

NILU: TR 05/2003
REFERANSE: E-100032
DATO: MARS 2003
ISBN: 82-425-1434-8

Sporelementer i svevestøv i Oslo

**Eiliv Steinnes, Torunn Berg, Leif Otto Hagen,
Sylviane Siegle, Marit Vadset og Göran Åberg**

NILU: TR 05/2003
REFERANSE: E-100032
DATO: MARS 2003
ISBN: 82-425-1434-8

Sporelementer i svevestøv i Oslo

Eiliv Steinnes^{1,2}, Torunn Berg³, Leif Otto Hagen³, Sylviane Siegle¹,
Marit Vadset³ og Göran Åberg¹



1)
Avd. for miljøteknologi, Institutt for energiteknikk
Postboks 40, 2027 Kjeller



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



3)
Norsk institutt for luftforskning
Postboks 100, 2027 Kjeller

Innhold

	Side
Innhold	2
1 Bakgrunn.....	3
2 Praktisk gjennomføring av prosjektet.....	4
3 Resultater og diskusjon.....	5
3.1. INAA versus ICP-MS	7
3.2. Bestemmelse av stabile blyisotoper	7
4 Videre arbeid	8
5. Referanser	8
Vedlegg A Tabeller	11

Sporelementer i luftfiltre fra Oslo

1 Bakgrunn

Moderne teknikker for multielement-analyser har gjort det mulig å bestemme et stort antall elementer samtidig i små prøver. Dette har hatt stor betydning ved undersøkelser av partikkelforurensninger i luft. Den analyseteknikken som først gjorde dette mulig, var instrumentell neutronaktiveringsanalyse (INAA). De første anvendelsene av denne teknikken for analyse av støvfiltre fra luftprøvetakere ble publisert vel 30 år tilbake (*Zoller og Gordon, 1970; Dams et al., 1970*). Teknikken ble også tidlig tatt i bruk i Norge, der IFE på 1970-tallet utførte omfattende multielement-analyser av luftfiltre (*Kronborg og Steinnes, 1975*). De mest omfattende oppdragene kom fra institusjoner i Sverige, men det ble også gjennomført flere samarbeidsprosjekter med NILU på luftfilter-prøver både fra forurenset luft i Oslo (*Joranger et al., 1977*) og fra bakgrunnsstasjoner (*Amundsen et al., 1987; 1992*). INAA var også basis for de to første landsomfattende undersøkelser i 1977 og 1985 av tungmetallnedfall fra luft i Norge, basert på analyse av mose (*Steinnes, 1980; Steinnes et al., 1992; 1994*).

I senere år er det ikke blitt utført nevneverdige undersøkelser av luftforurensning i Norge med denne analyseteknikken, men INAA brukes stadig internasjonalt for slike undersøkelser (e.g. *Maenhaut et al., 1993*), og IFEs opplegg for INAA er fremdeles intakt.

IFE har også andre instrumentelle teknikker der instituttet er ledende i Norge. Dette gjelder særlig massespektrometriske metoder for bestemmelse av forhold mellom stabile isotoper, og omfatter lette ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$, $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$, $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$) såvel som tyngre ($^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$) isotoper. Slike isotopforhold kan være svært nyttige når det gjelder å skille bidrag fra forskjellige kilder. I likhet med INAA har disse teknikkene stor følsomhet og kan derfor med fordel tenkes brukt til å karakterisere prøver med lite materiale, så som fraksjoner av støvprøver fra luft. Særlig undersøkelser av stabile isotoper av bly har fått stor betydning ved vurdering av kilder til luftforurensning, og har allerede vært brukt tidligere i Norge (*Rosman et al., 1998; Åberg et al., 1999; Åberg, 2001*). IFE har lang erfaring i bruk av massespektrometri med termisk ionisering (TIMS), som er klart å foretrekke ved undersøkelser basert på stabile isotoper av bly og andre tyngre elementer.

Et alternativ for multielementanalyse er induktivt koplet plasma massespektrometri (ICP-MS), som har utviklet seg til å bli den ledende teknikken internasjonalt for dette formål. NILU har erfaring siden 1988 med ICP-MS, som har vist seg å være meget gunstig f.eks. for undersøkelser av sporelementer i nedbør (*Berg et al., 1995a*) og analyser av moseprøver, der ICP-MS har vært foretrukket i de landsomfattende nedfallsundersøkelsene siden 1990 (*Steinnes et al., 1993; Røyset et al., 1995; Berg et al., 1995b; 1998; Steinnes et al., 2001a; 2001b*).

Bortsett fra et par tilfeller har ikke undersøkelser av sporelementer inngått i lokale undersøkelser av luftkvalitet i Norge. På begynnelsen av 1970-tallet ble det foretatt en undersøkelse på flere stasjoner i Oslo av tungmetallkonsentrasjoner i

luft på utvalgte dager (*Joranger et al.*, 1978). På slutten av 1980-tallet ble det gjennomført en screening-undersøkelse med ICP-MS av tungmetaller i luft i flere byer og industristeder (*Hagen et al.*, 1989; 1990; *Berg et al.*, 1991) Man har imidlertid i de fleste slike undersøkelser i Norge samlet opp partikkelprøver, i senere tid også forskjellige størrelsesfraksjoner av partiklene, men har nøyd seg med å registrere partikkelkonsentrasjon i luft. Med dagens kunnskap om helseeffekter av toksiske metaller og tilgjengelige teknologi for undersøkelser av sporelementer er ikke dette en tilfredsstillende situasjon. Det ble derfor besluttet å gjennomføre et testprosjekt for å se på hva som er mulig på dette området ved å ta i bruk tilgjengelig teknologi ved NILU og IFE.

2 Praktisk gjennomføring av prosjektet

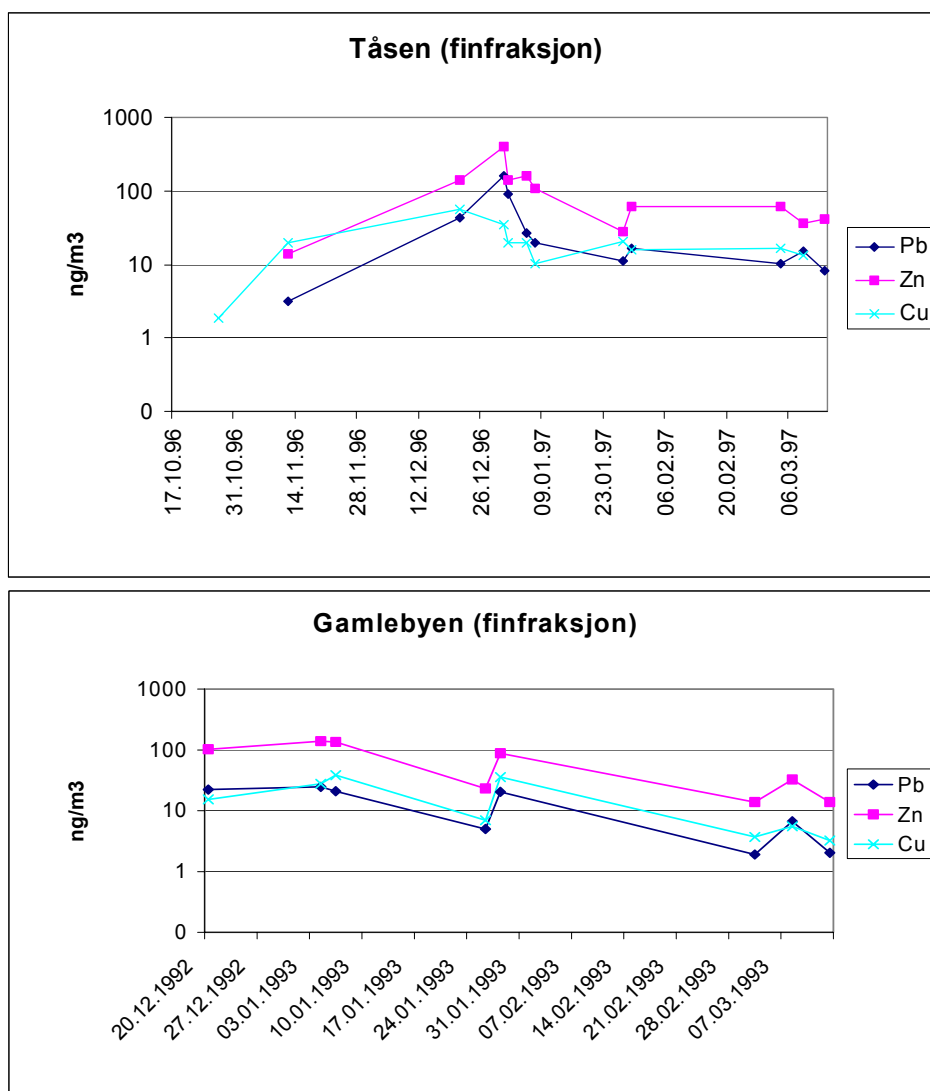
Det ble utvalgt et sett med filterprøver fra en lokal luftundersøkelse i Oslo vinteren 1996-1997 (*Hagen og Haugsbakk*, 1997). Det dreier seg om filterprøver tatt med en DICO luftprøvetaker der den eksponerte flaten hadde en diameter på 47 mm. Prøvene skrives seg i hovedsak fra to lokaliteter (Tåsen, Gamlebyen) der bidragene til luftforurensning fra forskjellige typer kilder var antatt å være vesentlig forskjellig. Ved stasjonen på Tåsen er hovedkildene utslipp fra biltrafikk og slitasje av veidekket med piggdekk og oppvirvling av svevestøv. I Gamlebyen kan også vedfyring gi merkbare bidrag. På hver lokalitet forelå to størrelsesfraksjoner av partikler: en "finfraksjon" mindre enn 2,5 μm og en "grovfraksjon" mellom 2,5 og 10 μm partikkeldiameter. Prøvene ble delt i 4 like store sektorer som gikk til forskjellige undersøkelser. En fjerdedel av hvert filter gikk til ICP-MS analyse, mens de øvrige delene gikk til testing ved ulike metoder ved IFE.

En innledende runde ved IFE viste at blant de teknikkene som går på stabile isotoper var det bare Pb-isotopmetoden som viste seg formålstjenlig i dette tilfellet. IFEs bidrag til prosjektet begrenser seg derfor til INAA (samtlige prøver, 50 i alt) og Pb-isotopanalyse ved TIMS på et sett med utvalgte prøver. De aller fleste av disse prøvene er også analysert ved NILU med ICP-MS.

For INAA ble det valgt 22 elementer som tidligere hadde vist seg å gi nyttig informasjon ved denne type undersøkelser, og som kan bestemmes relativt enkelt ved en kombinasjon av en kort og en lengre bestråling (*Kronborg og Steinnes*, 1975), og den framgangsmåten som ble brukt var den samme som ved tidligere analyser ved IFE. ICP-MS analysene ble utført etter oppslutning av prøvene med konsentrert salpetersyre i mikrobølgeovn, og data ble registrert for 46 elementer. Resultater for 41 av disse elementene er rapportert i det følgende. For 12 av disse stoffene (Al, Ca, Ti, Mn, Fe, Co, Cu, Zn, As, Cd, Sb, La) var det mulig å sammenlikne data fra INAA og ICP-MS. I 9 tilfeller (Na, Cl, Sc, V, Cr, Se, Br, Ag, In) rapporteres kun data fra INAA, mens verdiene for 29 andre elementer (Li, Be, Mg, Ni, Ga, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Cs, Ba, Ce, Pr, Nd, Sm, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Yb, W, Tl, Pb, Bi, Th, U) er basert bare på ICP-MS. I alt omfattes 50 Er, Yb, W, Tl, Pb, Bi, Th, U) er basert bare på ICP-MS. I alt omfattes 50 elementer av denne undersøkelsen.

3 Resultater og diskusjon

Resultatet fra dette testprosjektet er gitt i Vedlegg 1 (Tåsen) og Vedlegg 2 (Gamlebyen). En detaljert diskusjon av resultatene i forhold til kilder og tidsvariasjoner ligger utenfor rammen av denne rapporten, og bare utvalgte eksempler er gitt her. Det kan imidlertid enkelt konstateres at konsentrasjonene av de fleste undersøkte elementene varierer sterkt over tid på begge stasjoner, og at elementene til dels varierer ”i takt”. Det er også et visst samsvar mellom de to lokalitetene når det gjelder hvilke døgn som har stor eller liten forurensning. Figur 1 viser eksempler på slike tidsvariasjoner på de to lokalitetene for tungmetallene Cu, Zn og Pb.



Figur 1: Variasjoner i luftkonsentrasjoner av Cu, Zn og Pb (ng/m^3) knyttet til $\text{PM}_{2.5}$ -fraksjonen på to stasjoner i Oslo i perioden november 1996-mars 1997.

Ved videre diskusjon av disse forholdene vil andre kjemiske og meteorologiske parametere fra Oslo-undersøkelsen (Hagen og Haugsbakk, 1997) bli trukket inn. Noe av den mest interessante informasjonen som ligger i disse dataene, er imidlertid fordelingen av elementene mellom grovfraksjon og finfraksjon. Denne fordelingen, eventuelt sammen med multivariat statistisk behandling av dataene,

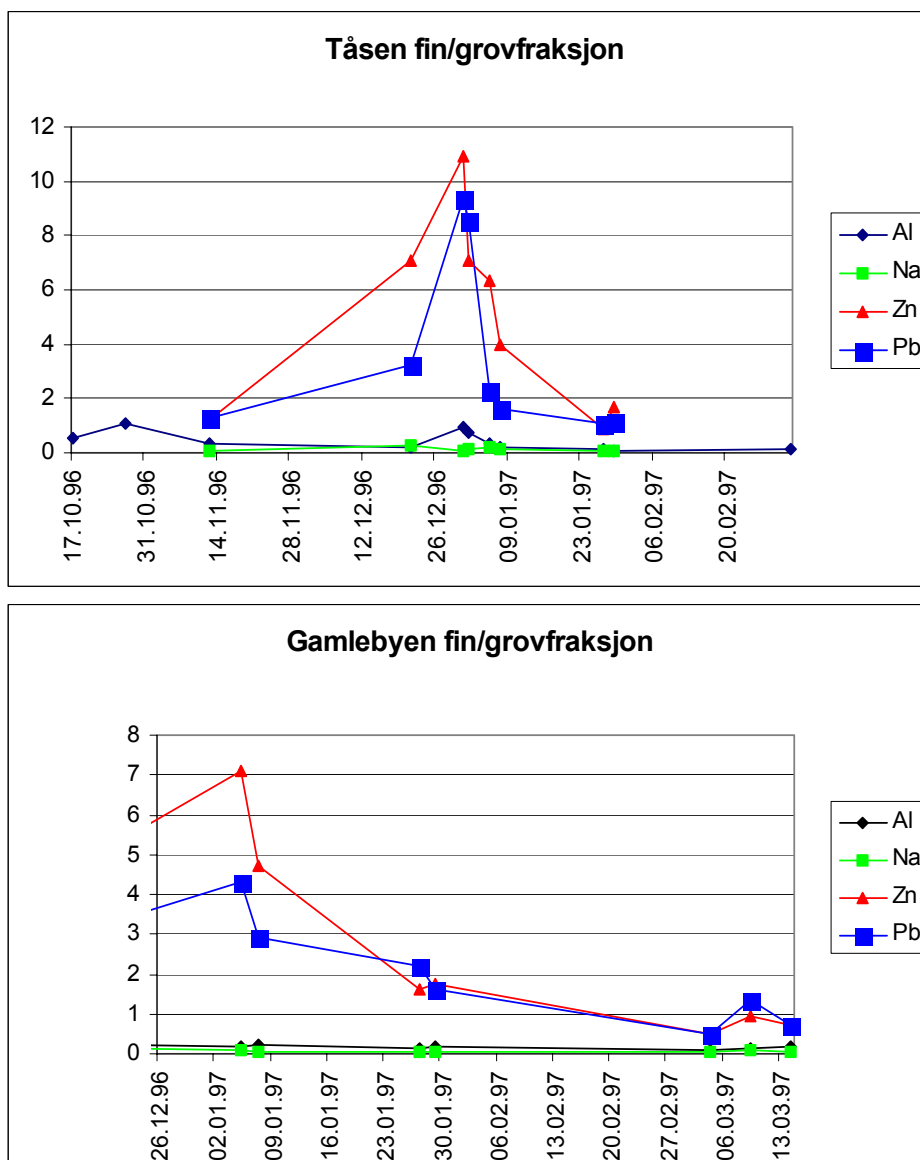
vil kunne fortelle mye om bidrag fra forskjellige kilder for de forskjellige elementene. En grovsortering av dataene gir følgende fordeling:

Hovedsakelig på grove partikler: Li, Be, Mg, Al, Cl, Ca, Sc, Ti, Fe, Co, Ga, Sr, Y, Zr, Nb, REE (sjeldne jordarter), W, Th, U.

Hovedsakelig på fine partikler: As, Br, Cd, Tl, Bi.

Ingen klar hovedtendens: Na, V, Cr, Mn, Ni, Cu, Zn, Rb, Mo, Sb, Cs, Ba, Pb.

Figur 2 er forholdet mellom fin- og grovfraksjon beregnet for fire av elementene. For Na er dette forholdet konstant og lavt på begge stasjoner. I tilfelle Al er det også lavt, men varierer med tid og mellom stasjonene. Metallene Pb og Zn varierer langt på vei i takt, med sterk anrikning på fine partikler i noen perioder og mindre sterk i andre.



Figur 2: Variasjoner i forholdet mellom innhold i finfraksjon ($PM_{2,5}$) og grovfraksjon ($PM_{2,5-10}$) av fire metaller i luft på to stasjoner i Oslo i perioden november 1996-mars 1997.

Et annet område der disse dataene kan gi ny informasjon, er når det gjelder innvirkning av nyttårsfyrverkeri på luftkvalitet. Elementer som viser en økning i luft omkring nyttårsaften er Zn, Sr, Sb, Ba og Pb, jfr. kurvene for Zn og Pb i Figur 2. I alle disse tilfellene er økningen hovedsakelig i finfraksjonen av partikler.

3.1. INAA versus ICP-MS

Det går klart fram av dataene i Vedlegg I at ICP-MS har bedre deteksjongrenser generelt sett enn INAA. Imidlertid gjør interferensproblemer, variasjon i blindverdier m.m. at de praktiske bestemmelsesgrensene ved ICP-MS i de fleste tilfeller ligger betydelig høyere enn de teoretiske, og i mange tilfeller på linje med de man har ved INAA basert på JEEP-II reaktoren ved IFE. En vurdering av de tilfellene der data fra begge analyseteknikker foreligger, gir grunnlag for følgende konklusjoner:

Elementer der INAA generelt gir bedre data: Al, Ca, Ti, Fe, As, Sb.

Elementer der ICP-MS generelt gir bedre data: Co- Cu, Cd, Cs, La.

Ingen klar forskjell: Mn, Zn.

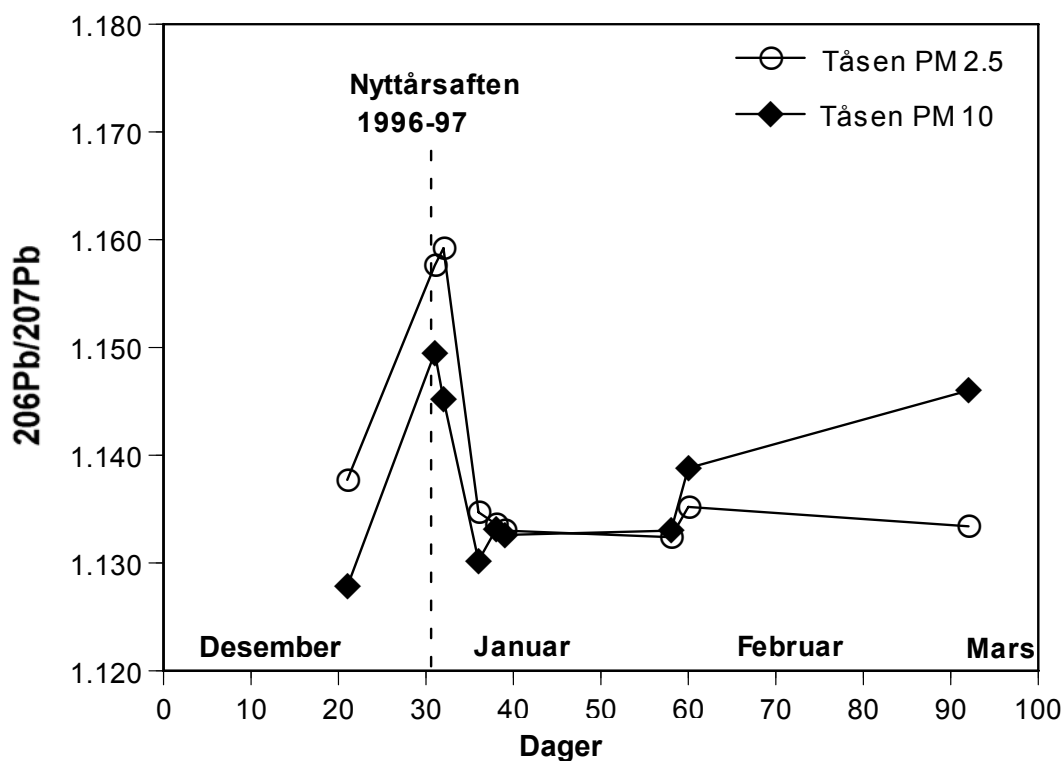
De fordelaktige tilfellene for INAA er i flere tilfeller for hovedelementer (Al, Ca, Fe) der konsentrasjonene i prøveløsningen sannsynligvis var for høye til å gi pålitelige data ved ICP-MS. Analyse av en fortynnet løsning ville ha gitt bedre data for disse elementene men samtidig høyere bestemmelsesgrenser for spor-elementene. Når det gjelder Ti, og muligens også til dels enkelte andre elementer, tyder de systematisk lavere ICP-MS resultatene på at prøven inneholdt partikler som ikke ble fullstendig løst i HNO₃.

Hovedkonklusjoner fra denne sammenlikningen kan uttrykkes som følger:

1. For en "screening" av filterprøver for så mange elementer som mulig er ICP-MS klart å foretrekke.
2. INAA er å foretrekke i en del tilfeller der man er avhengig av presise data for elementer der denne teknikken gir god følsomhet.
3. I tilfeller der elementer foreligger i en uoppløselig form vil INAA gi totalinnholdet mens ICP-MS bare måler den delen som er i løsning.
4. En kombinasjon av de to teknikkene vil åpenbart gi et bedre totalresultat enn bruk av teknikkene hver for seg.

3.2. Bestemmelse av stabile blyisotoper

De prøvene som det ble gjort blyisotop-analyser på, ble valgt slik at de skulle ta med eventuell variasjon som skyldes fyrverkeri. Resultatene er meget klare i så måte: Mens det normale ²⁰⁶Pb/²⁰⁷Pb forholdet rundt årsskiftet 1996-97 hovedsakelig lå på ca. 1,133 og formodentlig hovedsakelig skyldtes blytilsetning i bensin, gikk forholdet 31.12.-2.1. opp til 1,158 i finfraksjonen, høyst sannsynlig på grunn av fyrverkeri som inneholdt blyforbindelser (Figur 3).



Figur 3: Variasjoner i $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ -forholdet i luft på stasjonen Tåsen i perioden desember 1996-mars 1997.

Bestemmelse av forhold mellom stabile blyisotoper med TIMS kan åpenbart gi verdifull tilleggsinformasjon om kilder til luftforurensningen, særlig hvis man på forhånd har karakterisert ulike kilder som f. eks. bensin, ved, tungoljer, etc.

4 Videre arbeid

Dette testprogrammet har vist at man ved tilgjengelig metodikk er i stand til å fremskaffe meget omfattende informasjon om sporelementer i luft. Erfaringene bør gi grunnlag for videre arbeid på dette feltet, særlig i forbindelse med lokale undersøkelser i byer og tettsteder, der informasjon om sporelementer hittil stort sett har vært neglisjert i Norge. Spesiell interesse knytter seg til finfraksjonen av partikler i luft, der den foreliggende undersøkelsen har vist at flere av de mest toksiske sporelementene (As, Cd, Sb, Tl, Pb) er anrikt generelt eller ved spesielle luftforurensningssituasjoner.

5. Referanser

Amundsen, C.E., Hanssen, J.E., Semb, A. og Steinnes, E. (1992) Long-range atmospheric transport of trace elements to southern Norway. *Atmos. Environ.*, 26A, 1309-1324.

Berg, T., Hagen, L.O., Røyset, O. og Steinnes, E. (1991) Elements in airborne particles at 24 urban and industrial sites in Norway. In: *Heavy Metals in the Environment, Conf., Edinburgh, 1991*. Ed. by J.G. Farmer. Vol. 1, p. 243-246.

- Berg, T., Røyset, O. og Steinnes, E. (1994) Principal component analysis of data for trace elements and main components in precipitation falling on Norway. *Environ. Monit. Assess.*, 31, 259-273.
- Berg, T., Røyset, O., Steinnes, E. og Vadset, M. (1995) Atmospheric trace element deposition: Principal component analysis of ICP-MS data from moss samples. *Environ. Pollut.*, 88, 67-77.
- Berg, T. og Steinnes, E. (1997) Recent trends in atmospheric deposition of trace elements in Norway as evident from the 1995 moss survey. *Sci. Total Environ.*, 208, 197-206.
- Dams, R., Robbins, J.A., Rahn, K.A. og Winchester, J.W. (1970) Nondestructive neutron activation analysis of air pollution particles. *Anal. Chem.*, 33, 861-867.
- Hagen, L.O., Bartonova, A., Berg, T., Røyset, O. og Vadset, M. (1989) Kartlegging av konsentrasjoner av tungmetaller i luft i tettsteder. Lillestrøm (NILU OR 30/89).
- Hagen L.O., Bartonova, A., Berg, T., Røyset, O. og Vadset, M. (1990) Kartlegging av konsentrasjoner av tungmetaller i luft i tettsteder 1988-89. Lillestrøm (NILU OR 18/90).
- Hagen, L.O. og Haugsbakk, I. (1997) Måling av nitrogenoksider og svevestøv ved fire sterkt trafikkerte veier i Oslo, vinteren 1996/97. Kjeller (NILU OR 53/97).
- Joranger, E., Gram, F., Hanssen, J.E. og Steinnes, E. (1977) Chemical composition and sources of aerosols in Oslo, Norway during the winter 1971. Kjeller (NILU OR 27/77).
- Kronborg, O.J. og Steinnes, E. (1975) A routine procedure for multielement analysis of atmospheric particulates by instrumental neutron activation analysis. *Radiochem. Radioanal. Lett.*, 21, 379-387.
- Maenhaut, W., Ducastel, G., Hillamo, R.E., Pakkanen, T.A. og Pacyna, J.M. (1993) Atmospheric aerosol studies in southern Norway using size-fractionating sampling devices and nuclear analytical techniques. *J. Radioanal. Nucl. Chem.*, 167, 271-281.
- Rosman, K.J.R., Ly, C. og Steinnes, E. (1998) Spatial and temporal variation in isotopic composition of atmospheric lead in Norwegian moss. *Environ. Sci. Technol.*, 32, 2542-2546.
- Røyset, O., Vadset, M., Johansen, O. og Steinnes, E. (1995) Multielement ICPMS analysis of moss used as biomonitor of air pollutants. Kjeller (NILU TR 1/95).
- Steinnes, E. (1980) Atmospheric deposition of heavy metals in Norway studied by analysis of moss samples using neutron activation analysis and atomic absorption spectrometry. *J. Radioanal. Chem.*, 58, 387-391.

- Steinnes, E., Hanssen, J.E. og Rambæk, J.P. (1992) Large scale multi-element survey of atmospheric deposition using naturally growing moss as biomonitor. *Chemosphere*, 35, 735-752.
- Steinnes, E., Johansen, O., Røyset, O. og Ødegård, M. (1993) Comparison of different multielement techniques for analysis of mosses used as biomonitors. *Environ. Monit. Assess.*, 25, 87-97.
- Steinnes, E., Hanssen, J.E., Rambæk, J.P. og Vogt, N.B. (1994) Atmospheric deposition of trace elements in Norway: temporal and spatial trends studied by moss analysis. *Water, Air, Soil Pollut.*, 74, 121-140.
- Steinnes, E., Berg, T., Sjøbakk, T.E. og Vadset, M. (2001a) Nedfall av tungmetaller rundt utvalgte norske industrier. Oslo, Statens forurensningstilsyn (Rapport 831-01).
- Steinnes, E., Berg, T., Sjøbakk, T.E., Uggerud, H. og Vadset, M. (2001b) Atmosfærisk nedfall av tungmetaller i Norge. Landsomfattende undersøkelse i 2000. Oslo, Statens forurensningstilsyn (Rapport 838/2001).
- Zoller, W.H. og Gordon, G.E. (1970) Instrumental neutron activation analysis of atmospheric pollutants utilizing Ge(Li) gamma-ray detectors. *Anal. Chem.*, 42, 257-265.
- Åberg, G. (2001) Tracing pollution and its sources with isotopes. *Water, Air, Soil Pollut.*, 130, 1577-1582.
- Åberg, G., Pacyna, J.M., Stray, H. og Skjelkvåle, B.L. (1999) The origin of atmospheric lead in Oslo, Norway, studied with the use of isotopic ratios. *Atmos. Environ.*, 33, 3335-3344.

Vedlegg A

Tabeller

Vedlegg I. Konsentrasjoner av 50 elementer i luft på Tåsen vinteren 1996/1997 (ng/m ³)		Vedlegg I. Tåsen G = grovfraksjon, F = finfraksjon						Vedlegg I. Tåsen G = grovfraksjon, F = finfraksjon																		
Element	Metode	17-18/10-96		27-28/10-96		12-13/11-96		21-22/12-96		31.12-1.1-97		1-2.1-97		5-6/1-97		7-8/1-97		27-28/1-97		29-30/1-97		4-5/3-97		9-10/3 14-15/3		
		G	F	G	F	G	F	G	F	G	F	G	F	G	F	G	F	G	F	G	F	G	F	G	F	
Li	ICP-MS																									
Be	ICP-MS																									
Na	INAA																									
Mg	ICP-MS																									
Al	ICP-MS																									
Al	INAA																									
Cl	INAA																									
Ca	ICP-MS																									
Ca	INAA																									
Sc	ICP-MS																									
Ti	ICP-MS																									
Ti	INAA																									
V	INAA																									
V	INAA																									
Cr	ICP-MS																									
Mn	INAA																									
Mn	INAA																									
Fe	ICP-MS																									
Fe	INAA																									
Fe	INAA																									
Co	ICP-MS																									
Co	INAA																									
Ni	ICP-MS																									
Ni	INAA																									
Cu	ICP-MS																									
Cu	INAA																									
Zn	ICP-MS																									
Zn	INAA																									
Zn	INAA																									
Ga	ICP-MS																									
As	INAA																									
As	INAA																									
Br	INAA																									
Rb	ICP-MS																									
Rb	INAA																									
Sr	ICP-MS																									
Sr	INAA																									
Y	ICP-MS																									
Zr	ICP-MS																									
Zr	INAA																									
Mo	ICP-MS																									
Mo	INAA																									
Ag	ICP-MS																									
Cd	ICP-MS																									
Cd	INAA																									
In	INAA																									
Sb	ICP-MS																									
Sb-122	INAA																									
Sb-124	INAA																									

Vedlegg 1: Tåsen															
G = grovfraksjon. F = finfraksjon				G = grovfraksjon. F = finfraksjon				G = grovfraksjon. F = finfraksjon							
Element	Metode	17-18/10-96	12-13/11-96	21-22/12-96	31.12-1.1-97	1-2.1-97	5-6/1-97	7-8/1-97	Element	Metode	27-28/1-97	29-30/1-97	4-5/3-97	9-10/3-03	14-15/3
		G	F	G	F	G	F	G	F		G	F	G	F	F
Cs	ICP-MS	<0.4	<0.4	<0.01	0.03	0.01	0.02	0.01	0.02	Cs	ICP-MS	0.03	0.01	0.03	0.03
Cs	INAA	<0.4	0.4625	<0.4	<0.4	<0.4	<0.4	<0.4	<0.4	Cs	INAA	<0.4	<0.4	<0.4	<0.4
La	ICP-MS	0.06	0.02	0.07	0.10	0.08	0.05	0.19	0.05	La	ICP-MS	1.00	0.08	3.09	0.18
La	INAA	<0.4	<0.4	<0.4	<0.4	<0.4	<0.4	<0.4	<0.4	La	INAA	0.8	<0.4	1.6	<0.4
Ce	ICP-MS	0.20	0.08	0.36	0.31	0.29	0.31	0.72	0.31	Ce	ICP-MS	2.41	0.22	6.81	0.51
Pr	ICP-MS	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	Pr	ICP-MS	0.25	<0.02	0.73	0.04
Nd	ICP-MS	0.04	<0.04	0.05	0.06	0.09	0.04	0.14	0.06	Nd	ICP-MS	0.94	0.05	2.69	0.13
Sm	ICP-MS	0.015	<0.015	0.015	<0.015	0.032	0.014	0.015	<0.015	Sm	ICP-MS	0.203	<0.015	0.519	0.023
Gd	ICP-MS	0.008	0.005	0.016	0.005	0.040	0.018	0.041	0.009	Gd	ICP-MS	0.161	0.014	0.442	0.032
Tb	ICP-MS	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	0.006	<0.002	0.006	<0.002	Tb	ICP-MS	0.016	<0.002	0.055	<0.002
Dy	ICP-MS	0.006	<0.002	0.006	<0.002	0.028	0.002	0.026	<0.002	Dy	ICP-MS	0.068	<0.002	0.320	0.011
Ho	ICP-MS	<0.001	<0.001	0.002	<0.001	0.003	0.003	0.003	<0.001	Ho	ICP-MS	0.011	0.002	0.045	0.002
Er	ICP-MS	0.010	<0.005	0.008	<0.005	0.023	<0.002	0.011	0.004	Er	ICP-MS	0.026	0.007	0.141	0.007
Yb	ICP-MS	<0.005	<0.005	0.008	<0.005	<0.005	0.007	<0.005	<0.005	Yb	ICP-MS	0.83	<0.005	2.32	0.09
W	ICP-MS	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.12	0.05	0.12	<0.05	W	ICP-MS	0.03	0.04	0.01	0.12
Ti	ICP-MS	0.03	0.04	0.04	0.14	0.01	0.14	0.02	0.14	Ti	ICP-MS	10.2	11.1	14.6	16.7
Pb	ICP-MS	2.5	3.1	13.6	43.9	161.9	10.6	90.7	11.8	Pb	ICP-MS	10.2	11.1	14.6	16.7
206/207Pb	TIMS			1.1278	1.1377	1.1452	1.1592	1.1347	1.1331	206/207Pb	TIMS	1.1330	1.1324	1.1388	1.1352
Bi	ICP-MS	<0.01	<0.01	0.02	<0.01	0.12	0.00	0.09	<0.01	Bi	ICP-MS	0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Th	ICP-MS	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	0.03	<0.02	Th	ICP-MS	0.15	<0.02	0.41	<0.02
U	ICP-MS	0.004	<0.004	0.008	<0.004	0.008	0.004	<0.004	<0.004	U	ICP-MS	0.029	<0.004	0.082	0.014

Vedlegg II. Konsentrasjoner av 50 elementer i luft i Gamlebyen vinteren 1996/1997 (ng/m ³)																							
Element	17-18/10 1996		27-28/10 1996		12-13/11 1996		21-22/12 1996		5-6/1 1997		7-8/1 1997		27-28/1 1997		29-30/1 1997		4-5/3 1997		9-10/3 1997		14-15/3 1997		
	G	F	G	F	G	F	G	F	G	F	G	F	G	F	G	F	G	F	G	F	G	F	
Li	ICP-MS	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.2	0.2	0.3	0.7	0.6	0.2	0.8	0.8	0.7	0.9	0.2	0.9	0.1	0.6	<0.1
Be	ICP-MS	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.08	0.08	0.07	0.02	0.02	0.07	0.03	0.15	0.05	0.10	0.01	0.15	0.04	0.11	0.02
Na	INAA	50	290	380	59	40	143	210	370	139	30	199	850	280	800	370	370	730	176	1000	440	350	210
Mg	ICP-MS	<40	<40	<40	<40	<40	<40	<40	120	<40	50	50	160	<40	490	90	90	490	50	610	140	370	90
Al	ICP-MS	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	620	100	600	230	1440	180	3180	320	320	1980	180	3500	420	1060	280
Al	INAA	51	29	27	31	12	147	34	450	79	650	139	740	97	1100	200	1360	130	1360	176	690	134	
Cl	INAA	139	24	290	37	9	188	125	197	69	340	56	1030	111	620	93	410	83	770	250	192	83	
Ca	ICP-MS	120	<100	120	120	93	240	100	530	140	770	230	610	140	1890	320	1450	140	1640	230	1110	190	
Ca	INAA	116	93	37	46	116	190	185	400	185	619	185	570	139	1160	460	1020	185	1150	139	700	93	
Sc	INAA	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	0.08	<0.04	0.08	<0.04	0.12	<0.04	0.16	<0.04	0.20	<0.04	0.20	<0.04	0.20	<0.04	<0.04
Ti	ICP-MS	<5	<5	<5	<5	<5	16	<5	61	14	74	14	78	9	190	23	160	14	200	23	130	19	
Ti	INAA	11	<10	11	<10	<10	19	<10	120	19	180	46	180	<10	250	56	350	32	300	28	160	23	
V	INAA	0.2	0.6	1.1	0.1	0.4	0.7	2.7	1.1	1.2	1.6	1.7	1.6	1.6	2.9	9.3	4.1	5.1	3.1	2.2	2.2	1.8	1.2
Cr	ICP-MS	2	1	<1	<1	<1	3	2	4	4	5	13	4	4	6	11	1	3	3	3	2	1	1
Mn	INAA	6.8	4.6	7.9	1.5	1.4	12.0	4.6	19.6	12.0	20.6	52.7	17.4	21.7	49.9	90.2	35.4	8.8	39.8	10.6	25.3	5.1	
Mn	INAA	4.6	7.9	1.5	1.4	1.5	10.4	4.6	16.8	11.1	19.6	42.1	16.4	15.3	30.2	74.0	29.7	7.4	31.4	6.5	15.5	3.7	
Fe	ICP-MS	680	160	160	120	90	1270	280	1750	420	1850	650	1390	230	4110	970	2350	230	2600	370	1600	230	
Fe	INAA	390	230	120	50	120	920	370	1180	320	1310	690	940	190	2070	770	1360	190	1350	230	650	190	
Co	ICP-MS	0.1	<1	<1	<1	<1	0.2	<1	0.2	<0.1	0.4	0.2	1.1	0.2	1.0	0.2	0.7	<0.1	0.8	<0.1	0.5	<0.1	
Co	INAA	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	1	<1	<1	<1	1	<1	1	<1	1	<1	1	<1	
Ni	ICP-MS	1	<1	<1	<1	<1	2	1	2	1	3	7	2	2	6	2	2	2	2	2	1	1	<1
Ni	INAA	10	8	<4	3	<4	33	15	32	28	42	38	13	7	69	36	11	4	17	6	8	3	
Cu	ICP-MS	12	<1	<1	<1	<1	19	10	21	19	42	40	15	7	71	42	5	6	<4	8	<4	5	
Cu	INAA	16	8	<4	6	<4	38	19	20	19	42	40	15	7	71	42	5	6	<4	8	<4	5	
Zn	ICP-MS	16	23	<5	11	14	18	111	15	12	8	130	14	23	50	88	28	14	34	32	19	14	
Zn	INAA	6	23	<5	11	14	18	111	15	12	8	130	14	23	50	88	28	14	34	32	19	14	
Ga	ICP-MS	0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	0.08	0.05	0.25	0.05	0.28	0.14	0.28	0.09	0.70	0.05	0.62	0.05	0.75	0.05	0.41	0.05	
As	ICP-MS	2	3	3	3	3	1	11	1	15	1	7	1	1	1	2	1	1	1	1	1	<1	
As	INAA	<0.3	0.5	<0.3	<0.3	1.9	<0.3	23.6	<0.3	25.9	0.3	10.2	0.3	1.4	0.4	4.2	0.3	1.4	0.6	2.3	<0.3	<0.3	
Se	INAA	<0.4	<0.4	<0.4	<0.4	<0.4	<0.4	<0.4	<0.4	<0.4	<0.4	<0.4	<0.4	<0.4	<0.4	<0.4	<0.4	<0.4	<0.4	<0.4	<0.4	<0.4	
Br	INAA	<0.3	1.4	<0.3	0.9	<0.3	0.2	1.5	0.3	5.6	0.7	5.1	0.6	2.3	<0.3	6.0	0.0	4.2	0.3	5.1	<0.3	5.1	
Rb	ICP-MS	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	0.2	1.5	0.8	2.1	1.1	1.7	1.1	0.3	3.0	0.8	2.9	0.3	3.3	0.3	2.0	0.3	
Sr	ICP-MS	0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	1.6	0.5	4.9	0.9	5.7	1.4	4.5	0.5	16.1	1.9	10.7	0.9	14.0	1.9	7.8	0.9	
Y	ICP-MS	0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.08	<0.05	0.29	<0.05	0.47	1.4	0.37	0.05	1.03	0.09	0.87	0.05	0.99	0.09	0.88	0.05	
Zr	ICP-MS	0.40	0.08	0.08	0.48	0.08	1.26	0.37	3.86	0.56	3.47	0.74	0.19	0.60	8.95	1.34	5.95	0.51	7.03	1.34	3.95	0.88	
Nb	ICPMS	0.64	0.01	0.02	0.26	0.02	0.23	0.01	0.74	0.09	0.82	1.39	0.62	0.06	2.14	0.23	1.36	0.12	1.98	0.23	0.95	0.11	
Mo	ICPMS	0.64	0.01	0.02	0.26	0.02	1.27	0.65	1.30	0.79	1.57	1.39	0.57	0.56	2.88	0.66	1.76	0.32	1.93	0.28	0.57	0.09	
Ag	INAA	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	
Cd	ICP-MS	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	1.3	0.2	1.3	0.3	1.3	<0.2	<0.2	0.7	0.7	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	
Cd	INAA	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	
In	INAA	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	
Sb	ICP-MS	2.3	0.9	<0.4	0.5	0.4	5.7	3.7	4.4	3.0	5.0	4.0	2.0	0.9	9.5	5.6	2.0	0.9	2.8	1.5	1.8	0.8	
Sb-122	INAA	1.2	0.9	<0.5	0.4	0.4	4.2	3.7	2.7	2.3	3.0	3.2	1.2	0.5	4.2	3.7	0.8	0.5	1.6	0.9	0.8	0.5	
Sb-124	INAA	-	0.9	<0.5	0.4	0.4	4.2	3.7	2.3	2.3	3.1	2.8	1.2	0.9	4.6	3.7	1.2	0.5	1.6	0.9	0.8	0.5	

Vedlegg II: Gamlebyen (forts.) G = grovfraksjon, F = finfraksjon.				Vedlegg II: Gamlebyen (forts.) G = grovfraksjon, F = finfraksjon.				Vedlegg II: Gamlebyen (forts.) G = grovfraksjon, F = finfraksjon.												
Element	17-18/10 1996		12-13/11 1996		21-22/12 1996		5-6/1 1997		7-8/1 1997		27-28/1 1997		29-30/1 1997		4-5/3 1997		9-10/3 1997		14-15/3 1997	
	Metode	G	F	G	F	G	F	G	F	G	F	G	F	G	F	G	F	G	F	G
Cs	ICP-MS	0.01	-	<0.01	-	0.03	0.03	0.03	0.03	0.05	0.02	0.08	0.04	0.11	0.01	0.11	0.02	0.06	0.02	
Cs	INAA	<0.4	<0.4	<0.4	<0.4	<0.4	<0.4	<0.4	<0.4	<0.4	<0.4	<0.4	<0.4	<0.4	<0.4	<0.4	<0.4	<0.4	<0.4	
La	ICP-MS	0.08	<0.4	0.04	<0.4	0.09	0.09	0.77	0.12	0.84	0.08	2.65	0.25	2.77	0.12	2.77	0.29	1.36	0.13	
La	INAA	<0.4	<0.4	<0.4	<0.4	<0.4	<0.4	0.8	<0.4	0.8	<0.4	2.5	<0.4	1.6	<0.4	1.6	0.5	0.8	0.5	
Ce	ICP-MS	0.18	<0.4	0.14	0.28	0.57	0.28	1.68	0.37	2.21	0.46	5.39	0.61	4.49	0.31	5.79	0.62	2.90	0.27	
Pr	ICP-MS	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	0.04	0.02	0.17	0.02	0.24	0.04	0.20	<0.02	0.50	0.04	0.68	0.06	0.34	0.03	
Nd	ICP-MS	<0.015	<0.015	<0.015	<0.015	<0.015	<0.015	0.58	0.09	0.78	0.10	0.76	0.06	1.99	0.10	2.39	0.20	1.19	0.10	
Sm	ICP-MS	0.024	<0.015	0.028	<0.015	0.13	<0.015	0.090	<0.015	0.165	<0.015	0.157	<0.015	0.340	0.032	0.447	0.032	0.274	<0.015	
Gd	ICP-MS	<0.002	<0.002	0.003	<0.002	0.006	0.009	0.086	0.014	0.198	0.018	0.124	0.005	0.471	0.037	0.451	0.037	0.191	0.005	
Tb	ICP-MS	0.003	<0.002	0.006	<0.002	0.018	<0.002	0.010	<0.002	0.018	<0.002	0.018	<0.002	0.049	0.006	0.041	<0.002	0.026	<0.002	
Dy	ICP-MS	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.002	<0.001	0.070	0.004	0.074	0.011	0.091	<0.002	0.245	0.007	0.290	0.017	0.182	0.013	
Ho	ICP-MS	<0.002	<0.002	0.005	<0.002	0.011	<0.002	0.030	<0.002	0.015	0.004	0.020	<0.001	0.023	0.004	0.035	<0.001	0.020	0.002	
Er	ICP-MS	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	0.016	<0.005	0.038	0.006	0.023	0.007	0.094	0.017	0.107	0.017	0.074	0.006	
Yb	ICP-MS	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.16	<0.05	0.58	<0.05	0.82	0.19	0.62	<0.05	0.091	<0.005	0.091	0.009	0.062	<0.005	
W	ICP-MS	0.01	<0.01	0.01	<0.01	<0.01	0.20	0.00	0.13	0.10	0.02	0.04	0.02	2.40	0.14	1.78	0.09	0.87	<0.05	
Tl	ICP-MS	3.2	2.6	1.4	22.2	6.6	22.2	5.7	24.5	7.1	20.8	2.3	5.0	12.6	20.4	3.8	1.9	2.8	2.0	
Pb	ICP-MS	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.02	<0.01	<0.01	<0.01	0.01	0.68	<0.01	<0.01	<0.01	0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	
Bi	ICP-MS	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	0.03	<0.02	0.11	<0.02	0.13	<0.02	0.15	0.04	0.39	0.03	0.31	0.03	0.21	0.03	
Th	ICP-MS	0.004	<0.004	<0.004	<0.004	0.008	<0.004	0.025	<0.004	0.033	0.005	0.025	<0.004	0.103	0.009	0.125	0.005	0.095	0.005	
U	ICP-MS																			



Norsk institutt for luftforskning (NILU)

Postboks 100, N-2027 Kjeller

RAPPORTTYPE TEKNISK RAPPORT	RAPPORT NR. TR 05/2003	ISBN 82-425-1434-8 ISSN 0807-7185	
DATO	ANSV. SIGN.	ANT. SIDER 15	PRIS NOK 150,-
TITTEL Sporelementer i svevestøv i Oslo		PROSJEKTLEDER Leif Otto Hagen	
		NILU PROSJEKT NR. E-100032	
FORFATTER(E) Eiliv Steinnes, Torunn Berg, Leif Otto Hagen, Sylviane Siegle, Marit Vadset og Göran Åberg		TILGJENGELIGHET * A	
		OPPDRAKSGIVERS REF. Leif Otto Hagen	
OPPDRAKSGIVER Norsk institutt for luftforskning Postboks 100 N-2027 Kjeller			
STIKKORD Sporelementer	Svevestøv	Analysemetoder	
REFERAT Det er gjennomført en uttesting/sammenlikning av forskjellige analysemetoder for elementsammensetning i svevestøvprøver. De metodene som ble brukt var instrumentell neutronaktiveringsanalyse (INAA) ved IFE og induktivt koplet plasma massespektroskopi (ICP-MS) ved NILU. En kombinasjon av de to teknikkene er vist å gi mer og bedre totalinformasjon om elementer i svevestøv enn bruk av de to teknikkene hver for seg. Resultatene for konsentrasjon av 41 elementer i luft fra to stasjoner i Oslo vinteren 1996-1997 presenteres, og fordelingen av forskjellige elementer mellom PM _{2,5} - og PM ₁₀ -fraksjonene diskuteres.			
TITLE Trace elements in particulate matter in Oslo.			
ABSTRACT			

* Kategorier: A Åpen - kan bestilles fra NILU
 B Begrenset distribusjon
 C Kan ikke utleveres