

**Atmosfærisk nedfall av tungmetaller i Norge**

Landsomfattende undersøkelse i 2000

Rapport:	838/01
TA-nummer:	TA-1842/2001
ISBN-nummer:	82-7655-436-9
Oppdragsgiver:	Statens forurensningstilsyn
Forfattere:	Eiliv Steinnes, Institutt for kjemi, Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU); Torunn Berg, Norsk institutt for luftforskning (NILU); Torill Eidhammer Sjøbakk, Institutt for kjemi, NTNU; Hilde Uggerud, NILU; Marit Vadset, NILU

**Atmosfærisk nedfall av tungmetaller** 838  
2001

Landsomfattende undersøkelse i 2000

## **Forord**

En av årsakene til forhøyede konsentrasjoner av miljøgifter i norsk natur er langtransporterte tilførsler via luftstrømmer. Konsentrasjon av tungmetaller i mose i Norge bestemmes i stor grad av utslipp i andre land, og er en god indikator på utviklingen i tilførslene. Moser tar opp sin næring fra luft, og metallinnholdet i moser antas å reflektere det atmosfæriske nedfallet av tungmetaller med luft og nedbør.

Denne rapporten presenterer en sammenfatning av de viktigste resultatene fra den femte landsomfattende kartleggingen av atmosfærisk nedfall av tungmetaller i Norge. Rapporten er basert på moseprøver innsamlet fra 464 lokaliteter sommeren 2000, og dekker hele Norges fastland. Landsomfattende undersøkelser av tungmetaller i moser har som målsetting å overvåke langtransporterte tilførsler av tungmetaller, og har tidligere blitt gjennomført i 1977, 1985, 1990 og 1995.

Professor Eiliv Steinnes, Institutt for kjemi, NTNU har vært ansvarlig for gjennomføringen av prosjektet og har stått for innsamling av prøver. Preparering av prøvemateriale er utført ved NTNU under ledelse av Torill Eidhammer Sjøbakk. De kjemiske analysene er utført av Torunn Berg, Hilde Uggerud og Marit Vadset ved NILU.

Oslo, november 2001

Per Døvre  
Direktør i Samfunnsavdelingen

## Innholdsfortegnelse

	side
<b>Sammendrag</b>	4
<b>1. Innledning</b>	5
<b>2. Praktisk gjennomføring av undersøkelsen</b>	5
2.1. Prøvetaking	5
2.2. Analyser	6
<b>3. Resultater</b>	6
<b>4. Diskusjon</b>	7
4.1. Generelle trekk	7
4.2. Diskusjon av stoffer som klart kan relateres til luftforurensning	8
4.1.1. Vanadium	8
4.1.2. Krom	8
4.1.3. Jern	8
4.1.4. Kobolt	8
4.1.5. Nikkel	8
4.1.6. Kopper	8
4.1.7. Sink	8
4.1.8. Gallium	8
4.1.9. Arsen	9
4.1.10. Kadmium	9
4.1.11. Tinn	9
4.1.12. Antimon	9
4.1.13. Kvikksølv	9
4.1.14. Bly	9
4.1.15. Andre grunnstoffer	9
4.3. Utvikling fra 1995 til 2000	10
<b>5. Etterord</b>	10
<b>6. Litteratur</b>	11

## Sammendrag

Atmosfærisk nedfall av tungmetaller i Norge er kartlagt på geografisk basis i 2000 ved analyse av prøver av etasjemose innsamlet fra 464 lokaliteter fordelt over landet. Denne rapporten gir en presentasjon av resultatene samt en sammenlikning med tilsvarende resultater fra tidligere undersøkelser av samme slag. Undersøkelsen inngår i et internasjonalt program som omfatter store deler av Europa. De kjemiske analysene er i alt vesentlig utført ved ICP-MS, og kvaliteten av analysedata er kontrollert ved analyse av internasjonale referansematerialer.

Undersøkelsen gjelder i første rekke de ti metallene vanadium, krom, jern, nikkel, kopper, sink, arsen, kadmium, kvikksølv og bly som er prioritert i det internasjonale programmet. I tillegg rapporteres data for ytterligere 40 grunnstoffer i mosen. Diskusjonen av de enkelte undersøkte stoffene gjelder i første rekke bidrag fra forurensning, men omfatter også en vurdering av eventuelle bidrag fra naturlige kilder til innhold i mosen, og hvordan bidrag fra disse kildene kan innvirke på tolkningen av resultatene.

Atmosfærisk nedfall fra andre land i Europa er fremdeles en dominerende kilde til nedfall av de prioriterte metallene vanadium, sink, arsen, kadmium og bly i Norge, men nivåene er stadig nedadgående. Det samme gjelder også molybden, sølv, tinn, antimon, thallium og vismut. Nedgangen over tid har vært særlig stor for bly, der nedfallet på Sørlandet nå er mindre enn 10 % av hva det var ved den første landsomfattende nedfallsundersøkelsen i 1977. Smelteverk på Kola gir stadig betydelig nedfall i Øst-Finnmark av kopper og nikkel, og i mindre grad arsen og kobolt. Flere steder registreres stadig nedfall fra lokale norske kilder, som f.eks. krom i Mo i Rana og sink og kadmium i Odda. Forholdene rundt 15 industribedrifter i Norge er undersøkt i 2000 parallelt med den landsomfattende overvåkingen som rapporteres her, og resultatene er publisert i en egen rapport fra SFT.

## 1. Innledning

Prøvetaking og analyse av terrestrisk mose er en vel etablert teknikk til å studere nedfall av sporelementer fra atmosfæren i stor geografisk skala. Landsomfattende kartlegginger av denne typen i Norge er tidligere utført i 1977 (1,2), 1985 (3,4), 1990 (5,6) og 1995 (7,8), og inngår som en del av Statlig program for forurensningsovervåking. Dataene inngår dessuten som ledd i en internasjonal kartleggingsvirksomhet der moseprøver innsamles og analyseres i en rekke land i Europa (9-11) på tilsvarende måte som i den foreliggende undersøkelsen. Koordineringen av dette arbeidet foregikk tidligere i regi av Nordisk ministerråd, men er fra 2000 overtatt av ICP Vegetation, et internasjonalt overvåkingsprogram under UN ECE (United Nations Economic Commission for Europe). I 2000 deltar mer enn 20 land i dette arbeidet.

Basis for denne teknikken er at moser generelt mangler rotsystem og derfor tar opp næring via bladverket. Moser har dessuten en evne til å binde mange tungmetaller og andre sporelementer ganske sterkt, og vil derfor akkumulere disse stoffene fra atmosfæren. Ettersom prøvetaking av mose er temmelig enkel, og analysene også er relativt enkle fordi elementene er sterkt oppkonsentrert fra den luften eller nedbøren de stammer fra, er denne teknikken særlig godt egnet for nedfallsundersøkelser i stor geografisk skala.

Normalt gir mosemetodikken et relativt bilde av nedfallfordelingen. Kalibrering av konsentrasjonsdata for metaller i mose med nedbørprøver tatt i samme tidsperiode ved et betydelig antall stasjoner i Norge (12, 13) gjør det imidlertid nå mulig å konvertere data fra denne type moseundersøkelser til nedfall pr. areal- og tidsenhet for et flertall av de viktigste tungmetallene denne rapporten omhandler.

Den arten som brukes ved nedfallsundersøkelsene i Norge er bladmosen *Hylocomium splendens* (etasjemose) som vokser på bakken, er enkel å kjenne og har en enkelt identifiserbar årlig tilvekst. Arten er lett å finne de fleste steder i landet.

## 2. Praktisk gjennomføring av undersøkelsen

### 2.1. Prøvetaking

Prøvene er tatt minst 300 meter fra hovedveier og tett befolkede områder, og minst 100 meter fra lokal vei, enkeltstående hus eller dyrka mark. På hver lokalitet ble 5-10 delprøver tatt innenfor et område på ca. 50X50 meter og samlet i en 2-liters papirpose. Det ble brukt engangshansker av polyeten både ved prøvetaking og ved videre bearbeiding av prøvene. Det ble så vidt mulig unngått å ta mose som vokser under trær og busker.

I laboratoriet ble papirposene med mosen plassert i avtrekk og tørket ved romtemperatur. Deretter ble prøvene rensket for hånd, og årets tilvekst av *Hylocomium splendens* (som regel ubetydelig) samt årsskuddene fra de tre foregående år ble skilt ut for analyse.

Prøvene ble innsamlet i perioden 15.5 – 15.8 2000 fra 464 lokaliteter innenfor et landsdekkende nett som vist i Fig. 1. Prøvenettet i 2000 er så å si identisk med tilsvarende nett for 1995-undersøkelsen.

## 2.2. Analyser

Mosene ble oppsluttet ved hjelp av mikrobølgeteknikk. Tørr mose (0.4-0.5g) ble nøyaktig innveid og tilsatt HNO<sub>3</sub> (5 ml suprapur). Følgende temperatur-program for mikrobølgeovn ble benyttet: 20-50 °C i løpet av 5 min, 50-220°C i løpet av 17 min og deretter 220 °C i 20 min. Etter avkjøling ble prøveløsningen fortynnet til 50 ml.

De analysemetodene som er brukt er de samme som i 1995-undersøkelsen. Prøveløsningen ble analysert direkte ved ICP massespektrometri (ICP-MS) etter en framgangmåte som er beskrevet i detalj tidligere (14). På denne måten ble det oppnådd tilfredsstillende data for 49 elementer, inklusive 9 av de tungmetallene som er prioritert i programmet. For bestemmelse av Hg ble en andel av løsningen tilsatt BrCl for stabilisering, og analysene ble utført ved atomfluorescens-spektrometri.

Kvalitetskontroll ble tatt hånd om ved analyse av to referanseprøver av mose (15), der det forelå anbefalte verdier for samtlige 10 prioriterte metaller såvel som et flertall av de øvrige rapporterte elementene. Resultater for disse to prøvene er sammenliknet med anbefalte referanseverdier i Tabell 1. Som det går fram av tabellen er resultatene for 9 av de 10 prioriterte grunnstoffene (V, Cr, Ni, Cu, Zn, As, Cd, Hg, Pb) i godt samsvar med referanseverdiene. Også for en rekke andre grunnstoffer (Co, Ga, Rb, Sr, Y, Sb, Cs, Ba, lantanoider (La - Yb), Tl, Th) er resultatene meget tilfredsstillende, de lave konsentrasjonsnivåene tatt i betraktning. For Fe er ICP-MS resultatene systematisk for høye, som de var det i 1995 (7). Generelt sett er resultatene for høye for de metallene som finnes i høyest konsentrasjon i mosen (Mg, Al, K, Ca). Analyse av mer fortynnede prøveløsninger ville ha gitt bedre resultater for disse metallene, men det ville ha fordyret prosjektet betydelig.

## 3. Resultater

I tillegg til data for de 10 prioriterte grunnstoffene (V, Cr, Fe, Ni, Cu, Zn, As, Cd, Hg, Pb) presenteres resultater for 40 grunnstoffer som kommer ut ved analysene i tillegg. Ikke alle disse stoffene forekommer i mosen på grunn av atmosfærisk nedfall (16), men noen av dem gjør det, og samtlige grunnstoffer er nevnt i diskusjonen.

Medianverdier, aritmetiske middelerverdier og konsentrasjonsområder for de 50 stoffene er gitt i Tabell 2. I tabell 3 er medianverdiene for 2000 sammenliknet med tilsvarende verdier fra de tidligere landsomfattende moseundersøkelsene. Isoplots som viser den geografiske fordelingen av de 10 prioriterte grunnstoffene er vist i Fig. 2-11, der de er sammenliknet med tilsvarende kart fra henholdsvis den første undersøkelsen i 1977 og forrige undersøkelse i 1995. Dessuten er det vist tilsvarende kart (Fig. 12) for Sb, den kanskje aller mest typiske eksponenten blant metallene for langtransport av aerosoler i luft.

## 4. Diskusjon

### 4.1. Generelle trekk

Ved diskusjon av analysedata for grunnstoffer i mose i relasjon til atmosfærisk nedfall er det viktig å merke seg at det ikke bare er nedfall av luftforurensninger fra lokale kilder og atmosfærisk langtransport som bestemmer sammensetningen i mosen (16). Følgende kilder er også av betydning:

- Naturlige kretsløpsprosesser, særlig atmosfærisk langtransport av stoffer fra det marine miljø.
- Opptak i høyere planter gjennom rotsystemet, og overføring til mosen gjennom strøfall eller ved utvasking fra levende og dødt plantevev.
- Mineralpartikler, hovedsakelig frigjort til luft ved vinderosjon av lokalt jordsmonn m.m.
- Opptak fra grunnen i perioder hvor jordoverflaten er dekket med vann.

Dette betyr at det alltid vil være et vist bakgrunnsnivå i mosen for samtlige grunnstoffer som forekommer i naturen, og dette vil kunne variere fra sted til sted avhengig av de prosessene som er nevnt ovenfor.

På tross av dette er det enkelt å identifisere trekk i materialet som åpenbart må ha med luftforurensning å gjøre. Det er f.eks. klart (1-8) at de relativt sett høyere verdiene i de sørligste delene av Norge for metaller som V, Zn, As, Cd, Sb, Hg og Pb i hovedsak har sammenheng med atmosfærisk transport fra andre deler av Europa, jfr. Fig. 2, 7, 8, 9, 10, 11, 12. Denne tendensen er også temmelig klar for andre grunnstoffer (Mo, Ag, Sn, Tl, Bi) som ikke er vist i figurform. Et gjennomgående trekk for disse metallene er at nedfallet har gått ytterligere ned fra 1995 til 2000. Grunnstoffer sterkt preget av nedfall fra punktkilder er Cr, Ni og Cu, og i noe mindre grad V, Fe, Co, Zn, Ga, As, Cd, Sn, Hg, Tl og Bi.

For mange av grunnstoffene er det også klare sammenhenger å spore med mekanismer uten tilknytning til forurensning. Grunnstoffer som Mg og Sr viser geografiske mønstre i mosen som klart peker i retning av bidrag fra det marine miljø. Tilførsel via høyere planters rotopptak og i visse perioder muligens direkte fra jordvæsken (17) er helt dominerende for Mn, gjør seg også klart gjeldende for Mg, Ca, Zn, Rb og Cs, og spiller dessuten en viss rolle for Cu og muligens for Cd. Bidrag fra lokalt mineralmateriale (vinderosjon etc.) er tidligere antatt å være en dominerende forklaringsfaktor for Li, Al, Y, lantanoider, Th, U og utenfor områder sterkt preget av lokale forurensningsutslipp også for V, Cr, Fe og Co (6). Denne faktoren er sannsynligvis også dominerende for de stoffene som ikke er nevnt ovenfor (Be, Ti, Zr, Nb, Hf, Ta, W).

Det er imidlertid grunn til å merke seg at nivåene i mosen av noen av de stoffene som er antatt å stamme fra lokale jordpartikler (f.eks. Al) har avtatt jevnt og trutt i Norge i løpet av de snart 25 årene moseundersøkelsene har pågått, jfr. Tabell 3. Sammenlikner vi 1995 og 2000 er det en nedgang å spore for så godt som samtlige stoffer i denne gruppen, mens de stoffene som presumptivt tilføres hovedsakelig via høyere planter (Mg, Ca, Mn, Rb) ikke har avtatt tilsvarende. Dette kan tyde på at disse såkalte lithofile grunnstoffene også har andre kilder, f.eks. langtransport av flygeaske fra kullforbrenning m.m. En tilsvarende nedgang over tid er vist for Fe i svenske moseundersøkelser (18).

## 4.2 Diskusjon av stoffer som klart kan relateres til luftforurensning

I dette kapitlet er det gitt en nærmere diskusjon av de grunnstoffene som enten domineres av atmosfærisk langtransport eller slippes ut til luft fra lokale kilder i et betydelig omfang. En mer omfattende diskusjon av nedfall av tungmetaller og andre grunnstoffer i nærområdene til et antall større industribedrifter i Norge, også basert på innsamling av moseprøver sommeren 2000, er gitt i en separat rapport (19).

### 4.2.1 Vanadium (V)

Nedfallet av V fra atmosfærisk langtransport har avtatt gradvis siden 1977, og bidraget har gått ytterligere ned fra 1995 (Fig.2).

### 4.2.2 Krom (Cr)

Situasjonen er den samme som i 1995 (Fig.3): Lavt nedfall i landet generelt, høyt i nærområdet til ferrokrom-bedriften i Mo i Rana.

### 4.2.3 Jern (Fe)

Nivået i mose har avtatt noe over tid, og er ganske jevnt over landet (Fig.4) bortsett fra Mo i Rana der lokal industri stadig bidrar til nedfall, men kanskje noe mindre enn i 1995.

### 4.2.4 Kobolt (Co)

Bortsett fra et tydelig forurensningsbidrag i Varanger-området fra industri på Kola skyldes Co i mose hovedsakelig støv fra lokalt jordsmonn.

### 4.2.5 Nikkel (Ni)

Situasjonen er omtrent den samme som i 1995, men det generelle nivået ser ut til å ha avtatt (Fig.5). Bidrag fra kilder på Kola og i mindre grad rundt Kristiansand og Årdal viser ingen vesentlig endring.

### 4.2.6 Kopper (Cu)

Situasjonen for Cu (Fig.6) har endret seg relativt lite fra 1995, med industrien på Kola som den stadig dominerende kilden.

### 4.2.7 Sink (Zn)

Bidraget fra atmosfærisk langtransport (Fig.7) er ytterligere redusert fra 1995. Industrien i Odda bidrar stadig til nedfall i nærområdet omtrent som tidligere.

### 4.2.8 Gallium (Ga)

Ga følger stort sett den gruppen som har sammenheng med jordstøv. Dette grunnstoffet er geokjemisk nær beslektet med Al, og viser forhøyede verdier i mosen nær de fleste aluminiumverk i landet.



#### 4.2.9. Arsen (As)

Bidraget fra atmosfærisk langtransport (Fig.8) har avtatt kraftig siden 1970-tallet, og viser også en betydelig nedgang siden 1995. Lokalt registreres som tidligere nedfall i Varangerområdet fra industri på Kola og rundt industrier i Sauda, Årdal og Odda, i Sauda høyere enn i 1995.

#### 4.2.10. Kadmium (Cd)

Ytterligere reduksjon i bidraget fra atmosfærisk langtransport registeres siden 1995-undersøkelsen (Fig.9). Det lokale nedfallet fra industri i Odda viser liten endring fra tidligere.

#### 4.2.11. Tinn (Sn)

Bidrag fra atmosfærisk langtransport til nedfall av Sn, som ble påvist for første gang i 1995-undersøkelsen, er stadig merkbart, men har avtatt siden forrige undersøkelse.

#### 4.2.12. Antimon (Sb)

Tidsutviklingen for Sb i mose (Fig.12) er atter et eksempel på den store nedgangen i nedfall av metaller fra atmosfærisk langtransport som har funnet sted i Norge over de siste 20-25 år.

#### 4.2.13. Kvikksølv (Hg)

Mens nivå og geografisk fordeling av Hg i mose var tilnærmet konstant i Norge i perioden 1985-1995 (7,8) viser resultatene fra 2000 en generell nedgang, bortsett fra det lokale nedfallet i Odda som er omtrent som før. Det relativt jevne nivået av Hg i mose over landet er tidligere tolket som at det skjer et betydelig nedfall av Hg<sup>0</sup>, som styres av det generelle konsentrasjonsnivået i luft på den nordlige halvkule samt sommer-temperaturene i ulike deler av landet. Det markert lavere Hg-nivået i mose i 2000 kan derfor synes noe overraskende. Re-analyse av prøver fra 1995 samtidig med analysene av 2000-materialet viste et tilnærmet identisk nivå for Hg, noe som viser at det generelt lavere nivået i 2000 ikke skyldes analysefeil.

#### 4.2.14. Bly (Pb)

Nedfallet av Pb i Norge (Fig.11) er omtrent halvert siden 1995-undersøkelsen, og bidraget fra atmosfærisk langtransport er nå mindre enn 10% av hva det var i den første nedfallsundersøkelsen i 1977.

#### 4.2.15. Andre grunnstoffer

Av de øvrige grunnstoffene som er undersøkt men ikke er nevnt spesielt ovenfor, er Mo, Ag, Tl og Bi knyttet til langtransportert forurensning og i noen grad også til utslipp fra lokale kilder. De resterende 31 stoffene finnes stort sett i mosen på grunn av naturlige prosesser, jfr. diskusjonen i kap. 4.1.

### 4.3. Utvikling fra 1995 til 2000

Atmosfærisk nedfall av tungmetaller i Norge har i alle år siden målingene startet vært sterkt dominert av atmosfærisk langtransport fra land i andre deler av Europa, men nivåene har gradvis avtatt og er i dag vesentlig lavere enn de var på 1970-tallet. Mens resultatene av 1995-undersøkelsen kunne tyde på at nedgangen var i ferd med å stoppe opp for noen elementer (7), viser resultatene fra den foreliggende en ytterligere nedgang for samtlige elementer som er funnet å ha atmosfærisk langtransport som hovedkilde.

Dette betyr at enkelt-kilder innenfor landet eller i naboland nær vår grense relativt sett spiller en større rolle for det totale nedfallet av flere tungmetaller i Norge enn tidligere. Eksempler på utslipp av betydning som ikke synes å ha avtatt i forhold til tidligere nedfallsundersøkelser er bidraget av Cu og Ni fra smelteverk på Kola, Cr i Mo i Rana og Zn og Cd i Odde.

Et par tilsynelatende nye trekk kan nevnes. Moseprøver innsamlet lengst sør i Østfold viser forhøyet innhold av flere tungmetaller i forhold til tidligere undersøkelser. Et annet eksempel er ytre Nord-Trøndelag, der verdier over bakgrunnen registreres for noen metaller i enkelte prøver fra Rørvik-området. Særlig i det førstnevnte tilfellet er økningen så vidt markert at det kunne være grunn til å mistenke nye utslipp til luft enten i Halden-området eller på svensk side nær grensen.

## 5. Etterord

Forfatterne vil takke Natalia Castberg, Siri Sekkesæter, Anita Storsve og Anne-Kari Valdal for verdifull teknisk assistanse.

## 6. Litteratur

1. J. Schaug, J.P. Rambæk, E. Steinnes og R.C. Henry: "Multivariate analysis of trace element data from moss samples used to monitor atmospheric deposition". *Atmos. Environ.* 24A, 2625-2631 (1990).
2. E. Steinnes, J.P. Rambæk og J.E. Hanssen: "Large scale multi-element survey of atmospheric deposition using naturally growing moss as biomonitor". *Chemosphere* 35, 735-752 (1992).
3. E. Steinnes, F. Frantzen, O. Johansen, J.P. Rambæk og J.E. Hanssen: "Atmosfærisk nedfall av tungmetaller i Norge. Landsomfattende undersøkelse 1985." Statlig program for forurensningsovervåking, Rapport 334 (1988). Statens forurensningstilsyn, Oslo.
4. E. Steinnes, J.E. Hanssen, J.P. Rambæk og N.B. Vogt: "Atmospheric deposition of trace elements in Norway: temporal and spatial trends studied by moss analysis". *Water, Air, Soil Pollut.* 74, 121-140 (1994).
5. E. Steinnes, O. Røyset, M. Vadset og O. Johansen: "Atmosfærisk nedfall av tungmetaller i Norge. Landsomfattende undersøkelse 1990". Statlig program for forurensningsovervåking, Rapport 523 (1993). Statens forurensningstilsyn, Oslo.
6. T. Berg, O. Røyset og E. Steinnes: "Atmospheric trace element deposition: Principal component data from ICP-MS data from moss samples". *Environ. Pollut.* 88, 67-77 (1995).
7. E. Steinnes, T. Berg, M. Vadset og O. Røyset: "Atmosfærisk nedfall av tungmetaller i Norge. Landsomfattende undersøkelse i 1995". Statlig program for forurensningsovervåking, Rapport 691 (1997). Statens forurensningstilsyn, Oslo.
8. T. Berg og E. Steinnes: "Recent trends in atmospheric deposition of trace elements in Norway as evident from the 1995 moss survey". *Sci. Total Environ.* 208, 197-206 (1997).
9. Å. Rühling, L. Rasmussen, K. Pilegaard, A. Mäkinen og E. Steinnes: "Survey of atmospheric heavy metal deposition in Nordic countries in 1985". Rapport NORD 1987:21, Nordisk Ministerråd, København 1987, 44 pp.
10. Å. Rühling, G. Brumelis, N. Goltsova, K. Kvietkus, E. Kubin, S. Liiv, S. Magnusson, A. Mäkinen, K. Pilegaard, L. Rasmussen, E. Sander og E. Steinnes: "Atmospheric Heavy Metal Deposition in Northern Europe 1990." Rapport NORD 1992:12, Nordisk Ministerråd, København (1992), 41 pp.
11. Å. Rühling og E. Steinnes, red.: "Atmospheric Heavy Metal Deposition in Europe 1995 - 1996". Rapport NORD 1998:15, Nordisk Ministerråd, København 1998, 66 pp.

12. T. Berg, O. Røyset og E. Steinnes: "Moss (*Hylocomium splendens*) used as biomonitor of atmospheric trace element deposition: Estimation of uptake efficiencies". *Atmos. Environ.* 29, 353-360 (1995).
13. T. Berg og E. Steinnes: "Use of mosses (*Hylocomium splendens* and *Pleurozium schreberi*) as biomonitors of heavy metal deposition: From relative to absolute values". *Environ. Pollut.* 98, 61-71 (1997).
14. O. Røyset, M. Vadset, O. Johansen og E. Steinnes: "Multielement ICPMS Analysis of Moss used as Biomonitor of Air Pollutants". Rapport TR 1/95, Norsk institutt for luftforskning, Kjeller, (1995).
15. E. Steinnes, Å. Rühling, H. Lippo og A. Mäkinen: "Reference materials for large-scale metal deposition surveys". *Accred. Qual. Assur.* 2, 243-249 (1997).
16. E. Steinnes: "A critical evaluation of the use of naturally growing moss to monitor the deposition of atmospheric metals". *Sci. Total Environ.* 160/161, 243-249 (1995).
17. T. Økland, R.H. Økland og E. Steinnes: "Element concentrations in the boreal forest moss *Hylocomium splendens*: variation related to gradients in vegetation and local environmental factors". *Plant and Soil* 209, 71-83 (1999).
18. Å. Rühling og G. Tyler: "Changes in atmospheric deposition rates of heavy metals in Sweden". *Water, Air, Soil Pollut.: Focus* 1, 311-323 (2001)
19. E. Steinnes, T. Berg, T.E. Sjøbakk og M. Vadset: "Nedfall av tungmetaller rundt utvalgte norske industrier". Statlig program for forurensningsovervåking, Rapport 831 (2001). Statens forurensningstilsyn, Oslo.

Tabell 1. Analyse av referansematerialene M-2 og M-3 med hensyn på 50 grunnstoffer (ppm): Sammenlikning med anbefalte litteraturverdier (15). NILUs verdier er gjennomsnitt av 5 paralleller med standard avvik.

Element	M-2		M-3	
	NILU	Anbefalt	NILU	Anbefalt
Li	0.08±0.04	-	0.07±0.01	-
Be	<0.02	-	>0.01	-
Mg	990±170	826	1020±200	755
Al	265±40	178	220±60	169
Ca	2460±380	1910	2680±510	1920
Ti	29±5	-	25±4	-
V	1.33±0.11	1.43	1.14±0.12	1.19
Cr	1.2±0.7	0.97	0.7±0.3	0.67
Mn	360±80	342	440±120	535
Fe	360±80	262	220±40	138
Co	0.94±0.08	0.98	0.101±0.016	0.115
Ni	16.3±1.7	16.3	1.10±0.20	0.95
Cu	65±7	68.7	3.7±0.6	3.76
Zn	36±6	36.1	24±4	25.4
Ga	0.100±0.021	(0.113)	0.095±0.021	(0.084)
As	0.85±0.07	0.98	0.09±0.03	0.105
Rb	37.8±2.9	39.6	18.7±1.4	19.5
Sr	5.0±0.4	5.31	4.2±0.5	4.64
Y	0.089±0.013	(0.099)	0.062±0.011	0.067
Zr	0.23±0.06	-	0.17±0.05	-
Nb	0.031±0.007	-	0.021±0.006	-
Mo	0.19±0.05	(0.23)	0.05±0.03	(0.10)
Ag	0.13±0.07	(0.137)	0.03±0.02	(0.027)
Cd	0.47±0.03	0.454	0.09±0.03	0.106
Sn	0.63±0.06	-	0.070±0.009	-
Sb	0.159±0.022	0.210	0.038±0.011	-

(Fortsettes neste side)

Tabell 1 forts.). Analyse av referansematerialene M-2 og M-3 med hensyn på 50 grunnstoffer (ppm): Sammenlikning med anbefalte verdier (15). NILUs verdier er gjennomsnitt av 5 paralleller med standard avvik.

Element	M-2		M-3	
	NILU	Anbefalt	NILU	Anbefalt
Cs	0.48±0.04	0.55	0.169±0.020	0.189
Ba	17.6±2.7	17.6	0.111±0.013	0.131
La	0.167±0.029	0.195	0.111±0.013	0.131
Ce	0.33±0.03	(0.35)	0.23±0.03	(0.25)
Pr		-		-
Nd	0.155±0.029	-	0.097±0.017	-
Sm	0.034±0.012	(0.031)	0.015±0.009	(0.020)
Eu		-		-
Gd	0.024±0.011	-	0.015±0.004	-
Tb		-		-
Dy	0.021±0.006	-	0.009±0.004	-
Ho		-		-
Er	0.008±0.004	-	0.006±0.003	-
Tm		-		-
Yb	0.009±0.003	-	0.005±0.004	-
Hf	0.007±0.005	-	<0.005	-
Ta	<0.002	-	<0.002	-
W	0.04±0.02	-	<0.02	-
Hg	0.049±0.002	0.058	0.037±0.002	0.035
Tl	0.046±0.010	(0.048)	0.044±0.005	(0.053)
Pb	7.04±0.51	6.37	3.44±0.22	3.33
Bi	0.125±0.023	-	0.014±0.005	-
Th	0.042±0.010	0.042	0.023±0.008	0.027
U	0.013±0.008	(0.021)	0.008±0.006	(0.013)

Tabell 2. Medianverdi, aritmetisk middel, laveste og høyeste konsentrasjon av 50 grunnstoffer i 464 prøver av mose innsamlet i 2000.

Element	Median	Middelverdi	Minimum	Maksimum
Li	0.10	0.15	0.001	4.4
Be	0.008	0.016	0.001	0.26
Mg	1543	1633	645	3678
Al	350	474	97	10970
Ca	3120	3385	1379	22512
Ti	31	40	10	414
V	1.35	1.68	0.28	22.6
Cr	0.69	2.1	0.058	259
Mn	333	436	28.0	5415
Fe	362	519	99	11216
Co	0.17	0.26	0.014	2.6
Ni	1.1	1.9	0.057	72.1
Cu	4.2	5.1	1.7	52.7
Zn	32.0	39.3	9.7	661
Ga	0.11	0.15	0.032	6.6
As	0.135	0.184	0.0023	2.63
Rb	9.9	11.6	1.2	50.7
Sr	11.5	13.0	2.0	74.2
Y	0.15	0.22	0.023	3.8
Zr	0.20	0.28	0.049	5.4
Nb	0.043	0.064	0.001	0.71
Mo	0.108	0.139	0.0087	2.42
Ag	0.021	0.027	0.0017	0.27
Cd	0.087	0.12	0.001	2.65
Sn	0.12	0.16	0.008	1.3
Sb	0.056	0.081	0.001	0.46
Cs	0.129	0.195	0.010	2.06
Ba	19.2	22.8	4.3	217
La	0.28	0.41	0.049	9.0
Ce	0.54	0.80	0.098	17.6
Pr	0.061	0.091	0.009	2.1
Nd	0.22	0.33	0.032	7.8
Sm	0.042	0.060	<0.0005	1.5
Eu	0.010	0.014	<0.0003	0.24
Gd	0.038	0.056	0.001	1.4
Tb	0.005	0.007	<0.0001	0.16
Dy	0.031	0.043	<0.0003	0.97
Ho	0.005	0.008	<0.0001	0.15
Er	0.015	0.021	<0.0002	0.35
Tm	0.002	0.003	<0.00009	0.056
Yb	0.013	0.019	<0.0003	0.30
Hf	0.006	0.009	0.001	0.16
Ta	<0.0005	0.003	<0.0005	0.14
W	0.040	0.057	0.002	0.89
Hg	0.054	0.063	0.021	0.467
Tl	0.034	0.073	<0.0003	2.2
Pb	2.70	3.87	0.50	27.70
Bi	0.011	0.021	<0.0004	0.56
Th	0.054	0.077	<0.0002	1.7
U	0.017	0.024	<0.0004	0.37

Tabell 3. Medianverdier for grunnstoffer i mose fra de landsomfattende nedfallskartleggingene i Norge i perioden 1977-2000.

Antall prøver: 2000: 464. 1995: 464. 1990: 494. 1985: 519. 1977: 514.

Element	2000	1995	1990	1985	1977
Li	0.10	0.18	0.22		
Be	0.008	0.019	<0.02		
Mg	1540	1400	1200		
Al	350	290	430	800	760
Ca	3120	3200	2800		
Ti	31	43			
V	1.35	2.3	2.4	3.1	2.5
Cr	0.69	1.0	0.90	1.6	1.7
Mn	330	250	300		250
Fe	360	470	470	660	540
Co	0.17	0.24	0.25	0.32	0.22
Ni	1.1	1.6	1.6	2.0	1.6
Cu	4.2	5.2	5.2	4.9	5.7
Zn	32	38	36	35	33
Ga	0.11		0.20		
As	0.135	0.21	0.27	0.38	0.32
Rb	9.9	11	10		9.5
Sr	11.5	13	13		
Y	0.15	0.23	0.22		
Zr	0.20	0.25			
Nb	0.043	0.078			
Mo	0.108	0.16	0.15		0.1
Ag	0.021	0.03			0.07
Cd	0.087	0.13	0.13	0.17	0.2
Sn	0.12	0.17			
Sb	0.056	0.092	0.09	0.16	0.17
Cs	0.129	0.18	0.18		0.12
Ba	19.2	24	24		
La	0.28	0.41	0.44		0.46
Ce	0.54	0.81			
Pr	0.061	0.098			
Nd	0.22	0.38			
Sm	0.042	0.072			0.068
Eu	0.010	0.018			
Gd	0.038	0.069			
Tb	0.005	0.0095			
Dy	0.031	0.054			
Ho	0.005	0.010			
Er	0.015	0.028			
Tm	0.002	0.0036			
Yb	0.013	0.023			
Hf	0.006	0.004			
Ta	<0.0005				
W	0.040	0.060			
Hg	0.054	0.068	0.06		
Tl	0.034	0.06	0.08		
Pb	2.70	5.8	9.3	11	15
Bi	0.011	0.019	0.03		
Th	0.054		0.08		0.084
U	0.017	0.038	0.04		





Fig.1. Prøvelokaliteter for nedfallsundersøkelsene i 1977, 1995 og 2000.

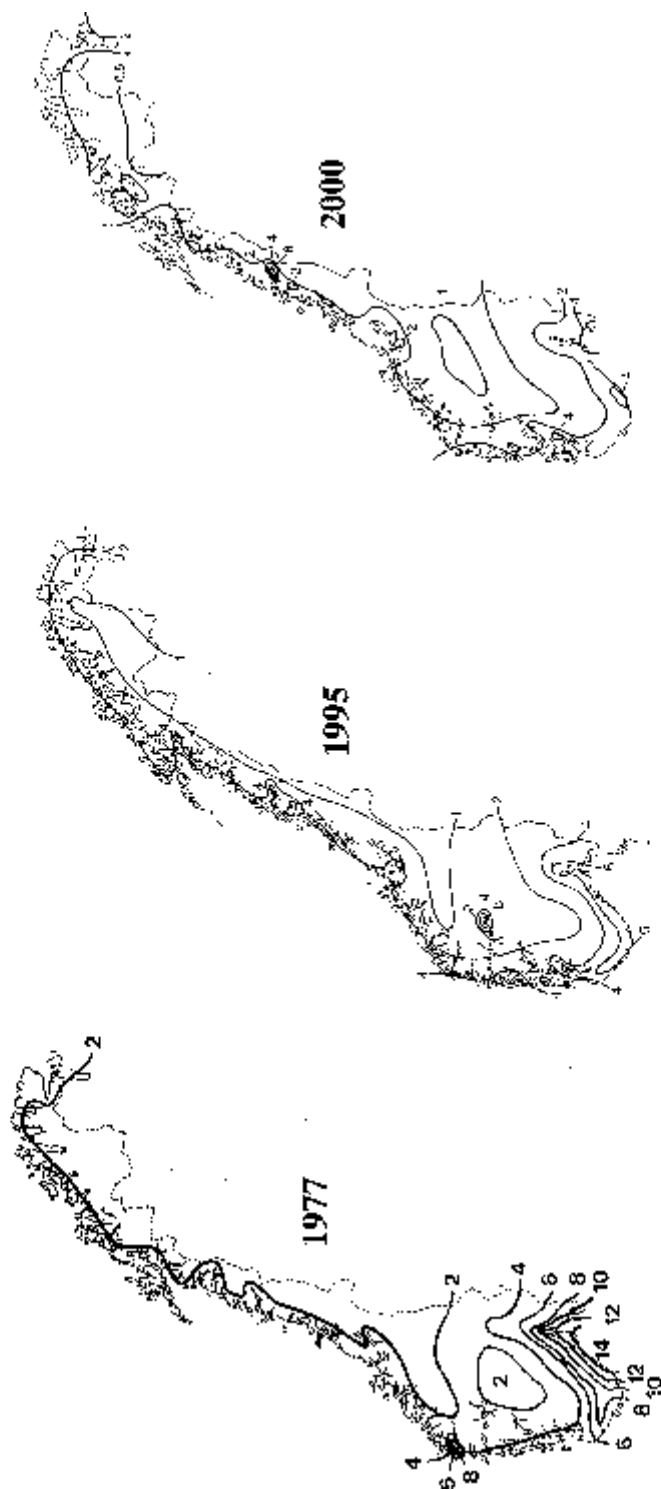


Fig. 2. Atmosfærisk nedfall av vanadium i Norge ved tre ulike tidspunkter, illustrert ved konsentrasjon i mosse (ppm V).

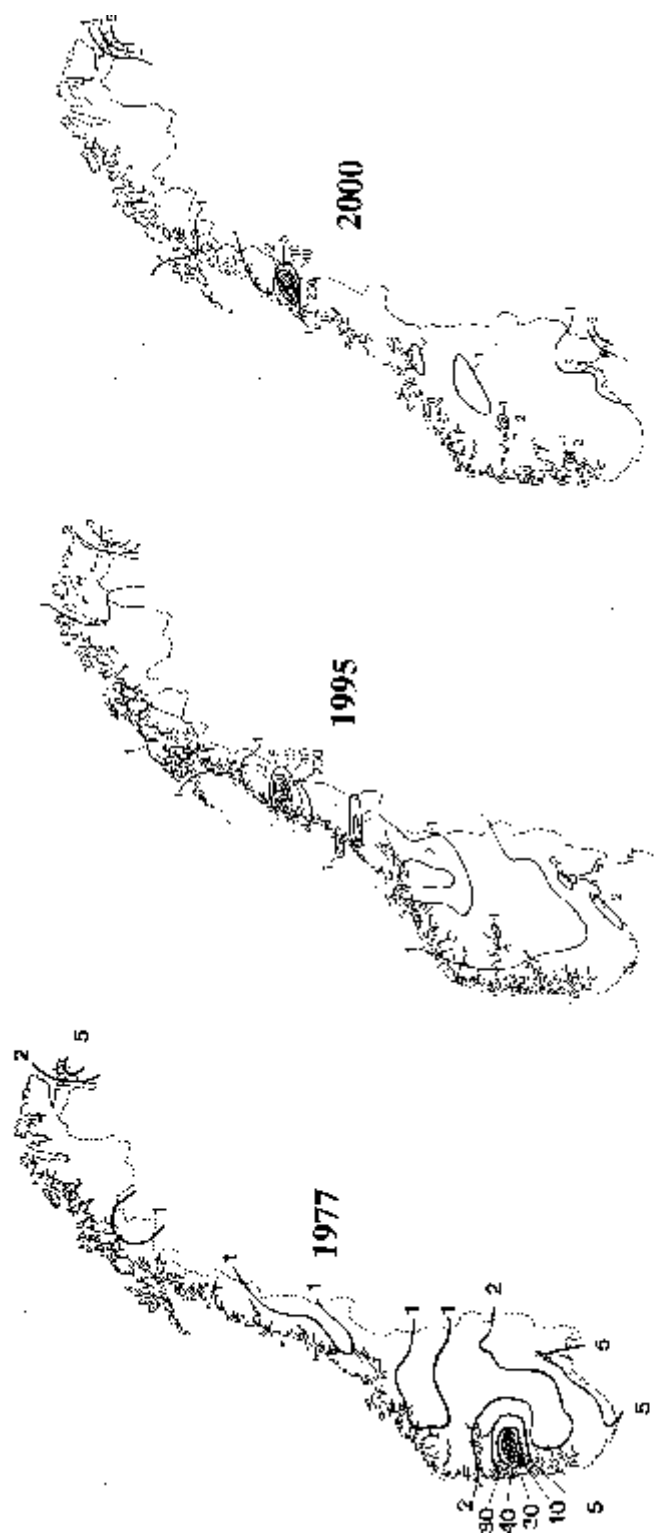


Fig.3. Atmosferisk nedfall av krom i Norge ved tre ulike tidspunkter, illustrert ved konsentrasjon i mosse (ppm Pb).

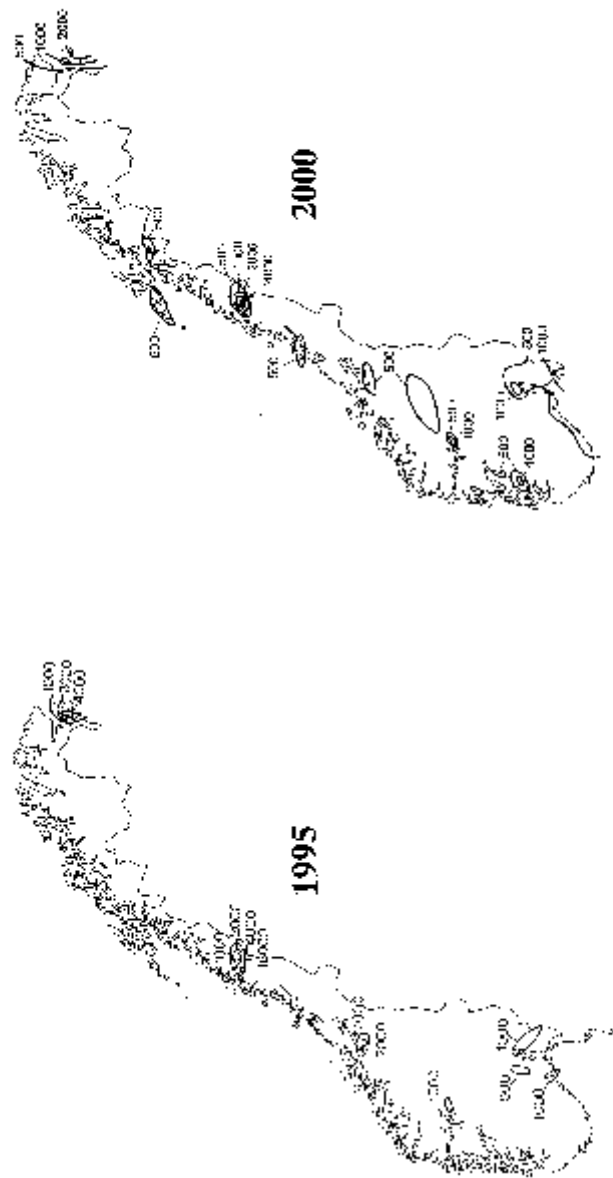


Fig. 4. Atmosferisk nedfall av jern i Norge ved to ulike tidspunkter, illustrert ved konsentrasjon i mose (ppm Fe).

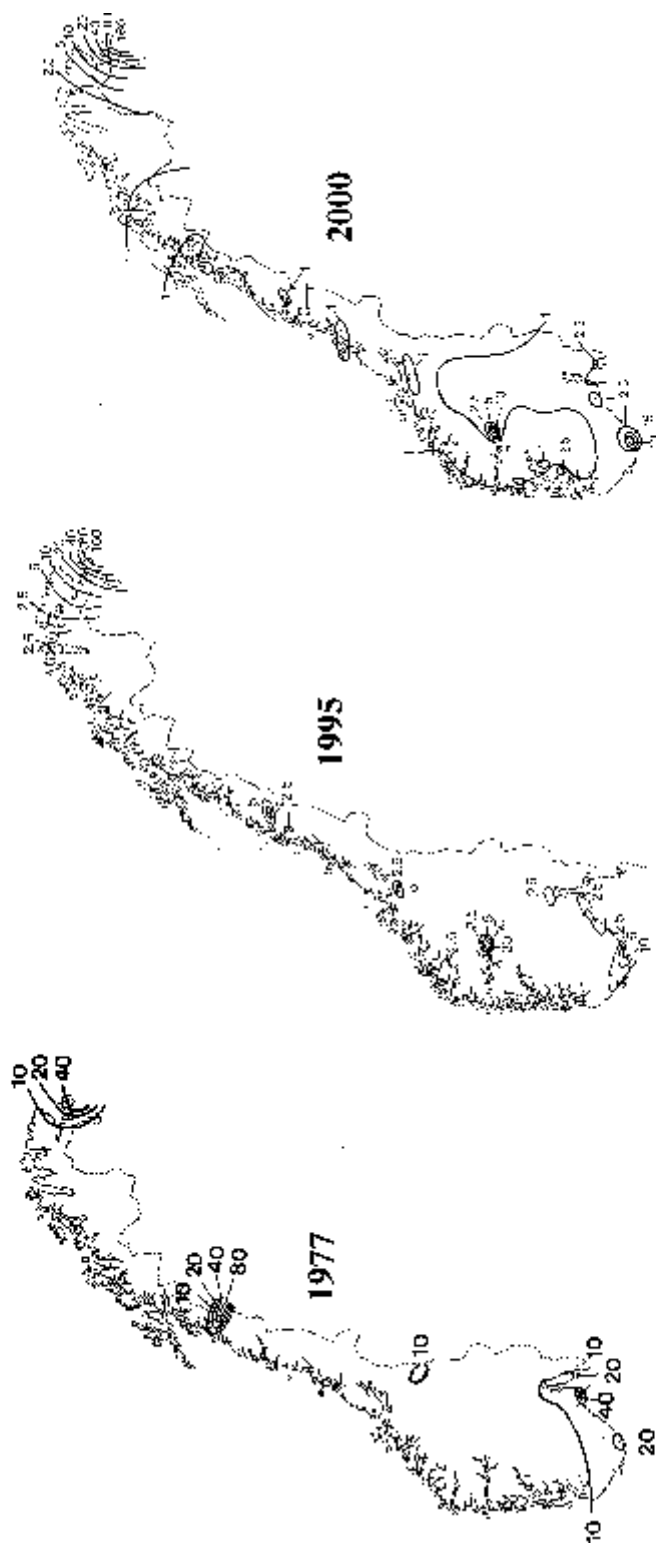


Fig. 5. Atmosferisk nedfall av nikkel i Norge ved tre ulike tidspunkter. Illustrert ved konsentrasjon i mose (ppm Ni).

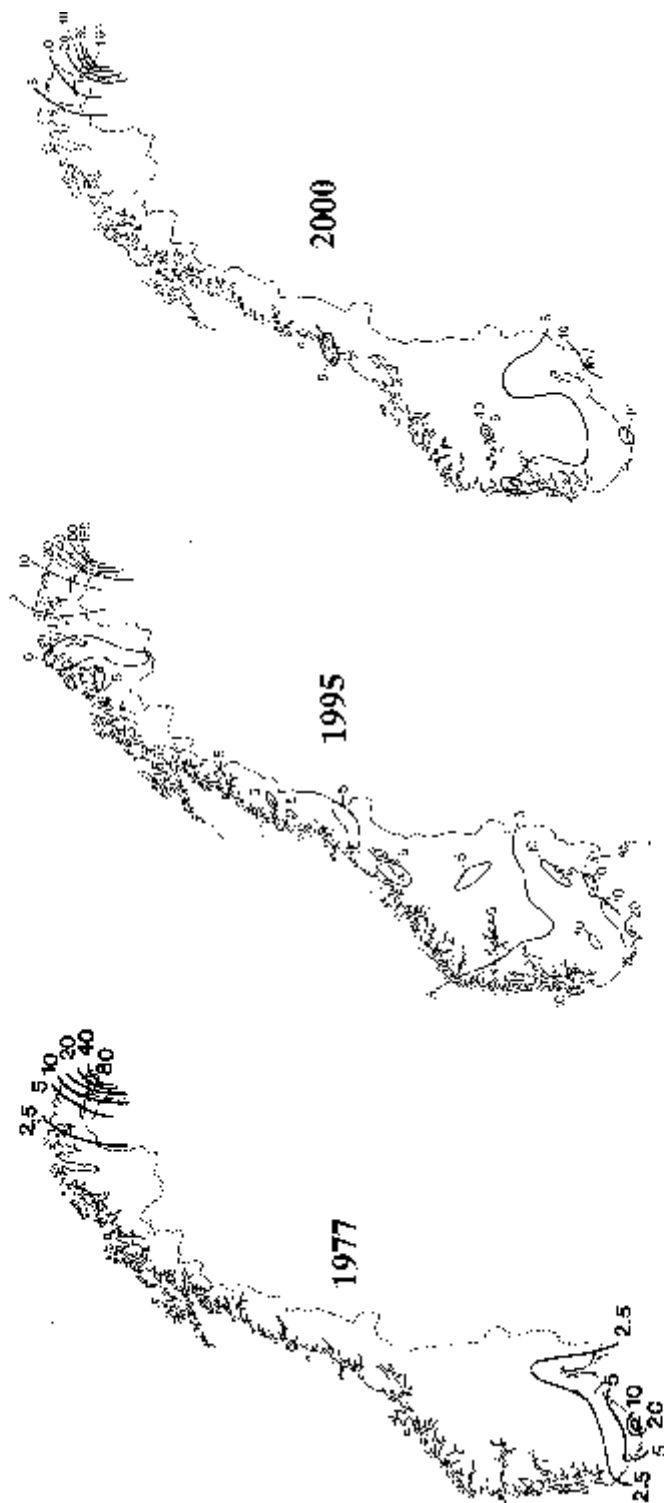


Fig.6. Atmosfærisk nedfall av kopper i Norge ved tre ulike tidspunkter, illustrert ved konsentrasjon i muse (ppm Cu).

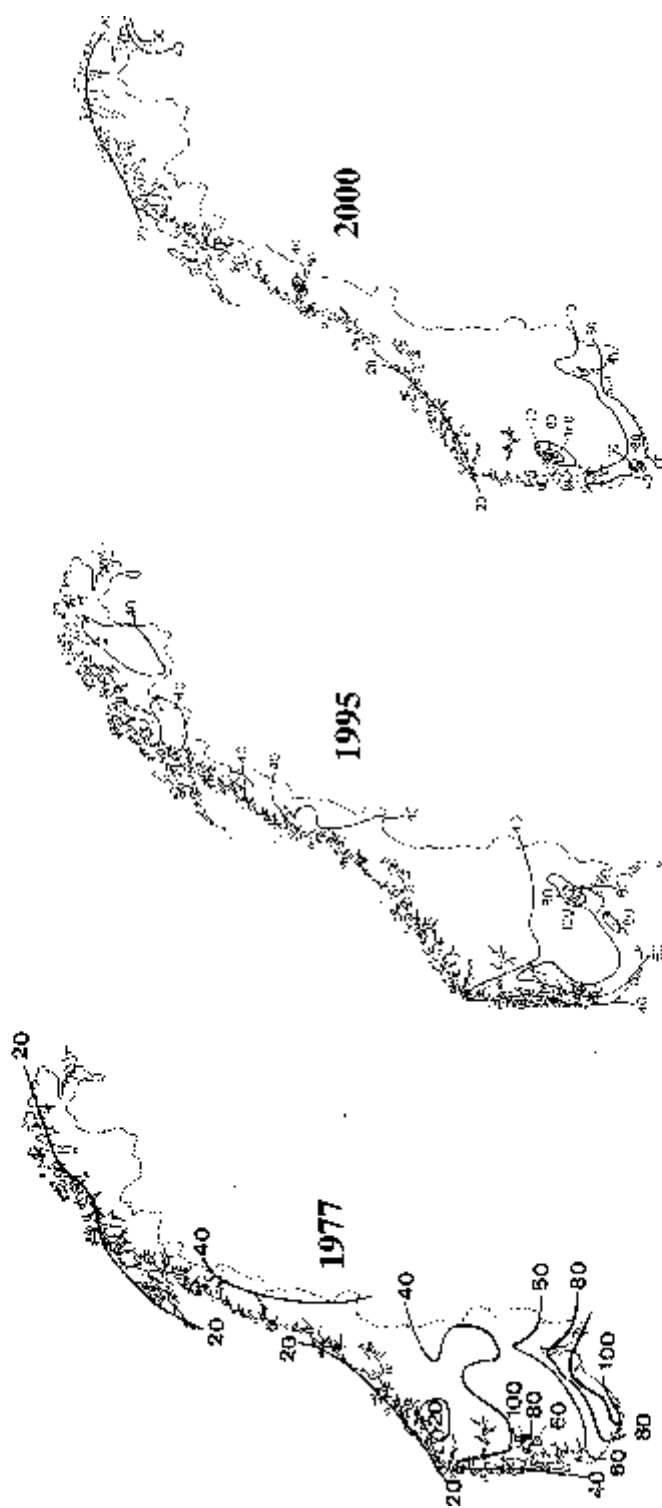


Fig.7. Atmosfærisk nedfall av sink i Norge ved tre ulike tidspunkter, illustrert ved konsentrasjon i nese (ppm Zn).

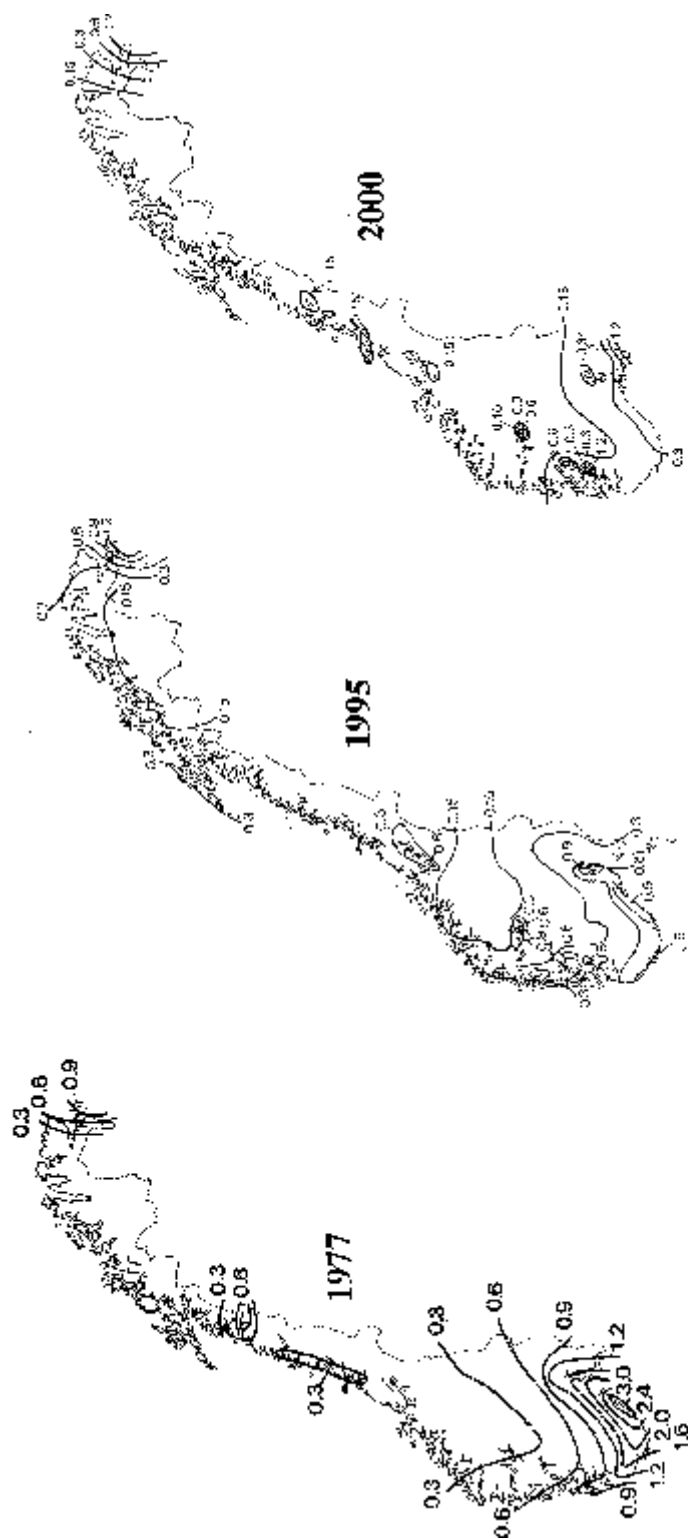


Fig. 8. Atmosfærisk nedfall av arsen i Norge ved tre ulike tidspunkter, illustrert ved konsentrasjon i mosse (ppm As).



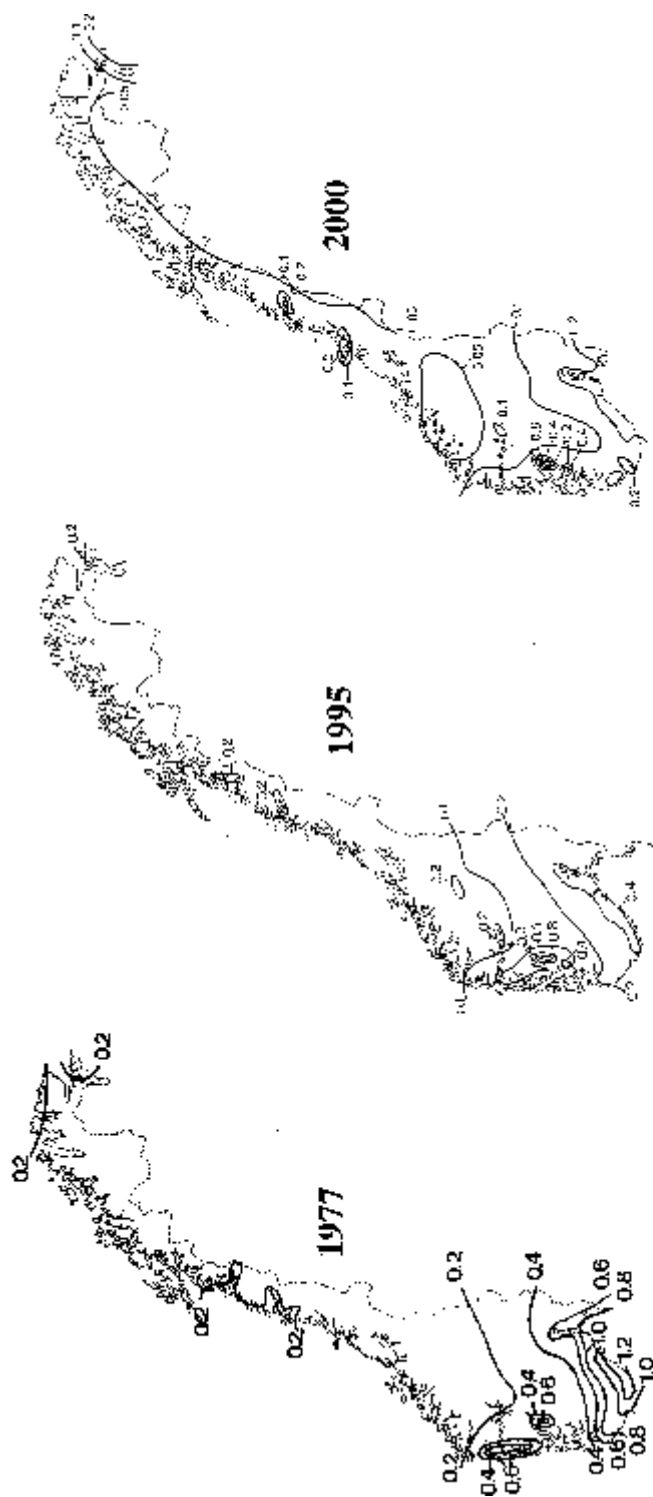


Fig. 9. Atmosferisk nedfall av kadmium i Norge ved tre ulike tidspunkter, illustrert ved konsentrasjon i mosse (ppm Cd).

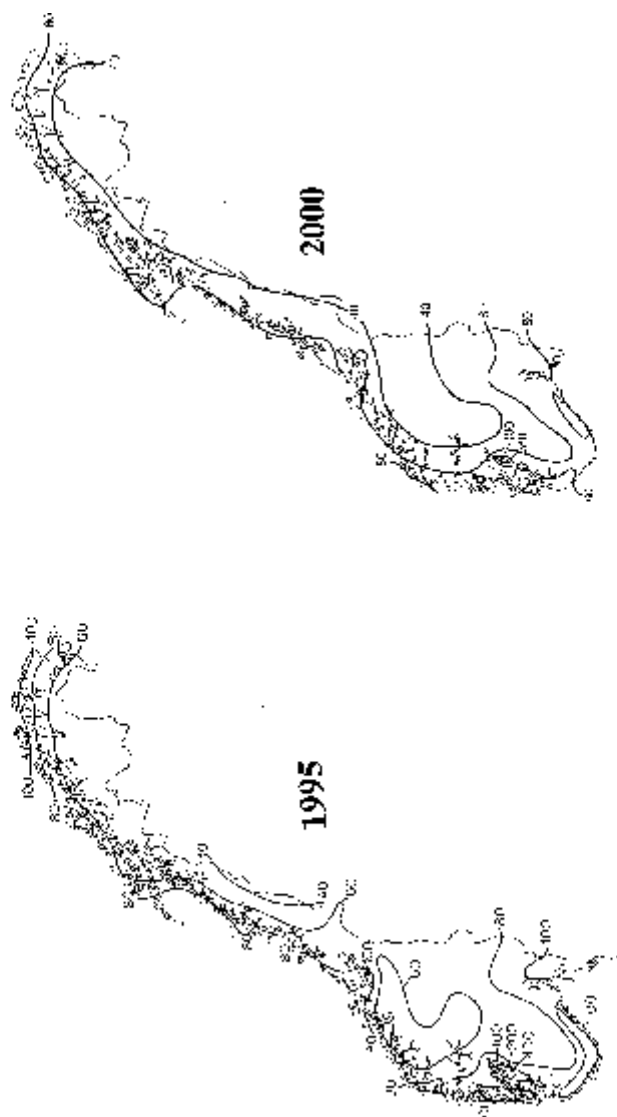


Fig.10. Atmosfærisk nedfall av kvikksølv i Norge ved to ulike tidspunkter. Illustrert ved konsentrasjon i mose (ppm (Fig)).

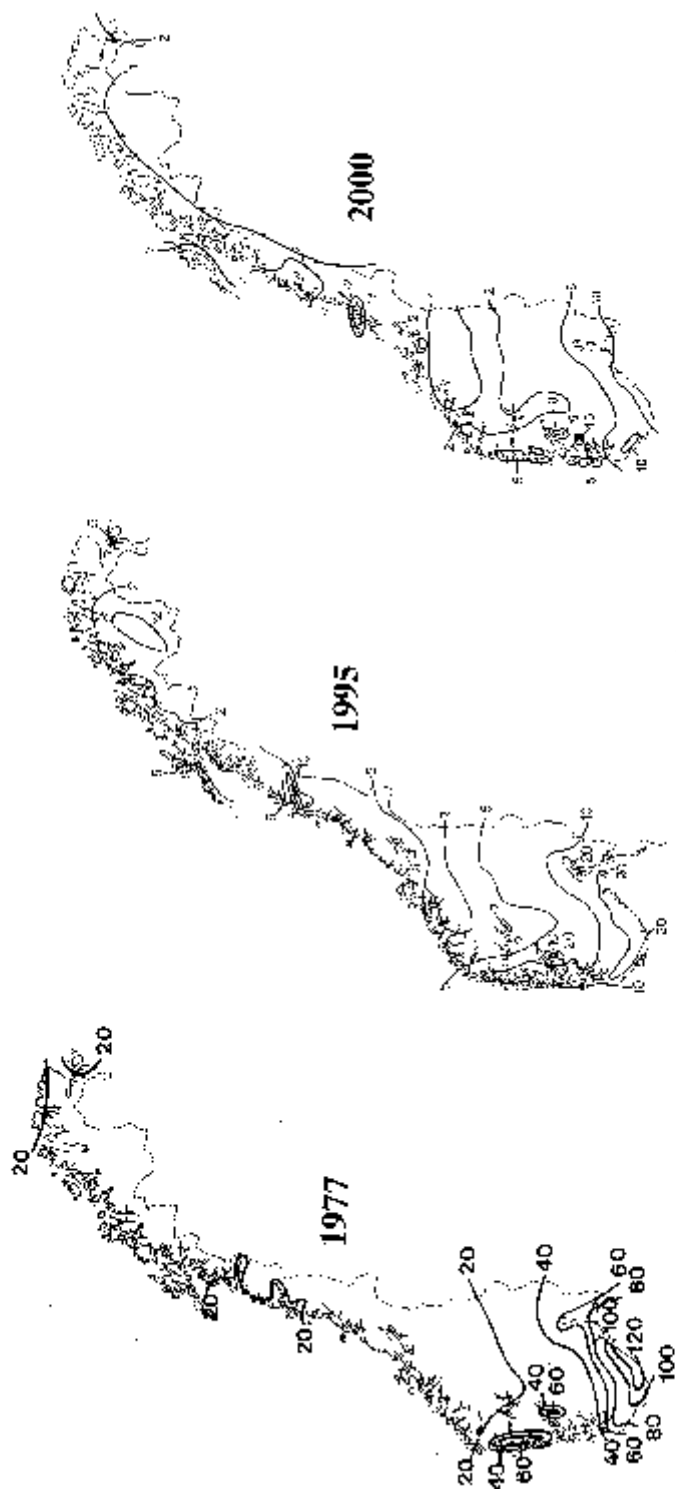


Fig. 11. Atmosfærisk nedfall av bly i Norge ved tre ulike tidspunkter, illustrert ved konsentrasjon i nese (ppm Pb).

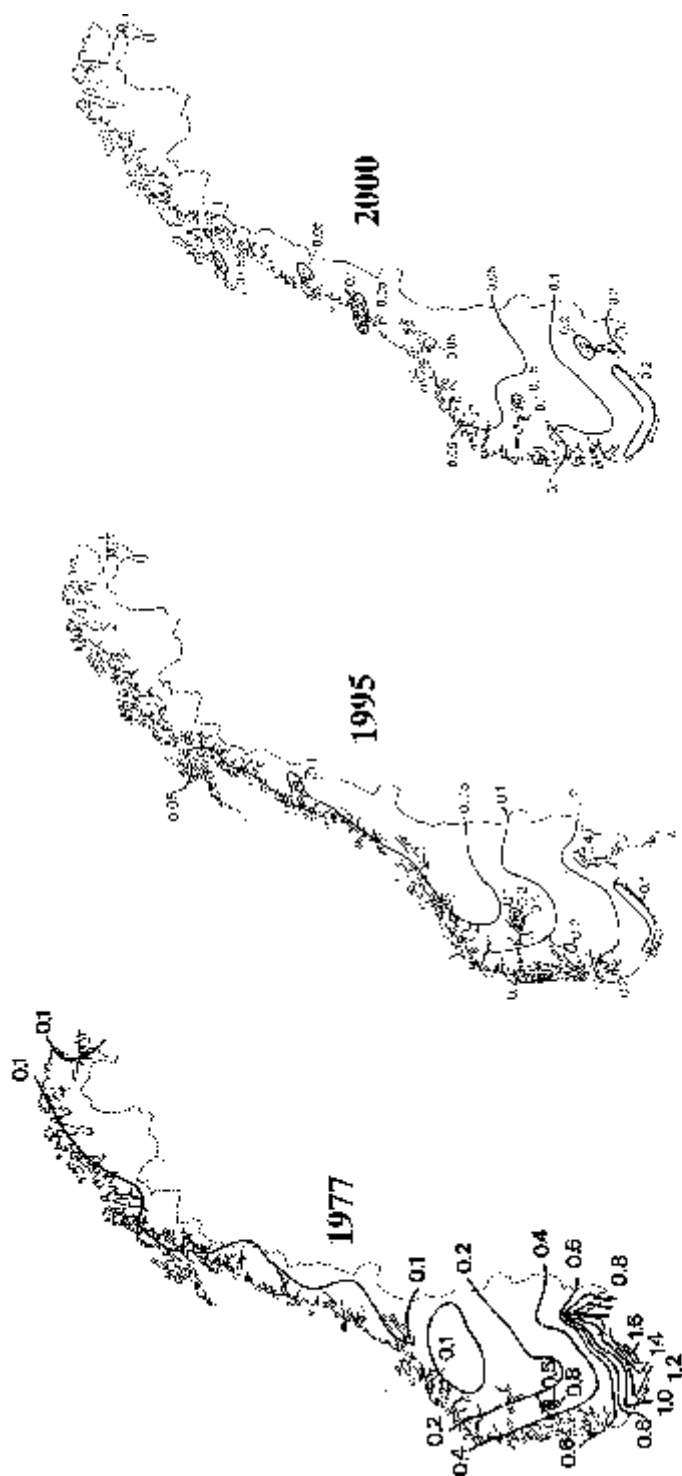


Fig. 12. Atmosfærisk nedfall av antimon i Norge ved tre ulike tidspunkter. Illustrert ved konsentrasjon i mosse (ppm Sb).

**Statens forurensningstilsyn (SFT)**

Postboks 8100 Dep, 0032 OSLO

Besøksadresse: Strømsveien 96

Telefon: 22 57 34 00

Telefaks: 22 67 67 06

E-post: postmottak@sft.no

Internett: www.sft.no

Utførende institusjon Institutt for kjemi, NTNU, 7491 Trondheim	Kontaktperson SFT Linn Bryhn Jacobsen	ISBN-nummer 82-7655-436-9
--	--	------------------------------

Statlig program for forurensningsovervåking Rapport nr 838/01	Avdeling i SFT Samfunnsavdelingen	TA-nummer 1842/2001
--	--------------------------------------	------------------------

Oppdragstakers prosjektansvarlig Eiliv Steinnes	År 2001	Sidetall 16	SFTs kontraktnummer 2001047
--	------------	----------------	--------------------------------

Utgiver Statens forurensningstilsyn	Prosjektet er finansiert av Statens forurensningstilsyn
--	--

## Tittel - norsk og engelsk

Atmosfærisk nedfall av tungmetaller i Norge. Landsomfattende undersøkelse i 2000

Atmospheric deposition of heavy metals in Norway. Nationwide survey in 2000.

## Sammendrag - summary

This report presents a survey of the atmospheric deposition of heavy metals in Norway as evident from analysis of moss samples collected in 2000 at 464 sites distributed all over the country. Results for 50 elements are discussed and compared with corresponding data from previous deposition surveys based on the moss technique. The chemical analyses are almost entirely based on ICP-MS and the quality of data is controlled by analysis of international reference materials.

This survey predominantly deals with the ten elements vanadium, chromium, iron, nickel, copper, zinc, arsenic, cadmium, mercury, and lead, which are the metals studied in the corresponding European moss survey. Moreover data for additional 40 elements are reported. The discussion of the obtained data is focused on contributions from air pollution, but also includes an evaluation of possible contributions from natural sources and how these contributions may influence on the interpretation of the results.

Long range atmospheric transport from other parts of Europe is still the dominant source to deposition in Norway of vanadium, zinc, arsenic, cadmium, and lead, but the levels have gradually decreased over the last two decades. The same is the case for molybdenum, silver, tin, antimony, thallium, and bismuth. The decline has been particularly strong for lead where the deposition in southernmost Norway is now less than 10% of what it was in the first nationwide moss survey in 1977. Smelters in northwestern Russia are still a substantial source of copper and nickel, and to a lesser extent cobalt and arsenic, in the eastern part of Finnmark county. Several places metal deposition from domestic industrial sources are also evident, e.g. chromium at Mo i Rana and zinc and cadmium at Odda. Parallel to the nationwide survey a specific investigation employing the moss technique around 15 industrial plants was carried out, the results of which are presented in a separate report from SFT.

4 emneord Tungmetaller, langtransport, mose, atmosfærisk nedfall	4 subject words Heavy metals, long range transport, moss technique, atmospheric deposition
---	---