

Atmosfærisk nedfall: Betydning for kjemiske forhold i jord

Av Eiliv Steinnes

Kjemisk institutt, Universitetet i Trondheim – AVH

SUMMARY

Atmospheric deposition:

Significance in soil chemistry

Investigations carried out in Norway have contributed significantly to the understanding of how atmospheric transport and deposition affect the chemical composition of surface soils. In particular the pioneer work of Professor J. Låg, based on extensive series of humus samples collected in a regular network over large areas in Norway, has shown the importance of atmospheric supply of some elements, and has stimulated further work in this area, in particular related to pollutants.

1. Innledning

Det har gjennom alle tider eksistert en betydelig stofftransport i atmosfæren. Vulkanske gasser og aske, havsalt, ørkenstøv og mikropartikler av biologisk opphav kan spres med luftstrømmer over avstander på tusenvis av kilometer. Slike transportprosesser spiller en viktig rolle i geokjemiske kretsløp for mange stoff. I seinere tid har atmosfæren i tillegg blitt transportmedium for gassformige og partikulære utslipp fra menneskelige aktiviteter som metallframstilling, energiproduksjon, trafikk og avfallsforbrenning. Inntil relativt nylig er det lagt lite vekt på den rolle atmosfærisk transport kan spille når det gjelder å påvirke kjemiske forhold i jord.

I denne artikkelen skal vi vise eksemp-

ler på den store betydning atmosfærisk transport kan ha i mange tilfeller når det gjelder å påvirke de kjemiske forholdene i overflatesjiktet av naturlig jord. Regionale undersøkelser – basert på et stort antall prøver innsamlet etter et regelmessig mønster – har vært av vesentlig betydning for å komme fram til de fleste konklusjonene som her er referert. Ikke minst har et materiale på omlag 3000 humusprøver fra produktiv skog i fylkene Nord-Trøndelag, Oppland og Buskerud, som professor J. Låg fikk samlet inn i samarbeid med Landskogtakseringen i begynnelsen av 1960-åra, vært til stor nytte i denne sammenhengen (Låg 1962, 1965, 1968a).

2. Stofftransport fra havet

Enorme mengder av sjøsalt-aerosoler transporteres fra havets overflate innover kontinentene, og blir etter hvert vasket ut med nedbøren. Dette betyr at nedbørens kjemiske sammensetning varierer sterkt med avstanden til havet, og det atmosfæriske nedfallet av stoff som stammer fra det marine miljø vil vise et tilsvarende geografisk variasjonsmønster.

Enkelte kjemiske elementer er til stede i svært lave konsentrasjoner i de fleste bergarter, samtidig som de utgjør en relativt sett langt større del av oppløst stoff i havvann. Dette gjelder f.eks. halogenene klor, brom og jod. Det er derfor kanskje ikke så overraskende at konsentrasjonene av disse stoffene i jord viser en meget ty-

Tabell I. Halogener i jord fra områder i forskjellig avstand fra kysten: Eksempler på regionale gjennomsnittsverdier. (Data fra Låg & Steinnes 1974.)

Område	Cl ppm	Br ppm	I ppm
Nord Trøndelag:			
Kystområder (Flatanger-Namsos-Rørvik)	1450	83	13.4
Innlandsområder (Røyrvik-Lierne-Meråker)	550	22	6.2
Oppland:			
Toten/Land	245	6.3	4.1
Øvre Gudbrandsdal	180	4.9	2.9

delig sammenheng med avstand fra kysten, som vist i Tabell I (Låg & Steinnes 1976).

Noe mer overraskende er det kanskje at atmosfærisk tilførsel er av stor betydning for utbyttbar fraksjon i naturlig jord av natrium og magnesium, som hører til hovedelementene i de fleste bergarter. Na^+ og Mg^{2+} er imidlertid samtidig de to dominerende kationene i havvann. På basis av det omfattende materialet av humusprøver fra skogsområder nevnt ovenfor, var Låg (1968b) i stand til å vise at tilførsel via nedbøren er meget viktig for å bestemme forekomsten av utbyttbart Na^+ og Mg^{2+} i jord (Tabell II). Eksempelvis er forholdet utbyttbart Mg^{2+} /utbyttbart Ca^{2+} om lag 5 ganger høyere i Ytre Nord-Trøndelag enn i nord-

lige strøk på Østlandet. Dette er, så vidt vi kjenner til, første gangen at denne fundamentale sammenheng er påvist i jordbunslitteraturen.

Forholdet mellom jod og de andre halogenene i jord er som regel mer enn 1000 ganger høyere enn tilsvarende forhold for havvann (Låg & Steinnes, 1976). Dette betyr sannsynligvis at jod frigjøres fra havvann ved en annen mekanisme enn klor og brom, muligens ved at det dannes flyktige lavmolekylære jodforbindelser ved dekomponering av marint biologisk materiale, som så etter hvert fester seg selektivt på de minste aerosolene og dermed kan transporteres over lengre avstander i atmosfæren enn de øvrige halogenene. Selen er et annet element som viser en oppførsel som lik-

Tabell II. Forhold mellom utbyttbare kationer i skogsjord fra forskjellige områder av Norge. (Data fra Låg 1968b.)

Område	$\frac{\text{Na}^+}{\text{Ca}^{2+}} \times 100$	$\frac{\text{Mg}^{2+}}{\text{Ca}^{2+}} \times 100$
Nord-Trøndelag:		
Ytre distrikt	11.5	94
Midtre Namdalsbygder	8.5	70
Lierne-Røyrvik	2.9	44
Oppland	1.9	21
Buskerud	1.9	20

ner den vi her har antydnet for jod, muligens av tilsvarende årsak (Låg & Steinnes, 1974). Innholdet av selen i havvann er meget lavt, men elementet finnes sterkt anriket i marine organismer, og konsentrasjonen av selen i naturlig jord i Norge avtar tydelig med avstanden fra kysten.

3. Sur nedbør

Betydningen av sur nedbør i jordbunnskjemisk sammenheng er et sterkt omdiskutert emne. Den viktigste formen for reaksjon med H^+ -ioner fra nedbøren i jord vil være utbytting av metallioner som Ca^{2+} og Mg^{2+} på jodkolloidene. Ved sterk belastning vil en forholdsvis større del av H^+ -ionene forbrukes ved forvittringsreaksjoner og forårsake økte konsentrasjoner av Al^{3+} og andre kationer i jordvæsken.

Det er ennå lite klarlagt hvilken rolle sur nedbør kan ha spilt i Norge i forhold til naturlige prosesser når det gjelder jordforsuring. En analyse av Låg's data for det nevnte materialet fra begynnelsen av 1960-åra viser at det er systematiske forskjeller i basemetningsgrad og pH mellom landsdeler, slik at humusprøver fra det sørlige Østlandet viser lavere ver-

dier enn tilsvarende i Nord-Trøndelag (Tabell III). Et mindre omfattende materiale fra Telemark/Aust-Agder (Løbersli & Steinnes, 1983) forsterker denne tendensen. Det er ikke mulig å fastslå fra disse dataene isolert hvilken rolle sur nedbør kan ha spilt i denne sammenheng. En ny prøvetaking i de områdene som ble prøvetatt tidlig i 1960-åra vil imidlertid kunne fastslå om det har skjedd en systematisk jordforsuring i den mellomliggende perioden, og om denne har vært sterkere i områder som er mer utsatt for sur nedbør. Det er viktig at en samtidig får utført registreringer av skogens vekst, for å kunne anslå eventuell betydning av såkalt biologisk forsuring.

4. Tungmetallforurensning

Nedfall fra lokale luftforurensningskilder har lenge vært kjent for å påvirke jordsmonnet i nærområdet når det gjelder tungmetaller. I Norge har dette særlig vært påvist i Odda i forbindelse med et smelteverk (Låg, 1974). Mulige bidrag fra atmosfærisk langtransport har inntil ganske nylig ikke vært nevnt som noen kilde av betydning til tungmetallinnhold i jord.

I en undersøkelse basert på Låg's materiale fra 1960-åra ble det påvist at

Tabell III. Regionale gjennomsnittsverdier for pH og basemetningsgrad i humusprøver fra produktiv skog

Region	Innhold av organisk materiale %	pH	Basemetningsgrad %
Nord-Trøndelag (1960)	80-90	3.96±0.14	21.0±3.9
	>90	3.97±0.11	22.4±3.0
Buskerud og Sør-Oppland (1962. 64)	80-90	3.84±0.23	16.7±8.1
	>90	3.84±0.19	16.2±4.2
Aust-Agder (1982)	>80	3.67±0.13	12,1±2.7

elementet arsen viser en sterk nord-sør gradient på Østlandet som knapt kunne ha noe å gjøre med variasjoner i geologi (Låg & Steinnes, 1978). For å undersøke dette nærmere, ble det i 1977 innsamlet ca. 500 humusprøver regelmessig fordelt over hele landet. Det ble samtidig tatt prøver av etasjemose (Rambæk & Steinnes, 1980) som gir et relativt mål for tungmetallnedfall fra atmosfæren. Analyseresultatene viser en helt klar sammenheng mellom bidrag fra atmosfærisk langtransport og konsentrasjon i jord for en rekke elementer som avgis i flyktig form ved kilden: bly, kadmium, sink, arsen, antimon og selen. Regional fordeling av bly i naturlig overflatejord i Norge er vist i Fig. 1 (Allen & Steinnes, 1980). Fordelingsmønsteret antyder en sterk sammenheng med nedfall fra atmosfærisk langtransport. De øvrige «flyktige» elementene viser en tilsvarende nord-sør gradient som for bly, mens elementer som f.eks. kopper, som er kjent for å tilføres i mindre grad ved langtransport, ikke viser et tilsvarende geografisk fordelingsmønster i jord.

Studier av vertikal fordeling av tungmetaller i jordprofiler (Solberg & Steinnes, 1983) og ombrogen torv (Hvatum, Bølviken & Steinnes, 1983) fra forskjellige deler av landet understreker den store betydningen av bidraget fra atmosfærisk langtransport. Dette er demonstrert for bly's vedkommende i Fig. 2 (Solberg & Steinnes, 1983).

Fig. 1 antyder et høyt og relativt homogent konsentrasjonsnivå for bly på Sørlandet. Mer omfattende undersøkelser i dette området i perioden 1981–83 viser at det også er betydelige lokale variasjoner for tungmetallene i overflatejord. De høyeste konsentrasjonene i humus-sjiktet finner en i områder ca. 2–3 mil fra kysten, med høy årlig nedbør og ubety-

delig lokal industriell aktivitet. For bly finnes det f.eks. soner med over 200 ppm i Sørøst-Rogaland, på Kvinesheia, i et område omkring Vigeland og i høyere strøk av Birkenes/Grimstad-området (Solberg & Steinnes, 1985). Det viser seg at i områder med høyt innhold av metaller fra atmosfærisk nedfall i jordsmonnet er det også tilsvarende høye nivåer av de samme metallene i høyere vegetasjon (Solberg & Steinnes, 1983). Det er f.eks. gjennomgående ca. 5 ganger høyere innhold av bly og kadmium i arter som bjørk, furu, blåbær og røsslyng i de mest langtransportutsatte områdene på Sørlandet enn det er i Sør-Trøndelag. Det er også påvist tilsvarende geografisk spredningsmønster for bly-innholdet i lever fra lam (Frøslie, Norheim, Rambæk & Steinnes, 1984).

5. Oppsummering

Lærebøker i jordbunns-lære framstiller det stort sett slik at den kjemiske sammensetningen av jord er alt overveiende bestemt av lokale forhold. De eksemplene som er trukket fram her, viser at atmosfærisk transport må vurderes som en viktig faktor ved framtidige jordbunnskjemiske undersøkelser (Se også Steinnes, 1984).

Referert litteratur

- Allen, R. O. & Steinnes, E. 1980. Contribution from long-range atmospheric transport to the heavy metal pollution of surface soil. *Ecological Impact of Acid Precipitation*, Oslo-Ås, 1980, 102–103.
- Frøslie, A., Nordheim, G., Rambæk, J. P. & Steinnes, E. 1985. Heavy metals in lamb liver: Contribution from atmospheric fallout. *Bull. Envir. Contam. Toxicol.* 34, 175–1982.
- Hvatum, O. Ø., Bølviken, B. & Steinnes, E. 1983. Heavy metals in Norwegian ombrotrophic bogs. *Ecol. Bull. (Stockholm)* 35, 351–356.

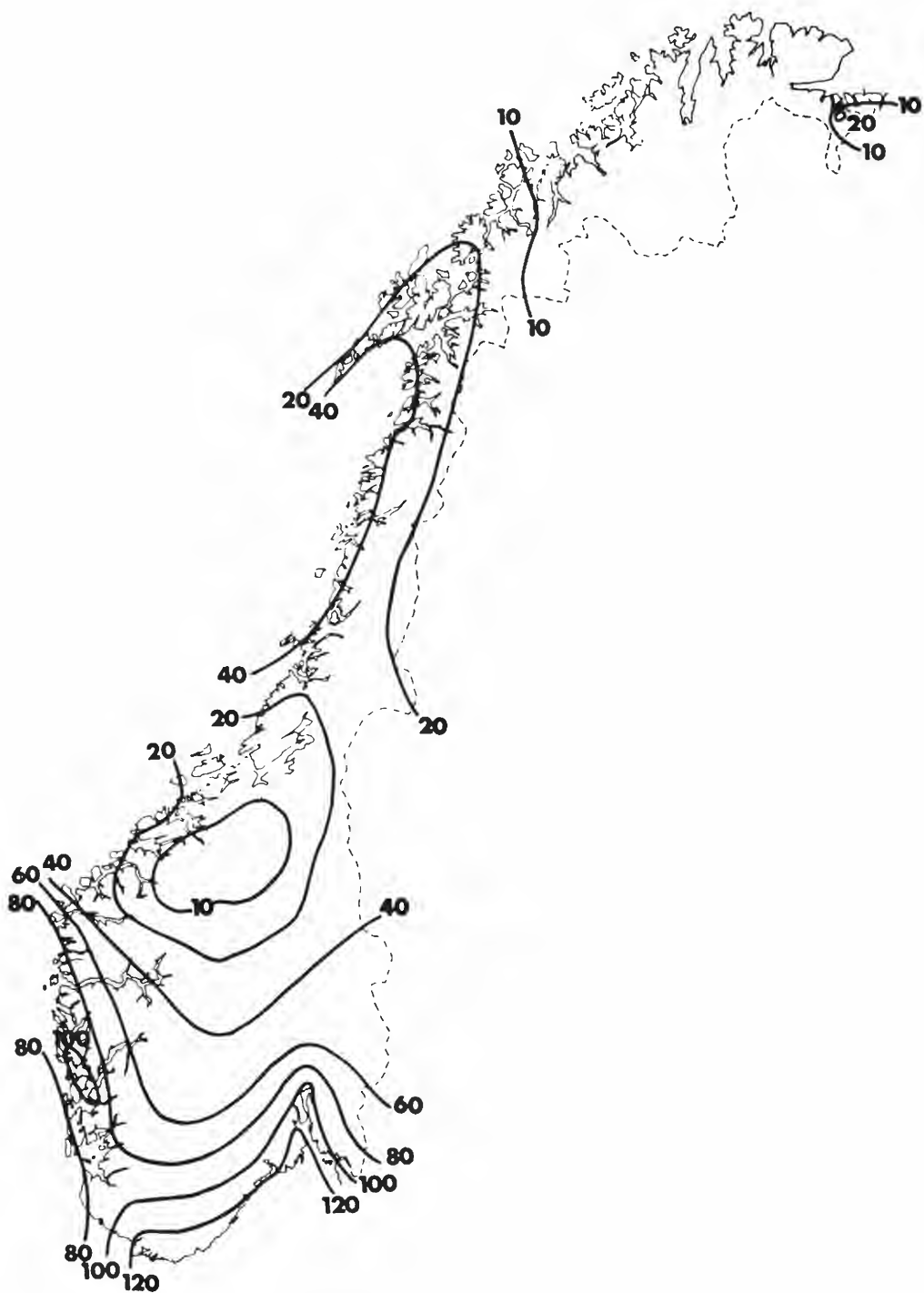


Fig. 1. Konsentrasjon av bly i naturlig overflatejord i Norge (ppm)

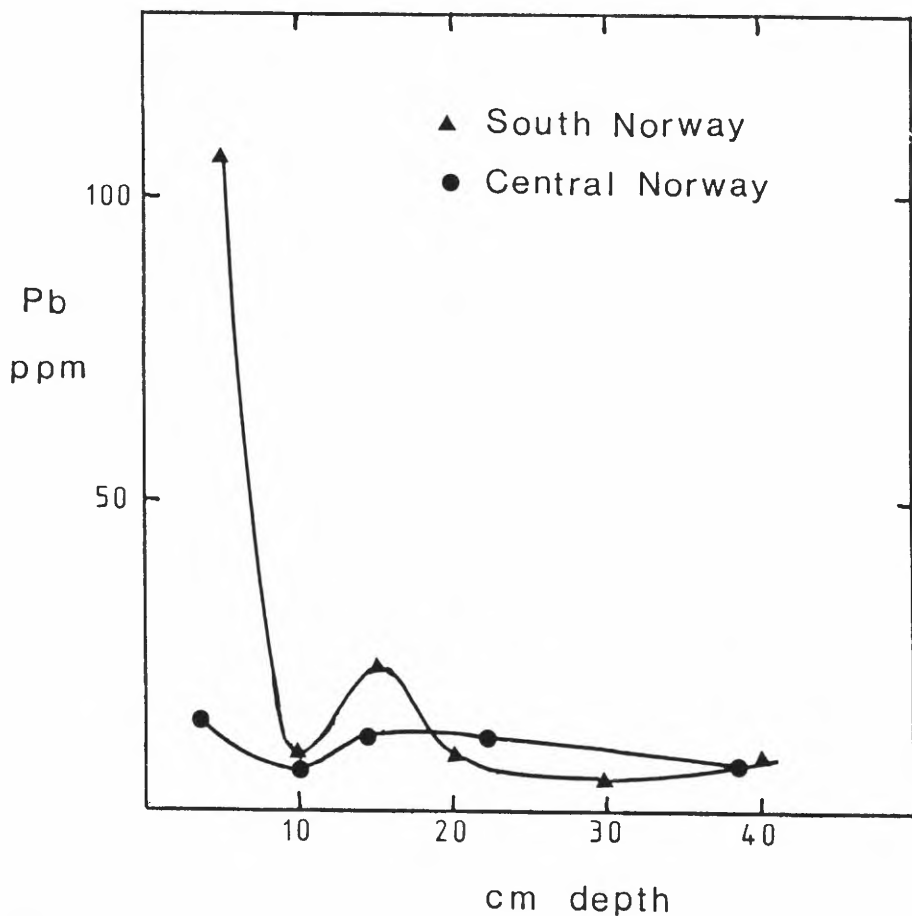


Fig. 2. Vertikal fordeling av bly i typiske podsolprofiler fra Sørlandet og Trøndelag (ppm)

Løbersli, E. & Steinnes, E. 1983. Influence of acidification on metal uptake in plants. Proc. Acid Rain and Forest Resources Conf., Quebec.

Låg, J. 1962. Undersøkelse av skogjorda i Nord-Trøndelag ved Landskognakseringens markarbeid sommeren 1960. Medd. Norske Skogfors.vesen 64, 107–160.

Låg, J. 1965. Undersøkelse av jorda i skogene i Buskerud fylke. Taksering av Norges Skoger, Buskerud fylke, 73–74, 147–154.

Låg, J. 1968a. Undersøkelse av skogjorda i Oppland ved Landskognakseringens mar-

karbeid somrene 1962 og 1963. Medd. Norske Skogfors.vesen 91, 331–393.

Låg, J. 1968b. Relationships between the chemical composition of the precipitation and the content of exchangeable ions in the humus layer of natural soils. Acta Agric. Scand. 18, 148–152.

Låg, J. 1974. Jordforurensning fra industri i Odda. Ny Jord 61 (3) 1–16.

Låg, J. & Steinnes, E. 1974. Soil selenium in relation to precipitation. Ambio 3, 237–238.

- Låg, J. & Steinnes, E. 1976. Regional distribution of halogens in Norwegian forest soils. *Geoderma* 16, 317–325.
- Låg, J. & Steinnes, E. 1978. Regional distribution of selenium and arsenic in humus layers of Norwegian forest soils. *Geoderma* 20, 3–14.
- Rambæk, J. P. & Steinnes, E. 1980. Atmospheric deposition of heavy metals studied by analysis of moss samples using neutron activation analysis and atomic absorption spectrometry. *Nuclear Methods in Environmental and Energy Research (CONF-800433)*, 175–180.
- Solberg, W. & Steinnes, E. 1983. Heavy metal contamination of terrestrial ecosystems from long-distance atmospheric transport. *Heavy Metals in the Environment, Heidelberg 1983*, 170–173.
- Solberg, W. & Steinnes, E. 1985. Tungmetallforurensning av jord på Sørlandet fra atmosfærisk langtransport. Under bearbejdelse.
- Steinnes, E. 1984. Pollution of natural surface soils due to long-distance atmospheric transport. *Pollutants in the Unsaturated Zone*, 115–122. Heidelberg.