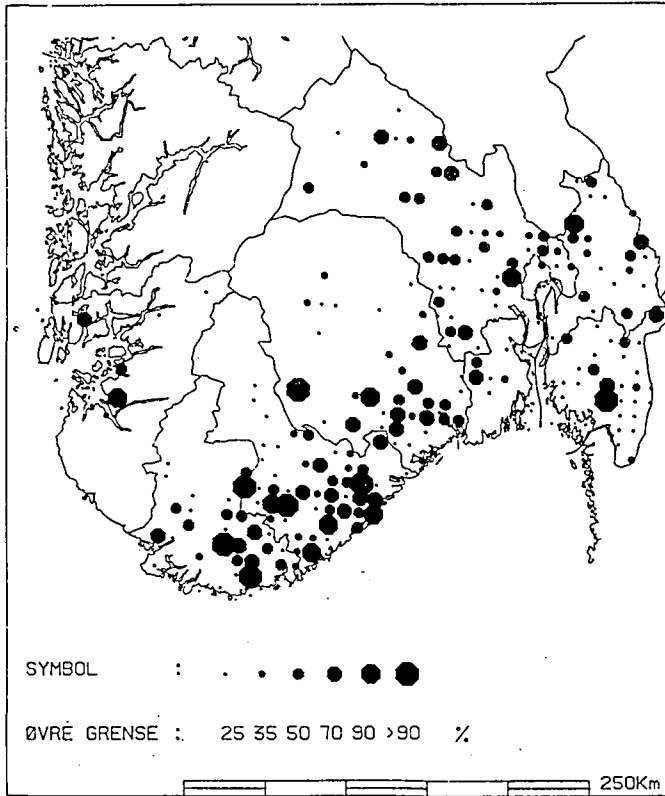


Fig. 16. Lettløselig K i jordprøver, Sør-Norge (for farveskala, lokaliteter etc., se Fig. 11).

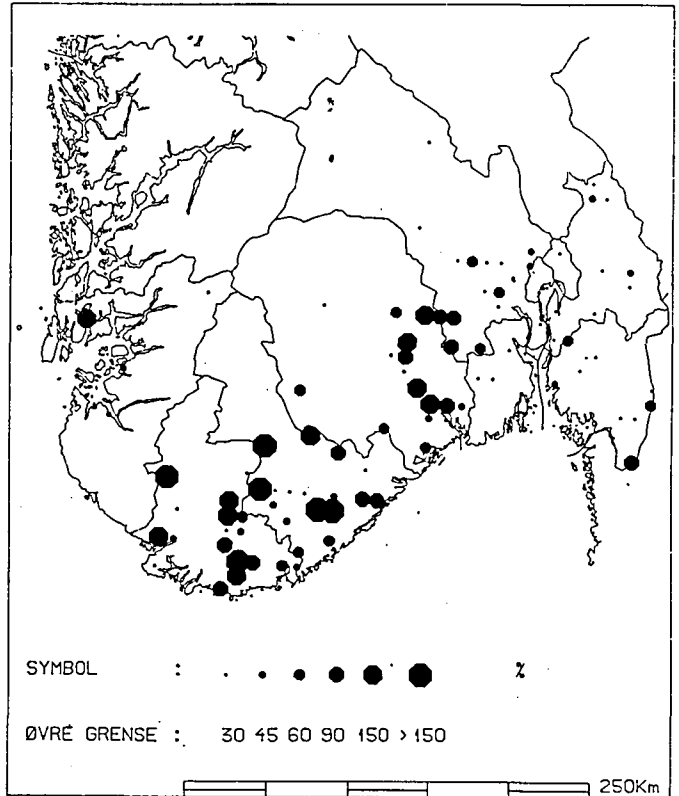
JORDPRØVER, Råhumus-sjukt

Relativ økning: $F_{Mg} = 100(Mg_{pH4} - Mg_{vann}) / Mg_{vann}$



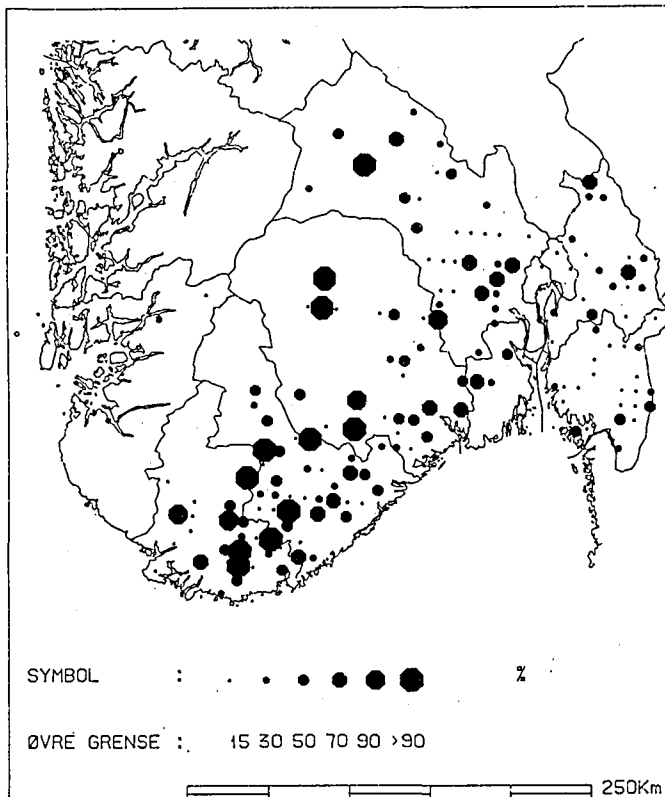
JORDPRØVER, Ah - sjukt

Relativ økning: $F_{Mg} = 100(Mg_{pH4} - Mg_{vann}) / Mg_{vann}$



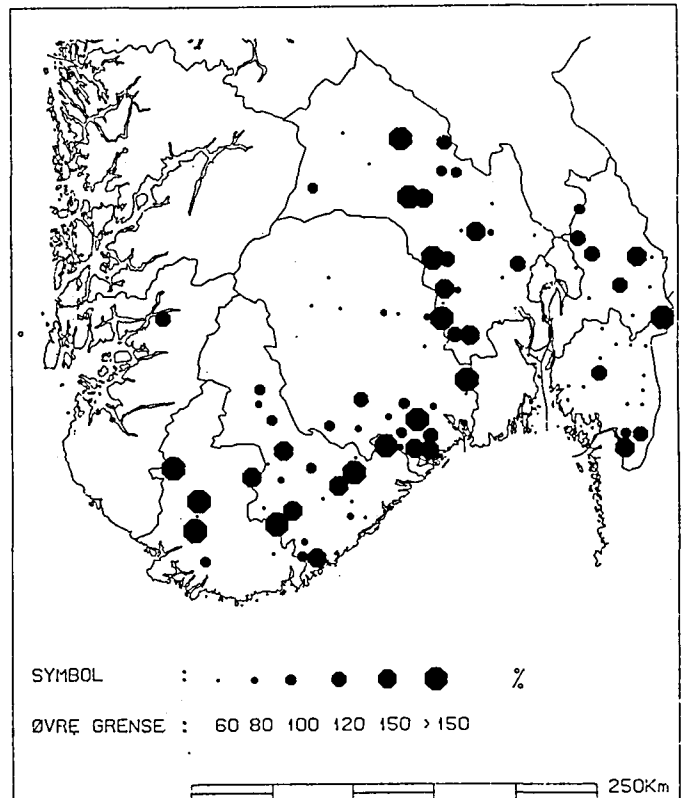
JORDPRØVER, B - sjukt

Relativ økning: $F_{Mg} = 100(Mg_{pH4} - Mg_{vann}) / Mg_{vann}$

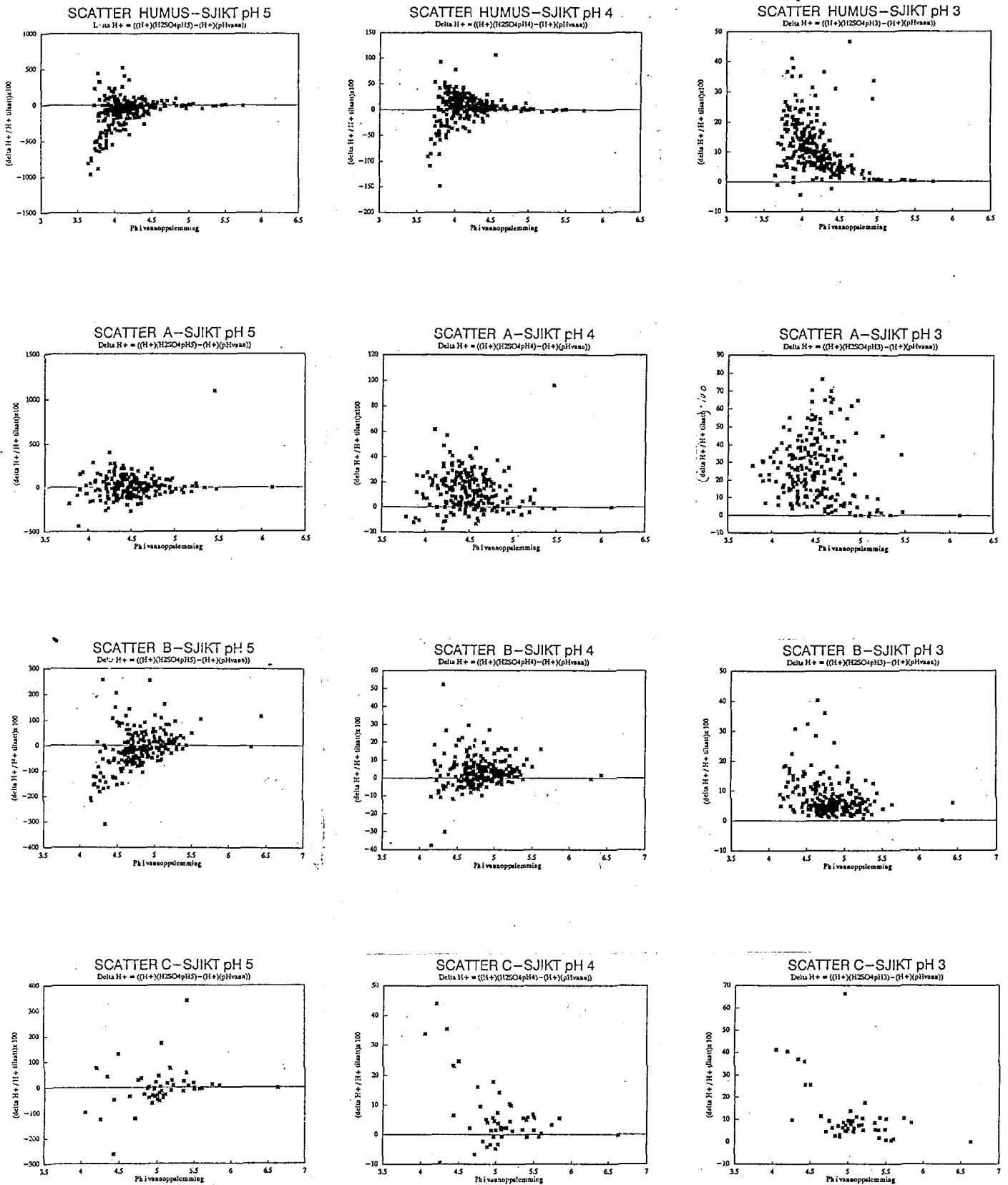


JORDPRØVER, Ae - sjukt

Relativ økning: $F_{Mg} = 100(Mg_{pH4} - Mg_{vann}) / Mg_{vann}$



Figur 17. Relativ økning i utløst Mg^{++} fra vann til syreoppslemming av jordprøver
 $F_{RMg} = 100 ([Mg^{++}]_{0.0001N H_2SO_4} - [Mg^{++}]_{vann}) / [Mg^{++}]_{vann}$



Figur 18. Samvariasjon mellom pH i vannoppslemming (Abscisse) og forsuringsfølsomhet.
 $F_A = 100 \left(\frac{[H^+]_{\text{syreoppslemming}} - [H^+]_{\text{vannoppslemming}}}{[H^+]_{\text{tilsatt syre}}} \right)$

TABELL 1. Jordprøver fra Sør-Norge innsamlet av NIOS 1988. En utplittet del ble sendt NGU.

Sjikt	Anfall
Råhumus (A ₀)	285
Humus (A _h)	107
Blekkjord (A _e)	112
Utfellingslag (B)	227
Undergrunn (C)	50

TABELL 2. Innveining, syrestyrke og syremengder brukt ved vann og syrebehandling av jordprøver.

Prøvetype	Innveining (g)	Væskevolum, vann eller H ₂ SO ₄ (ml)		0.0001N Svovelsyre		0.001N Svovelsyre	
		H ₂ O (pH6)	0.0001N (pH5)	A	R	A	R
Råhumus	2	40	40	40	40	40	40
Annent jord	2	20	20	20	20	20	20

TABELL 3. pH i vann og syreoppslemminger av jordprøver.

	Vann		0.00001N		0.0001N		0.001N	
	A	R	A	R	A	R	A	R
Råhumus	4.18	3.6-5.7	4.23	3.7-5.8	4.16	3.6-5.1	3.80	3.3-5.8
Humus (A _h)	4.44	3.8-6.1	4.44	3.8-6.1	4.35	3.8-6.1	3.79	3.2-6.0
Blekkjord (A _e)	4.53	3.9-5.5	4.54	3.9-5.2	4.35	3.9-5.0	3.45	3.1-4.2
Utfelling (B)	4.82	4.2-6.4	4.84	4.1-7.0	4.73	4.0-7.0	4.11	3.4-7.0
Undergrunn (C)	5.05	4.1-6.6	5.06	4.1-6.7	4.91	3.9-7.0	4.10	3.2-7.1

A: aritmetisk gjennomsnitt, R: variasjonsbredde min-max. For antall prøver, se tabell 1.

TABELL 4. pH i av jordprøver oppslemmet i vann og fortynnede syrer av ulik styrke normalisert mot pH i vannoppslemming. Tallene angir differensen mellom gjennomsnittsverdier for pH i syreoppslemming og gjennomsnittsverdier for pH i vannoppslemming. Positiv differens betyr at pH i vannoppslemming er høyest.

	Vann		0.00001N		0.0001N		0.001N	
	A	R	A	R	A	R	A	R
Råhumus	0	-0.05	0.02	0.02	0.38	0.38		
Humus (A _h)	0	0.0	0.09	0.09	0.65	0.65		
Blekkjord (A _e)	0	-0.01	-0.01	-0.01	1.08	1.08		
Utfellingslag (B)	0	-0.02	0.09	0.09	0.71	0.71		
Undergrunn (C)	0	-0.01	0.14	0.14	0.95	0.95		

For antall prøver og råverdier, se Tabell 1 og Tabell 3.

TABELL 5. pH i vann og syreoppslemminger av jordprøver fra 18 profiler der alle sjiktene råhumus (A₀), blekkjord (A_e), utfellingslag (B) og undergrunn (C) er representert.

	Vann		0.00001N		0.0001N		0.001N	
	A	R	A	R	A	R	A	R
Råhumus	4.03	3.7-4.4	4.10	3.8-4.4	4.01	3.7-4.3	3.65	3.5-4.0
Blekkjord (A _e)	4.61	4.2-5.5	4.55	4.0-5.2	4.35	4.0-4.7	3.41	3.1-3.9
Utfellingslag (B)	4.84	4.3-5.4	4.90	4.4-5.5	4.75	4.4-5.2	4.12	3.8-4.4
Undergrunn (C)	5.12	4.3-5.7	5.11	4.4-5.7	4.95	4.3-5.5	4.05	3.2-4.8

A: aritmetisk gjennomsnitt
R: variasjonsbredde min-max.

TABELL 6. pH i vann og syreoppslemminger av jordprøver fra 18 utvalgte profiler (se Tabell 5) oppslemmet i vann og fortynnede syrer. Tallene er normalisert mot pH i C-laget og angir differansen mellom gjennomsnittsverdier for pH i ulike sjikt og pH i undergrunnen (C).

	Vann		0.00001N		0.0001N		0.001N	
	A	R	A	R	A	R	A	R
Råhumus	1.09	1.01	1.01	0.94	0.40	0.40		
Blekkjord (A _e)	0.51	0.60	0.21	0.20	-0.07	-0.07		
Utfellingslag (B)	0.28	0	0	0	0	0		
Undergrunn (C)	0	0	0	0	0	0		

TABELL 7. Forsuringfølgeløshet F_s ved oppslemming av jordprøver fra Sør-Norge først i vann og så i fortynnede syrer.

	0.00001N		0.0001N		0.001N	
	A	Max.	A	Max.	A	Max.
Råhumus (A ₀)	-87	-963	524	-148	107	12
Humus (A _h)	9	-437	402	10	-13	57
Blekkjord (A _e)	18	-259	1087	17	-17	97
Utfellingslag (B)	-12	-309	257	4	-38	0
Undergrunn (C)	-1	-262	341	6	-9	44
Alle sjikt samlet	-52	-963	1087	7	-148	107

Forsuringfølgeløshet F_s (%) = 100Δ[H⁺]/[H⁺]₀ der [H⁺]₀ er differansen mellom H⁺-konsentrasjonen i syreoppslemming og vannoppslemming. [H⁺]₀ er H⁺-konsentrasjonen i den syren som er brukt som oppslemningsvæske. A: aritmetisk middel. For antall prøver, se Tabell 1.

TABELL 12. Vann og syrestraherbarhet Ca (ppm) i jordprøver

	Vann			0.00001N			Svovelsyre 0.0001N		
	G	R		G	R		G	R	
Råhumus (A ₀)	31.19	0.54-335	32.15	0.54-328	41.42	3.2-372	137.9	26.570	
Humus (Ah)	6.83	0.35-213	6.8	0.53-233	9.92	1.1-213	44.55	9.0-308	
Blekjords (Ae)	2.80	0.20-24	2.48	0.20-23	5.30	0.59-30	29.96	4.1-102	
Utfelling (B)	5.16	0.72-368	4.93	0.67-317	7.12	1.4-387	21.0	2.8-523	
Undergrunn (C)	4.16	0.60-275	4.10	0.67-253	6.73	1.4-250	21.96	2.9-491	

G: geometrisk middel, R: variasjonsbrede min-max.
For antall prøver, se Tabell 1.

TABELL 13. Vann og syrestraherbarhet Na (ppm) i jordprøver

	Vann			0.00001N			Svovelsyre 0.0001N		
	G	R		G	R		G	R	
Råhumus	69.15	6.9-284	66.38	5.0-257	69.08	7.1-281	79.63	8.5-330	
Humus (Ah)	20.55	3.9-9.82	20.16	4.781	20.16	3.7-80	20.99	4.3-92	
Blekjords (Ae)	11.41	2.3-45	11.05	1.8-59	11.74	2.2-43	12.98	2.4-50	
Utfelling (B)	12.27	1.7-44	11.91	2.4-42	12.35	2.5-45	13.49	3.0-50	
Undergrunn (C)	7.64	2.2-26	7.53	1.9-22	8.07	1.8-24	8.91	2.5-26	

G: geometrisk middel, R: variasjonsbrede min-max.
For antall prøver, se Tabell 1.

TABELL 14. Vann og syrestraherbarhet K (ppm) i jordprøver

	Vann			0.00001N			Svovelsyre 0.0001N		
	G	R		G	R		G	R	
Råhumus (A ₀)	176.3	10-1000	168.9	10-933	178.3	10-934	233.3	10-1000	
Humus (Ah)	28.66	5.0-234	28.36	5.0-213	32.06	5.0-213	43.97	5.0-246	
Blekjords (Ae)	10.28	5.0-53	10.44	5.0-58	12.11	5.0-69	17.33	5.0-99	
Utfelling (B)	8.45	5.0-57	8.43	5.0-77	8.96	5.0-62	11.37	5.0-70	
Undergrunn (C)	7.56	5.0-81	7.90	5.0-106	8.16	5.0-131	8.07	5.0-45	

G: geometrisk middel, R: variasjonsbrede min-max.
For antall prøver, se Tabell 1.

TABELL 15. Vann og syrestraherbarhet Mg (ppm) i jordprøver fra 18 profiler med alle sjiktene råhumus (A₀), blekjord (Ae), utfellingslag (B) og undergrunn (C).

	Vann			0.00001N			Svovelsyre 0.0001N		
	G	R		G	R		G	R	
Råhumus (A ₀)	13.74	6.0-75	12.78	6.5-53	16.30	8.2-37	52.26	27.87	
Blekjords (Ae)	2.11	0.7-7.9	2.06	0.7-9.3	2.93	0.7-11	6.65	1.8-18	
Utfelling (B)	2.22	0.8-55	2.02	0.8-5.3	2.35	0.9-5.6	3.26	1.2-8.8	
Undergrunn (C)	1.77	0.7-20	1.82	0.7-32	1.85	0.7-30	1.92	0.7-23	

G: geometrisk middel, R: variasjonsbrede min-max.
For antall prøver, se Tabell 1.

TABELL 8. Relativ følsomhet for forsuring F_r i jordprøver ved oppstemming i 0.0001N syre.

	A			Min.			Max.		
	A	Min.	Max.	A	Min.	Max.	A	Min.	Max.
Råhumus (A ₀)	11.4	-93.5	370.0						
Humus (Ah)	26.3	-75.5	163.0						
Blekjords (Ae)	82.8	-43.8	2785.0						
Utfellingslag (B)	36.4	-78.6	676.0						
Undergrunn (C)	55.1	-59.3	379.0						

Relativ følsomhet F_r (%) = 100Δ[H⁺]/[H⁺]_v, der Δ[H⁺] er differansen mellom H⁺ konsentrasjonen i syreoppstemming ([H⁺]_{oppstem}) og H⁺ konsentrasjonen i vannoppstemming ([H⁺]_v). A: aritmetisk middel, R: antall prøver, se Tabell 1.

TABELL 9. Følsomhet for forsuring F_r(%) ved oppstemming av jordprøver fra 18 utvalgte profiler i vann og fortynt syre.

	0.00001N			0.0001N			0.001N		
	A	Min.	Max.	A	Min.	Max.	A	Min.	Max.
Råhumus (A ₀)	-155	-771	5	2.54	-86	53	13.47	5.4	23
Blekjords (Ae)	4.74	-187	1090	18.2	-18	97	40.6	8.6	77
Utfellingslag (B)	-33.4	-148	39	2.06	-9	9	6.38	3.2	16.5
Undergrunn (C)	1.02	-126	172	3.67	-9	18	11.17	1.4	67

Forsuringfølsomhet F_r(%) = 100Δ[H⁺]/[H⁺]_v, se Tabell 7. A: aritmetisk middel.

TABELL 10. Relativ forsuringfølsomhet (F_r%) ved oppstemming av jordprøver fra 18 utvalgte profiler i vann og 0.0001N H₂SO₄.

	A			Min.			Max.		
	A	Min.	Max.	A	Min.	Max.	A	Min.	Max.
Råhumus (A ₀)	8.53	-41.1	44.5						
Blekjords (Ae)	218.5	-6.7	2784.0						
Utfellingslag (B)	33.4	-33.9	181.8						
Undergrunn (C)	70.0	-47.5	209.0						

F_r % = 100Δ[H⁺]/[H⁺]_v, se tabell 8.

TABELL 11. Vann og syrestraherbarhet Mg (ppm) i jordprøver

	Vann			0.00001N			Svovelsyre 0.0001N		
	G	R		G	R		G	R	
Råhumus (A ₀)	14.35	1.4-75	14.05	1.4-62	18.19	2.7-70	57.56	4.8-147	
Humus (Ah)	4.75	0.7-32	4.84	0.7-34	6.51	0.8-33	20.07	2.3-63	
Blekjords (Ae)	1.95	0.7-8.7	1.95	0.7-9.3	2.75	0.7-11	8.46	1.0-34	
Utfelling (B)	2.92	0.7-28	2.88	0.7-29	3.35	0.7-35	5.24	0.7-51	
Undergrunn (C)	2.64	0.7-40	2.80	0.7-52	3.05	0.7-65	4.04	0.7-60	

G: geometrisk middel, R: variasjonsbrede min-max.
For antall prøver, se Tabell 1.

TABELL 16. Vann og syreekstraherbart Ca (ppm) i jordprøver fra 18 profiler med alle sjiktene råhumus (A₀), blekjord (Ae), utfellingslag (B) og undergrunn (C).

	Vann		0.00001N		H ₂ SO ₄		0.0001N		0.001N	
	G	R	G	R	G	R	G	R	G	R
Råhumus (A ₀)	46.07	24-199	42.13	22-137	51.58	30-152	170.0	114-340		
Blekjord (Ae)	3.33	0.7-24	2.78	0.2-23	6.01	0.6-30	29.34	11-90		
Utfelling (B)	4.97	1.7-15	4.25	1.2-16	6.33	1.8-17	16.98	5.6-33		
Undergrunn (C)	3.52	1.0-15	3.10	0.8-19	5.04	1.4-25	14.86	5.0-114		

G: geometrisk middel, R: variasjonsbredde min-max.

TABELL 17. Vann og syreekstraherbart Na (ppm) i jordprøver fra 18 profiler med alle sjiktene råhumus, blekjord (Ae), utfellingslag (B) og undergrunn (C).

	Vann		0.00001N		H ₂ SO ₄		0.0001N		0.001N	
	G	R	G	R	G	R	G	R	G	R
Råhumus (A ₀)	48.47	12-140	46.86	12-138	48.19	13-149	57.05	16-173		
Blekjord (Ae)	9.32	2.3-32	8.96	1.8-31	9.63	2.2-35	10.24	2.4-32		
Utfelling (B)	9.67	2.5-44	9.44	2.5-4.1	9.73	2.5-43	10.65	3.0-5.0		
Undergrunn (C)	4.94	2.2-17	4.69	1.9-15	5.05	1.8-17	5.71	2.5-19		

G: geometrisk middel, R: variasjonsbredde min-max.

TABELL 18. Vann og syreekstraherbart K (ppm) i jordprøver fra 18 profiler med alle sjiktene råhumus, (A₀), blekjord (Ae), utfellingslag (B) og undergrunn (C).

	Vann		0.00001N		H ₂ SO ₄		0.0001N		0.001N	
	G	R	G	R	G	R	G	R	G	R
Råhumus (A ₀)	212.3	104-407	213.9	101-412	223.8	100-411	297.9	153-568		
Blekjord (Ae)	7.33	5.0-38	7.36	5.0-26	8.84	5.0-38	11.36	5.0-63		
Utfelling (B)	6.07	5.0-15	6.00	5.0-16	6.31	5.0-18	7.10	5.0-22		
Undergrunn (C)	6.14	5.0-40	6.30	5.0-63	6.69	5.0-58	6.27	5.0-34		

G: geometrisk middel, R: variasjonsbredde min-max.

TABELL 19. Gjennomsnittsverdier for syreløselig Ca, K, Mg og Na i jordprøver fra Sør-Norge normalisert mot den vannløselige del.

	Vann			0.00001N			Fortynnet svovelsyre			0.0001N			0.001N		
	Mg	Ca	K	Mg	Ca	K	Mg	Ca	K	Mg	Ca	K	Mg	Ca	K
Råhumus (A ₀)	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.3	1.2	1.0	1.0	1.0	4.0	4.2	1.2	1.4
Humus (Ah)	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.4	1.5	1.0	1.1	1.1	4.2	6.5	1.0	1.5
Blekjord (Ae)	1.0	1.0	0.9	1.0	1.0	1.0	1.4	1.9	1.0	1.2	1.2	4.3	11.0	1.1	1.7
Utfelling (B)	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.1	1.4	1.0	1.1	1.1	1.8	4.1	1.1	1.3
Undergrunn (C)	1.0	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.2	1.6	1.1	1.1	1.1	1.5	5.3	1.2	1.1

For antall prøver, se Tabell 1.

TABELL 20. Gjennomsnittsverdier for syreløselig Ca, K, Mg og Na i prøver fra ulike sjikt i 18 jordprofiler. Innholdet i råhumus, blekjord og utfellingslag er normalisert mot innholdet i undergrunnsprøvene (C).

	Vann			0.00001N			Fortynnet svovelsyre			0.0001N			0.001N		
	Mg	Ca	K	Mg	Ca	K	Mg	Ca	K	Mg	Ca	K	Mg	Ca	K
Råhumus (A ₀)	7.8	9.8	13	35	7.0	14	10	34	8.8	10	9.5	33	27	11	10
Blekjord (Ae)	1.2	1.9	0.9	1.2	1.1	0.9	1.9	1.2	1.6	1.2	1.9	1.3	3.5	2.0	1.8
Utfelling (B)	1.3	2.0	1.4	1.0	1.1	1.4	2.0	1.0	1.3	1.3	1.9	0.9	1.7	1.1	1.9
Undergrunn (C)	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0

TABELL 21. Korrelasjonskoeffisienter mellom pH i vannoppslemming og pH i syreoppstemning.

	Korrelasjonskoeffisienter	
	0.00001N	0.0001N
	H ₂ SO ₄	H ₂ SO ₄
Råhumus (A ₀)	0.96	0.92
Humus (Ah)	0.91	0.93
Blekjord (Ae)	0.69	0.68
Utfellingslag (B)	0.80	0.82
Undergrunn (C)	0.86	0.89

TABELL 22. Korrelasjonskoeffisienter mellom jordprøvenes forsureningsstatus (pH i vannoppslemming) og deres følsomhet for forsurening ved 0.0001N syre (pH4)

	pH versus F _r	pH versus F _v	F _r versus F _v
Råhumus (A ₀)	0.10	0.14	0.77
Humus (A _h)	-0.19	0.13	0.75
Blekjordi (A _e)	0.02	0.44	0.61
Utfellingslag (B)	0.09	0.46	0.58
Undergrunn (C)	-0.46	0.23	0.36

F_r: følsomhet pr. ekvivalent tilsett syre; F_v = 100Δ[H⁺]/[H⁺]_v
 F_r: relativ følsomhet F_r = 100Δ[H⁺]/[H⁺]_v

TABELL 23. Korrelasjonskoeffisienter mellom vannløselige grunnstoffer og de samme grunnstoffer løselige i 0.0001N H₂SO₄ (pH 4).

	Korrelasjonskoeffisienter			
	Mg	Ca	Na	K
Råhumus (A ₀)	0.92	0.96	0.98	0.96
Humus (A _h)	0.99	0.99	0.98	0.98
Blekjordi (A _e)	0.95	0.92	0.98	0.95
Utfellingslag (B)	0.98	0.99	0.98	0.97
Undergrunn (C)	0.98	0.99	0.98	0.98

For antall prøver, se Tabell 1.

TABELL 24. Korrelasjonskoeffisienter mellom jordprøvenes forsureningsstatus (pH i vannoppslemming) og innhold av Ca, K, Mg og Na i vannoppslemming.

	pH-Mg	pH-Ca	pH-Na	pH-K
Råhumus (A ₀)	0.05	0.45	-0.27	-0.03
Humus (A _h)	0.13	0.48	-0.12	-0.12
Blekjordi (A _e)	-0.37	-0.30	-0.29	-0.47
Utfellingslag (B)	-0.16	0.31	-0.23	-0.36
Undergrunn (C)	0.23	0.53	-0.42	0.02

For antall prøver, se Tabell 1.

TABELL 25. Korrelasjonskoeffisienter mellom relativ forsureningsfølsomhet (F_r) ved 0.0001N H₂SO₄ (pH 4) og mengder Mg, Ca, Na og K utløst i samme syre.

	Mg	Ca	Na	K
Råhumus (A ₀)	-0.07	-0.07	-0.01	-0.08
Humus (A _h)	-0.06	-0.09	-0.09	-0.04
Blekjordi (A _e)	0.08	0.01	0.19	0.07
Utfellingslag (B)	-0.09	-0.10	0.01	-0.07
Undergrunn (C)	-0.27	-0.24	-0.11	0.26

TABELL 26. Korrelasjonskoeffisienter mellom relativ forsureningsfølsomhet (F_r) ved pH 4 og relativ økning i utløst Mg, Ca, Na og K (ΔMg/Mg_v, etc.) fra vann til 0.0001N H₂SO₄ (pH 4).

	Mg	Ca	Na	K
Råhumus (A ₀)	0.14	0.18	0.09	0.02
Humus (A _h)	0.09	0.08	-0.13	0.00
Blekjordi (A _e)	0.02	0.01	0.04	0.03
Utfellingslag (B)	0.14	0.23	0.01	0.02
Undergrunn (C)	-0.06	0.18	0.20	-0.15

TABELL 27. Korrelasjonskoeffisienter mellom innhold av grunnstoffer i vannekstrakt av jordprøver.

	Ca-K	Ca-Mg	Ca-Na	K-Mg	K-Na	Mg-Na
Råhumus (A ₀)	0.30	0.62	-0.08	0.43	0.21	0.24
Humus (A _h)	0.21	0.75	0.06	0.50	0.48	0.35
Blekjordi (A _e)	0.20	0.71	0.44	0.40	0.33	0.48
Utfellingslag (B)	-0.03	0.65	-0.02	0.47	0.34	0.26
Undergrunn (C)	-0.01	0.21	-0.04	0.93	0.28	0.29

For antall prøver, se Tabell 1.

TABELL 28. Elementvise korrelasjonskoeffisienter mellom vannløselig Ca, K, Mg og Na og relativ økning i utløst Ca, K, Mg og Na for vannoppslemming til syreoppslemming i 0.0001N H₂SO₄ (pH 4).

	Mg mot F _{r, 0.04}	Ca _v mot F _{r, (Ca)}	Na mot F _{r, (Na)}	K _v mot F _{r, 00}
Råhumus (A ₀)	-0.50	-0.14	-0.08	-0.18
Humus (A _h)	-0.55	-0.27	-0.20	-0.30
Blekjordi (A _e)	-0.33	-0.43	-0.15	-0.12
Utfellingslag (B)	-0.06	-0.12	-0.17	0.05
Undergrunn (C)	0.29	-0.23	-0.12	0.39

Ca⁺⁺ = Ca⁺⁺_{SYRE} - Ca⁺⁺_{VANN}
 F_{r, (Ca, K, Mg, Na)}: Relativ økning i utløst Ca, K, Mg og Na fra vannoppslemming til oppslemming i 0.0001N H₂SO₄ (pH 4), for eksempel
 F_{r, (Ca)} = 100Δ[Ca⁺⁺]/Ca⁺⁺_{VANN}

For antall prøver, se Tabell 1.

NOEN KOMMENTARER TIL RESULTATENE

VARIASJON MOT DYPET

Den vesentlige del av tilførselen av lettløselig Ca, K, Mg og Na til råhumuslaget kan skje på tre måter:

(1) Elementene trekkes oppover med kapi-lærkrefter, planterøtter og organismer, og vil deretter ved løvfall, o.l. anrikes i råhumusdekket, og bli lett løselige ved dekomponering av organisk materiale.

(2) Elementene tilføres råhumusdekket med nedbøren (Låg 1963, 1968), og vil delvis kunne forekomme som lettløselige salter i jordsmonnet.

(3) Elementene tilføres mekanisk (som støv, sprut fra bakken ved regn, eller ved omblending p.g.a. frysing og tining av grunnen etc.). Punkt 3 er antagelig av underordnet betydning og behandles ikke nærmere her.

Forråd av næringselementer og forvitringshastighet i B- og C-lag innvirker på prosess (1), mens nedbør-mengde og -sammensetning (avstand fra kysten) influerer på (1) og (2). På enhver lokalitet vil nåværende status være et resultat av en bestemt kombinasjon av prosessene (1) og (2).

De lettløselige grunnstoffer vil (a) være plantetilgjengelige i humuslaget, (b) vaskes nedover i profilet, eller (c) transporteres ut av profilet med overflate- eller infiltrasjonsvann.

I en forenklet modell der en ser bort fra den horisontale komponent i tilførsel til og fjerning av grunnstoffer fra et profil, vil de lettløselige fraksjoner i områder med nok nedbør angi vesentlig den delen av nærings-elementene som er på vei nedover med sigevannet i profilet.

På denne bakgrunn indikerer dataene for øket gjennomsnittlig utluting fra 0.00001N til 0.0001N H_2SO_4 i Tabellene 19 og 20, at økende surhet i nedbør fattig på basekationer kan føre til øket utvasking av Ca og Mg fra råhumuslaget, mens K og Na er mindre utsatt for dette. Økningen i utvasking vil antagelig ha større skadevirkninger for Mg enn for Ca. For det første er økningen i utluting større for Mg (30%) enn for Ca (20%). For det andre er den økede utluting av Ca i råhumus ledsaget av en enda større økning av utlutingen i de dypere lag (Tabell 19). Dette indikerer at en mulig økt utvasking av Ca i råhumus p.g.a. sur nedbør kan tenkes å bli oppveid av en økt utløsning (forvitring) i C-laget. For Mg er det ingen økning i utlutingen i de dypere lag. Det bør også noteres at samspillet mellom utluting av henholdsvis Mg og K fører til at ved syrepåvirkning minker det biologisk viktige forholdstall Mg/K i alle sjikt.

Av betydning er også:

(1) Den altoverveiende del (70-90%) av lett utlutbart Ca, Mg, K og Na pr. vektenhet prøve i jordprofilet forekommer i råhumusen.

(2) I gjennomsnitt har råhumusen en pH som ligner på den i meget sur nedbør. Dersom pH i sur nedbør er høyere enn pH i råhumus, vil sur nedbør neppe føre til vesentlig økning av utluting av basekationer i råhumus og underliggende sjikt. Dersom pH i sur nedbør er lavere enn den i råhumus, vil sigevann som treffer sjiktene under råhumuslaget, ha reagert med råhumusen og dermed fått en forøket pH-verdi i forhold til pH i den sure nedbør. Sigevannet i dype-re sjikt har derfor en minsket ekstraksjons-evne i forhold til det sur nedbør ville ha hatt ved direkte innvirkning.

SAMVARIASJONER

Den kompliserte sammenheng mellom forsuringsfølsomhet, syrens pH og jordprøvens pH kan ha flere forklaringer. Dersom jordprøvens pH ligner pH i den anvendte syre, vil følsomheten nødvendigvis bli liten. Følsomheten blir også liten når jordprøvens pH er vesentlig høyere enn pH i den anvendte syre, samtidig som det er et stort innhold av syreforbrukende substanser i prøven. Ved stor forsuringsfølsomhet kan skadevirkninger av surstøt oppstå, selv om jordsmonnets pH i utgangspunktet er gunstig (relativt høy) (Ryghaug m.fl. 1990).

Den manglende korrelasjon mellom utløst Mg, Ca, Na og K på den ene siden og forsuringsfølsomhet på den andre (Tabell 25) indikerer at også andre ioner enn Mg^{++} , Ca^{++} , Na^+ og K^+ deltar i nøytraliseringsreaksjonene. Til slike ikke bestemte ioner hører f.eks. OH^- , Al^{+++} , Fe^{++} og Mn^{++} .

Jordprøvenes innhold av organisk materiale og salter kan også påvirke samvariasjonen mellom utløste basekationer og forsuringsfølsomhet. Humusholdig materiale påvirker jordas ionebyttingskapasitet og binder enkelte grunnstoffer meget sterkt. En stor pH-senkning etter syretilsats (stor følsomhet) vil sannsynligvis gi øket utluting av mer eller mindre lett løselige salter. Ytterligere kompliserte kan forholdene bli på grunn av variasjoner i kornfordeling og forekomst av oksydbelegg på kornene. Små korn gir stor adsorpsjonsevne for ioner. Dersom oksydbelegg forekommer på karbonater eller andre syreforbrukende mineraler i jordprøven, kan det tenkes at pH i syresuspensjonen påvirkes ved at syren løser opp oksydbelegget og blottlegger det primære mineralet innenfor. Dette bidrar til liten følsomhet og høy utluting av basekationer. Det er også mulig at syrebehandlingen forårsaker utfelling av tungtløselige forbindelser (f.eks. $BaSO_4$) i oppslemmingene. Det siste vil

bidra til lav følsomhet, men samtidig lav utløsning av basekationer.

Det er antagelig en årsaks-sammenheng mellom de påviste negative korrelasjoner mellom pH i vannoppslemming og mengden av vannløselig Na i alle sjikt (side 17 og Tabell 24). Alle de bestemte grunnstoffene viser tilsvarende negative korrelasjoner i blekjord. En negativ korrelasjon mellom jordsmonnets innhold av vannløselige grunnstoffer og vannoppslemmingens pH kan være en konsekvens av en tilførsel av grunnstoffet i lettløselig form utenfra. For Na i alle sjikt innebærer dette en opprinnelig tilførsel via nedbør. For de andre grunnstoffene er forholdene mer kompliserte. I blekjord kan det bety tilførsel i lettløselig form i vandige løsninger på vei nedover fra de overliggende humusholdige sjikt.

Analogt kan den positive korrelasjon mellom Ca og pH i humus og undergrunnssjiktene (Tabell 24) tolkes dithen at Ca overveiende har sitt opphav i forvittringsprosesser. Høyt innhold av elementer som Ca og Mg i undergrunnsjord kan være en årsak til høy pH i dette sjiktet. For K og Mg i humuslagene kan det tenkes at både tilførsel nedenfra (forvittringsprosesser og plantetilførsel) og tilførsel via nedbør bidrar innenfor det undersøkte område. Mangel på korrelasjon mellom pH og K i humuslaget kan delvis forklares ved at K bindes sterkt til humus slik det fremgår av de store anrikningsfaktorene mellom K innholdet i humus og undergrunn (Tabell 20, Fig. 16).

Samvariasjonene mellom Mg, Ca, Na og K (Tabell 27) indikerer også at det antagelig er ulike opphav for Ca på den ene siden og Na og K på den andre. Mg inntar i denne sammenheng en mellomstilling.

Forholdene som er diskutert ovenfor og de negative korrelasjonskoeffisienter mellom Mg og relativ økning i utlutbart Mg fra vannoppslemming til syreoppslemming i de

øverste sjikt (Tabell 28) indikerer at sur, Mg-fattig nedbør kan medføre uheldig utlutning av Mg fra humussjiktet. Siden sur nedbør kan forårsake økt løselighet av basekationer i jordsmonnet, vil slik nedbør i noen tilfelle kunne føre til midlertidig økt tilgang på næringsselementer som Ca, Mg og K. Disse konklusjoner stemmer med resultater av feltforsøk (Abrahamsen et al, 1987). Økningen i Mg-utlutning er størst der innholdet av vannløselig Mg er lavest, og mulige skadevirkninger av Mg-utvasking kan på denne bakgrunn få et akselererende forløp i Mg-fattige områder. Områder med mye vannløselig Mg i jordsmonnet er antagelig mindre utsatt på grunn av stadig tilførsel av Mg via nedbør.

Forholdene som er drøftet ovenfor tilsier at eventuelle skadevirkninger av sur nedbør

p.g.a. økt Mg utvasking kan tenkes å unndra seg observasjon inntil en akselererende prosess har forårsaket akutt Mg-mangel. I Tsjekkoslovakia har plutselig skogdød inntrått uten klare forvarslar (Paces, personlig meddelelse).

Forsuringsfølsomheten får størst mening når den sees i sammenheng med sjikt-tykkelsen og mengden frigjorte kationer ved en bestemt pH. Jo tykkere sjikt, desto større vil sjiktets totale syrenøytraliserende evne være under ellers like vilkår. Dersom sjiktet er homogent, vil dets totale syrenøytraliserende evne være proporsjonal med sjikthykkelsen. Når pH i den anvendte syre er i nærheten av 4, øker mengden ekstraherte kationer med økende syrestyrke. Nedbørens sammensetning, dens mengde og hyppighet samt infiltrasjon og avrenning influerer også på den arealvise følsomhet for forsuring.

OPPSUMMERING AV RESULTATER OG KOMMENTARER

Jordprøver fra ulike sjikt i jordprofiler fra Sør-Norge ble slemmet opp i vann, 0.00001N H₂SO₄, 0.0001N H₂SO₄, 0.001N H₂SO₄. Forsuringsstatus (surhetsgrad, pH), følsomhet for forsuring (syrenøytraliserende evne) og innhold av Ca, Mg, K og Na ble bestemt i oppslemmingene. De målte parametre for vann og 0.0001N syre er de mest interessante da disse forsøksbetingelsene ligner mest på forholdene under henholdsvis den aktuelle og meget sur nedbør.

FORSURINGSSTATUS

I gjennomsnitt er pH omtrent lik (max forskjell <0.2 pH enheter i blekjord) enten prøvene oppslemmes i vann eller i 0.00001N - 0.0001N svovelsyre.

Gjennomsnittlig pH øker regelmessig mot dypere sjikt fra ca. 4.2 i råhumus til 5.1 i undergrunnen.

Surhetsgraden danner systematiske geografiske mønstre i ulike sjikt. Mønstrene er forskjellige fra sjikt til sjikt, men ingen mønstre viser entydige, klare samvariasjoner med tidligere kartlagte måleresultater/observasjoner over naturforhold eller sur nedbør.

FØLSOMHET FOR FORSURING

1) For alle sjikt unntatt blekjord øker den gjennomsnittlige pH fra vannopslemming til oppslemming i 0.00001N H₂SO₄. Gjennomsnittlig forsuringsfølsomhet for denne syrestyrke har derfor negativ fortegn. For de andre syrestyrkene er gjennomsnittlig føl-

somhet positiv, størst for blekjord og de sterkeste syreblandinger, og minst for utfellingslaget og de svakeste syreblandinger.

2) Forsuringsfølsomheten er størst når pH i den anvendte syre er lav i forhold til pH i vannoppslemming og når innholdet av syrenøytraliserende substanser i jordsmonnet er lite. Ved stor forsuringsfølsomhet kan skadevirkninger av surstøt oppstå selv om jordsmonnets pH i utgangspunktet er gunstig (relativt høy).

3) Den geografiske fordeling av forsuringsfølsomheten er noe uregelmessig (antagelig på grunn av lave prøveantall). Kartene synes likevel å indikere at følsomheten er størst i de områder som har vært mest utsatt for sur nedbør, men at tilførsel av havsalter modererer dette bilde noe.

INNHold AV LETTLØSELIG Ca, K, Mg OG Na

1) De mengder av Ca, K, Mg og Na som er utlutbare med vann eller fortynt svovelsyre er vesentlig høyere i råhumus enn i de andre sjikt. Gjennomsnittlige anrikningsfaktorer mellom humussjiktet og undergrunnssjiktet for vann og 0.0001N syre varierer mellom 7.0 (Mg) og 35 (K).

2) Når syrestyrken økes fra 0.00001N til 0.0001N øker utlutningen i råhumus med 30% for Mg og 20% for Ca, mens økningen er neglisjerbar for K og Na. For Ca er den relative økning i utlutning fra råhumus p.g.a. økt syrestyrke ledsaget av en like stor eller større relativ økning i utlutning i de dypere sjikt. Tilsvarende økning i dypere sjikt er ikke funnet for Mg. For 0.001N syre er

forskjellen mellom Mg og de andre grunnstoffene enda større.

Dette indikerer at Mg-fattig, sur nedbør kan føre til uheldig økning i utvasking av Mg fra jordsmonnet, og at noe tilsvarende er et mindre faremoment for Ca. Stor utlutning av Mg med sur nedbør vil sannsynligvis kunne føre til en midlertidig stor tilgjengelighet av plantenyttbart Mg, men på lengre sikt medføre et akselererende Mg underskudd. Disse konklusjoner stemmer med publiserte resultater fra feltforsøk (Abrahamsen et al. 1987) og observasjon av plutselig skogdød (Paces personlig meddelelse).

3) Mangel på korrelasjon mellom pH og Mg i vannoppslemminger av humus kan tyde på at en betydelig del av det vannløselige Mg er tilført utenfra, sannsynligvis med nedbør. Slik tilførsel vil variere med nedbørsmengde og avstand fra kysten (Låg 1963, 1968). Økningen i Mg-utlutning med økende syrestyrke er størst der innholdet av vannløselig Mg er minst. Kart over lett utlutbart Mg sammenholdt med kart over økning i utlutbart Mg med økende syrestyrke viser at Østfold, Akershus og Vestfold har høyt Mg-innhold og lav økning i utlutning, mens Agderfylkene/Telemark har lavt Mg-innhold og høy økning i utlutning.

4) Det er ingen korrelasjon mellom forsuringsfølsomhet og utløsning av Mg, Ca, Na og K. Dette tyder på at også andre ioner enn Mg^{++} , Ca^{++} , Na^+ og K^+ deltar i nøytraliseringsreaksjonene. Ikke bestemte ioner av særlig interesse i denne sammenheng er OH^- , Al^{+++} , Fe^{++} og Mn^{++} . Forhold som jordprøvenes innhold av organisk materiale, salter og oksydebelegg, samt prøvenes kornfordeling og muligheter for utfelling av tungtløselige forbindelser ved syretilsatsen spiller også inn.

HOVEDKONKLUSJON

Resultatene fra undersøkelsen indikerer at sur nedbør fattig på basekationer noen steder har ført/kan føre til en skadelig økning i utvasking av Mg fra de øvre jordsjikt. Relativ økning i utvasking vil sannsynligvis være størst der jordas innhold av lett tilgjengelig Mg fra før er minst. En økt utløsning av Mg p.g.a. sur nedbør vil sannsynligvis kunne forårsake en midlertidig økning i plantetilgjengelig Mg og derpå et akselererende underskudd. Denne konklusjonen stemmer med publiserte resultater fra feltforsøk med kunstig sur nedbør (Abrahamsen et al. 1987).

Det er ingen klar samvariasjon mellom jordsmonnets forsurningsfølsomhet og utløst Mg, Ca, Na og K, noe som tyder på kompliserte forhold. F.eks. kan andre, ikke bestemte ioner delta i de nøytraliseringsprosesser som skjer når jordsmonn utsettes for påvirkning av fortyndede sterke syrer. Et tålegrensebegrep for jord basert på måling av pH, forsurningsfølsomhet, element-tilførsel med nedbør og løselighet av Mg og andre grunnstoffer i jordprofilen, kan muligens utvikles.

ANBEFALINGER

(1) Resultatene fra undersøkelsen bør publiseres i internasjonalt tidsskrift.

(2) NGUs analysedata bør bearbeides ytterligere, f.eks. ved å inkludere eksisterende analysetall for elementer som Al, Fe og Mn i bearbeidingen.

(3) Analyseprogrammet bør utvides til å innbefatte bestemmelse av (a) innhold av organisk stoff i humusprøver, (b) Pb-innhold og (c) motstand mot pH endring ved basetilsetning (kalkingsbehov). Det siste gir mulighet til å fremstille mer fullstendige bufferprosentkurver.

(4) NGUs analysedata bør sammenlignes med eksisterende data for kationombyttingskapasitet, basemetningsgrad etc.

(5) Flere parametre bør inkluderes i mer fullstendige kvantitative beregninger av

massebalanser og regionale variasjoner i følsomheter for forsuring.

Blant disse parametre er:

- Tykkelsen av de forskjellige sjikt i jordprofilen.
- Totale mektigheter av løsmasser.
- Mengde, sammensetning og hyppighet av nedbør.
- Sedimenttransport og avrenning i elver.
- Fordampning.
- Kjemisk sammensetning av elvevann og suspenderte sedimenter.

(6) Nedbørens bidrag til Mg balansen i humusdekket bør undersøkes nærmere.

(7) Undersøkelsen bør gjentas i revidert form i et annet område, for eksempel Nord-Trøndelag, for å kunne relatere dataene fra Sør-Norge til områder som er mindre påvirket av sur nedbør.

REFERANSER OG HENVISNINGER

- Abrahamsen, G., Tveite, B. and Stuanes, A.O., 1987. Wet acid deposition effects on soil properties in relation to forest growth. Experimental results. In: Lavender, D.P. (ed): *Woody plant growth in changing and physica. environment. Proceedings of the workshop of IUFRO working party on Shoot Growth Physiology*, Vancouver, Canada, 189-197.
- Bergseth, H., 1985. Bufferprosentkurver. *Jord og Myr* 9 (5), 255-258.
- Bjørklund, A. and Gustavsson, N., 1989. Visualization of geochemical data map: New options. *J. Geochem. Explor.* 29, 89-00.
- Bølviken, B., Ottesen, R.T. og Volden, T., 1988. Naturlig motstand mot forsuring. *Naturen* nr. 4, 1988, side 147-149 og side 159. Se også NGUs Årsmelding 1987, side 6-7.
- Bølviken, B., Ottesen, R.T. og Volden, T., 1990. Soils natural ability to resist acidification. In: Kinnunen, K. and Varmola, M. (Eds.): *Effects of Air Pollutants and Acidification in Combination with Climatic Factors on Forrests, Soils and Waters in Northern Fennoscandia*. Nordic Council of Ministers. Nord 1990:20, 209-214.
- DN, 1989. Brev av 02.08.1988 fra Direktoratet for naturforvaltning til Norges geologiske undersøkelse. Referanse nr. DN 7734/89-33. NGU j.nr. 2970, arkiv 31-2484.
- Frank, J., 1978. Kationinnholdet i råhumus og torv og disse humustypenes bufferegenskaper ved kunstig forsuring. *Norges landbrukshøgskole Ås-NLH*, 138 sider.
- Grønlund, A. og Solbakken, E., 1987. Jordsmonn-kartlegging. *Norsk Institutt for Jord og Skogkartlegging*. 52 sider.
- Holtan, H. (red.), 1986. Norsk Vassdragsleksikon. *Norsk Hydrologisk komite*, 31 sider.
- Låg, J., 1945. Resent kalkluft ved Hensvold, Østre Toten. *Blytia* 3:27-37.
- Låg, J., 1948. Undersøkelse over opphavsmaterialet for Østlandets morenedekker. *Meddelelser fra Det norske skogforsøksvesen*. 35 (10), 223 p.
- Låg, J., 1963. Tilføring av plantenæringsstoffer med nedbøren i Norge. *Forskn. Fors. Landbr.* 14, 553-563.
- Låg, J., 1968. Relationships between the chemical composition of the precipitation and the contents of exchangeable ions in the humus layer of natural soils. *Acta Agric. Scand.* 18, 148-152.
- NGU, 1989. Revidert plan for kartlegging av talegrenser. Se korrekt tittel etc. i vårt arkiv.
- NGU, 1990. Upubliserte kart over Norge for innhold av basekationer i flomsedimenter.
- NIVA (Norsk institutt for vannforskning), 1987. *1000 lake survey 1986*, 33 sider.
- Rørå, A., Kvamme, H., Larsson, J.Y., Nyborg, Å. og Økland, T., 1988. Program: "Overvåking av skogens sunnhetstilstand". *Norsk Institutt for Jord og Skogkartlegging*. 23 sider.
- Ryghaug, P., Nilsen, R. og Ekremsæter, J., 1990. Jordas motstand mot forsuring i Sogn og Fjordane fylke. *NGU-rapport nr. 90.120*.
- Sigmond, E.M.O., 1985. Berggrunnskart over Norge 1:3 mill. *Norges geologiske undersøkelse*.
- Thoresen, M.K., 1990. Kvartærgeologisk kart over Norge. Tema: Jordarter. M=1:1 mill. *Norges geologiske undersøkelse*.
- Ødegård, M., 1981. The use of inductively coupled argon plasma (ICAP) atomic emission spectroscopy in the analysis of stream sediments. *Journal of Geochemical Exploration*, 14, 119-130.
- Ødegård, M., 1983. Utvidet program for analyse av geologiske materialer basert på syreekstraksjon og plasmaspktrometri. (An extended programme for the analysis of geological materials based on acid extraction and plasma spectrometry). *Norges geologiske undersøkelse*. Open file Report 2113, 36 p.