

Tungmetaller i norske innsjøer - et miljøproblem?

Av Brit Lisa Skjelkvåle¹⁾,
Espen Lydersen¹⁾,
Eirik Fjeld¹⁾,
Tom Andersen¹⁾,
Oddvar Røyseth²⁾
og Arne Henriksen¹⁾

¹⁾ Norsk Institutt for vannforskning (NIVA)

²⁾ Norsk Institutt for luftforskning (NILU),
nåværende adresse NIVA

Sammendrag

En undersøkelse i 1995 av 1000 innsjøer fordelt over hele Norge viser at det regionale mønsteret av Pb, Cd, Zn og Co har en klar nord-syd gradient, med høye konsentrasjoner i sør og avtagende mot nord. Dette mønsteret avspeiler påvirkningen fra langtransportert forurensning, enten direkte som en følge av høye tungmetall-avsetninger, men også indirekte som følge av at forurensning bidrar til å løse ut tungmetaller fra nedbørfeltet. Fe, Mn, As, Cr og V viser et regionalt mønster som er tydelig påvirket av innsjøens innhold av løst organisk materiale. For Cu og Ni kan det virke som berggrunnsgeologiske forhold i stor grad er avgjørende for den geografiske fordelingen, noe som også til en viss grad også er tilfelle for As, Co, Cr og V. SFTs vannkvalitets-system er brukt for å karakterisere forurensningsgraden av tungmetaller i innsjøer og viser at 7.1% av norske innsjøer er markert til meget sterkt forurensnet av Pb, 3.4% av Cd og 0.7% av

Zn. Ingen av de andre tungmetallene viser konsentrasjonsnivåer som kan karakteriseres som forurensnet. Dette betyr ikke at enkelte sjøer i Norge kan være sterkt forurensnet av lokale punktutslipp. Den undersøkelsen som er gjort her gir en oversikt over den regionale utbredelsen av problemet og fanger ikke opp enkeltsjøer med lokal påvirkning.

Summary

A regional survey in 1995 of 1000 lakes in Norway shows that the regional pattern of Pb, Cd, Zn and Co have a north-south gradient with high concentrations in south and low in north. This pattern reflects the influence from long-range transported air pollutants, either directly as a consequence of high deposition of heavy metals, but also indirectly as a consequence of increased leaching due to acidification. Fe, Mn, As, Cr and V

show a regional pattern clearly dominated by organic content in the lakes, while the levels of Cu and Ni and also to a certain degree As, Co, Cr and V is dependant on the bedrock geology. The water quality classification system from SFT (The Norwegian Pollution Control Authorities) show that 7.1% of the Norwegian lakes can be classified as polluted by Pb, 3.4% by Cd and 0.7% by Zn. The other heavy metals in the survey did not show concentration levels that can be classified as polluted. This does not mean that single lakes in Norway cannot be heavy polluted by local sources. The survey presented here gives an overview of the regional picture and does not catch single lakes with local pollution.

Innledning

Langtransporterte luftforurensninger kan på ulike måter bidra til økt belastning av tungmetaller i innsjøer:

- Metaller fra atmosfærisk nedfall som faller direkte på innsjøoverflaten.
- Frigjøring av metaller som tidligere er akkumulert i de øvre lag av jordsmonnet som tilføres innsjøen via overflateavrenning og grunnvann.
- Sur nedbør øker frigjøring av atmosfærisk tilførte metaller og naturlig forekommende metaller i berggrunn og jordsmonn.
- Økt mobilitet av metaller som følge av vannforsuring vil også redusere sedimentasjon av metaller i innsjøer, som en følge av lav pH og

reduserte sorpsjonsmuligheter til partikler og kolloider.

I Norge har tungmetaller i nedbør, landmoser, jord, vann og sediment blitt kartlagt gjennom store regionale undersøkelser på 90-tallet. Disse undersøkelsene er i hovedsak finansiert med statlige midler fra Statens Forurensningstilsyn og Miljøverndepartementet, men også gjennom økonomisk egeninnsats fra de utførende institusjonene.

Kartlegging av metaller i terrestrisk mose ble utført i 1977, 1985, 1990 og 1995 (Steinnes et al. 1992, 1994, Rühling og Steinnes, 1999). Mose-dataene er kalibrert mot deposisjonsdata fra nedbørmålinger med godt resultat (Berg og Steinnes, 1997a). Undersøkelser av moser viser at nivåene av de langtransporterte tungmetallene V, Zn, As, Cd, Sb and Pb ble redusert med mer enn 50% mellom 1977 og 1990 på Sørlandet som er sterkest belastet med tungmetaller. Etter denne tid er det ikke observert noe ytterligere reduksjon, unntatt for Pb som har blitt redusert med ytterligere 30% fra 1990 til 1995 (Berg og Steinnes 1997b). Nedbørdata fra Birkenes viser tilsvarende trend for Zn, Cd og Pb (SFT 1998).

Kartlegging av metaller i jordsmonn viser at en rekke metaller er sterkt anrikt i de øverste sjikt, spesielt i sørlige deler av Norge. I de mest utsatte områdene er konsentrasjonene av Pb, Cd, As, og Sb ca. 10 ganger høyere enn i områder lenger nord (Steinnes et al. 1997, Steinnes et al. 1989). Også andre metaller, f.eks. Zn er klart anrikt i de sørlige områdene. Tilsvarende gradienter

er også påvist i vegetasjon (Berthelsen et al. 1995) og plantespisende dyr (Frøslie et al. 1984, 1985).

Konsentrasjonene av tungmetaller i sedimenter som ble avsatt i pre-industriell tid har gitt oss informasjon om den relative betydningen av geokjemiske kilder og naturlige atmosfæriske avsetninger i ulike deler av landet (Rognerud og Fjeld, 1993, Rognerud et al. 1999). Endringene i konsentrasjonene fra de pre-industrielle sedimentene til de nylig avsatte overflatesedimentene viser betydelig antropogen påvirkning av metallnivåene i akvatiske systemer. Tålegrensen for metaller er i høyeste grad avhengig av det naturlige metallnivået. Derfor kan en lik antropogen atmosfærisk belastning ha ulik betydning i ulike regioner. Det er derfor viktig at konsentrasjoner i nedbør og vann (som ikke kan gi informasjon om naturens eget bidrag) sammenholdes med sedimentkonsentrasjoner. Norge er sannsynligvis det eneste landet som har data som muliggjør å kombinere data fra ulike nasjonale metallinventeringer.

En re-evaluering av data fra 165 innsjøer prøvetatt i 1974-75 viser en tydelig kobling mellom Zn-konsentrasjoner i vann og atmosfærisk nedfall (Steinnes og Henriksen 1993). Dette inntrykket forsterkes av data for Zn og Pb i et begrenset antall sjøer fra SFT's 1000-sjøers undersøkelse i 1986 (Steinnes et al. 1989b).

En omfattende regional undersøkelse av tungmetaller i norske innsjøer ble for første gang gjennomført i 1995. Dette året ble ca. 1000 statistisk utvalgte inn-

sjøer prøvetatt under høstsirkulasjonen, hvor tungmetaller ble analysert i tillegg til tradisjonelle hovedkjemiske parametre. Dette var en del av SFT's program for overvåking av langtransportert forurenset luft og nedbør. Denne undersøkelsen har gitt oss grunnleggende informasjon om konsentrasjons nivåer og geografisk fordeling av en rekke elementer som vi tidligere har hatt liten kjennskap til i akvatiske miljøer. Disse dataene gir en basislinje for konsentrasjonsnivåene i norske innsjøer, en informasjon som kan vise seg å være viktig i framtiden når en skal studere endringene i disse elementenes konsentrasjon i lys av framtidige miljøpåvirkninger.

Hovedkonklusjonen fra de store regionale metallundersøkelsene i Norge er at Sør-Norge gjennomgående er kraftigst påvirket av langtransporterte forurensninger, både sterke syrer og metaller. Denne påvirkning avtar mot nord, som en naturlig konsekvens av at avstanden til kildene i Sentral og Øst-Europa øker.

Den Regionale Innsjøundersøkelsen 1995

Høsten 1995 ble det gjennomført en ny regional innsjøundersøkelse som en del av SFT's program for overvåking av langtransportert forurenset luft og nedbør. Det ble ikke budsjettert med midler for tungmetallanalyser i innsjøundersøkelsen. Det ble imidlertid samlet inn vannprøver for bestemmelse av tungmetaller og andre sporelementer samtidig med de øvrige prøvene i

spesialflasker etter NILU's standardiserte rutine.

Innsjøene som er prøvetatt i denne undersøkelsen er valgt ut statistisk (Skjelkvåle et al. 1997) fra NVE's innsjødatabase, REGINE. Innsjøene er fordelt over hele landet med avtagende tetthet fra sør mot nord. Det ble også lagt vekt på at alle størrelsesklasser av innsjøer skulle være representert. Med denne utvalgsmetodikken er det mulig å gi et statistisk uttrykk for konsentrasjonsfordelingen for de enkelte metallene i hele den norske innsjøpopulasjonen. Tabell 1 viser antall sjøer i hver av de definerte størrelsesklassene, samt hvor stor % dette utgjør av den totale innsjøpopulasjonen i klassen.

Vannprøvene ble samlet inn kort etter høstsirkulasjonen i september til november, hovedsakelig med helikopter (96% av sjøene). Prøvene ble tatt enten direkte i utløpet eller med en Ruttner-vannhenter i helplast (fra helikopter). Vann for metallanalyser ble deretter fylt direkte på 100 ml plastflasker, spesialbehandlet for tungmetaller etter NILU's standard rutine. Denne prøvetakingsmetoden medførte liten mulighet for kontaminering. Prø-

vene ble senere konserverert med Suprapur HNO₃ og analysert med ICP-MS ved NILU.

Hva bestemmer fordelingen av tungmetaller i norske innsjøer?

Resultatene fra den regionale undersøkelsen av tungmetaller er presentert i en foreløpig rapport fra 1996 (Skjelkvåle et al. 1996) og i en større Nordisk sammenstilling av tungmetaller fra ca. 3000 innsjøer i Norge, Sverige, Finland, Danmark og Russisk Kola fra 1999 (Skjelkvåle et al. 1999). Dataene er også bearbeidet gjennom et norsk-svensk samarbeidsprosjekt om effekter på tungmetallene under reforsuring av tidligere kalkede innsjøer (Lydersen og Löfgren, 1999). Resultatene som presenteres her baserer seg på de tre nevnte rapportene. I tabell 2 er konsentrasjonefordelingen av de 11 tungmetallene (inkl. As som ikke er et tungmetall) som inngår i undersøkelsen presentert.

Det er i hovedsak 4 faktorer som bestemmer den regionale fordelingen av tungmetaller i norske innsjøer:

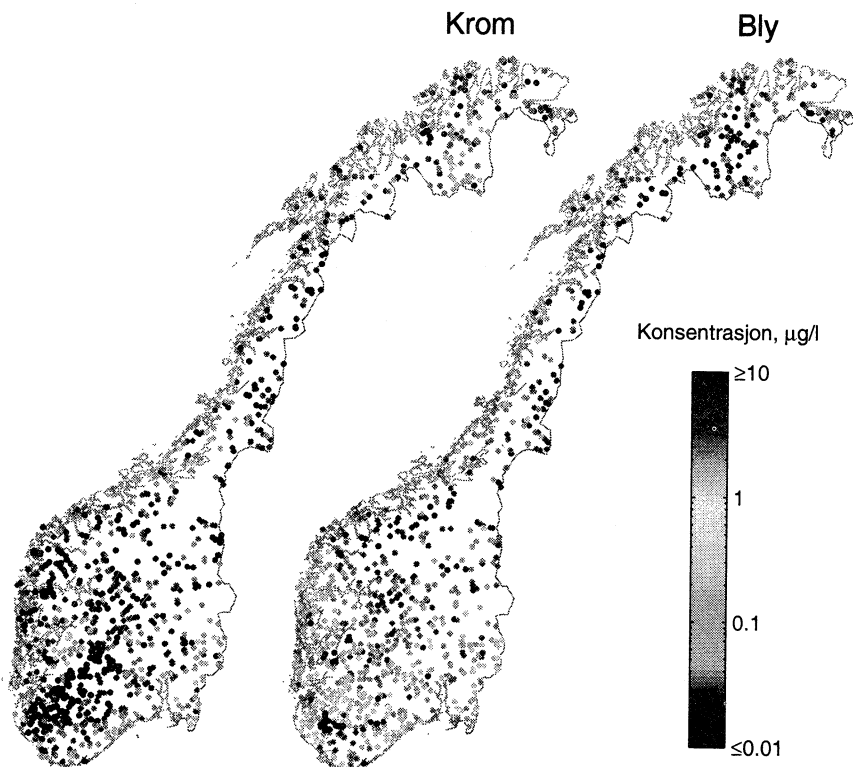
- Konsentrasjonen i luft og nedbør

Tabell 1. Antall sjøer i de respektive størrelsesklassene, samt prosentvis utvalg i forhold til totalt antall sjøer i den respektive størrelsesklassen.

Størrelse (km ²)	0.04-0.1	0.1-1	1-10	10-100	>100	Total
Total	419	353	177	29	7	985
% av total antall sjøer	2.0	2.2	8.3	17.7	100	2.5

Tabell 2. Konsentrasjonsfordeling av 11 tungmetaller basert på resultater fra 985 statistisk utvalgte innsjøer i Norge prøvetatt høsten 1995.

	V	Cr	Fe	Mn	Co	Ni	Cu	Zn	As	Cd	Pb
max	5.9	6.1	7680	326	3.1	7.0	37.7	139	12	1.07	15
99.5 %	2.3	2.9	1589	116	0.80	3.8	4.4	37	2.0	0.20	8.0
97.5 %	0.70	0.90	608	59.3	0.42	1.6	1.9	12	0.56	0.12	2.1
90.0 %	0.30	0.30	292	24.1	0.19	0.70	1.0	6.9	0.27	0.06	0.87
75.0 %	<0.30	0.10	136	9.0	0.085	0.40	0.60	3.6	0.14	0.030	0.42
50.0 %	<0.30	<0.10	51	3.2	0.048	0.20	0.30	1.5	<0.05	<0.020	0.17
25.0 %	<0.30	<0.10	17	1.3	0.023	0.10	<0.20	0.8	<0.05	<0.020	0.09
10.0 %	<0.30	<0.10	<15	0.5	<0.020	<0.10	<0.20	0.3	<0.05	<0.020	0.05



Figur 1. Bly og krom konsentrasjoner i norske innsjøer målt høsten 1995. Bly viser et bilde som er sterkt påvirket av langtransportert forurensning, med høye konsentrasjoner i Sør-Norge og avtagende konsentrasjoner nordover. Krom har stort sett lave verdier over hele landet, med unntak av et område sør for Hardangerfjorden, indre deler av Finnmarksvidda og enkelte sjøer rundt Trondheimsfjorden og grensetraktene mot Sverige på Østlandsområdet. Den mest sannsynlige årsaken til høye konsentrasjoner i disse områdene er naturlige forhold (organisk innhold i sjøene og bergrunnsgeologiske forhold)

- Innsjøens surhet (pH)
- Innsjøens innhold av løst organisk materiale
- Nedbørfeltets geologi

Det regionale mønsteret av tungmetaller viser at Pb, Cd, Zn og Co har en klar nord-syd gradient, med høye konsentrasjoner i sør og avtagende mot

nord (figur 1 viser Pb). Dette mønsteret avspeiler påvirkningen fra langtransportert forurensning, enten direkte som en følge av høye tungmetall-avsetninger, men også indirekte som følge av at forurensning bidrar til å løse ut tungmetaller fra nedbørfeltet.

Fe, Mn, As, Cr og V (figur 1 viser

Cr) viser et regionalt mønster som er tydelig påvirket av innsjøens innhold av løst organisk materiale. Disse tungmetallene viser de laveste konsentrasjoner i fjellområdene i vest-Norge hvor det er lite jordsmonn og skog og mye nedbør, som medfører lave konsentrasjoner av organisk materiale i innsjøene. Konsentrasjonene øker mot øst, som et resultat av tykkere jordsmonn, mere skog og myr og mindre nedbør.

For Cu og Ni kan det virke som berggrunnsgeologiske forhold i stor grad er avgjørende for den geografiske fordelingen, noe som også til en viss grad også er tilfelle for As, Co, Cr og V.

De empiriske observasjonene av faktorene som er viktig for fordelingen av tungmetaller er understøttet av statistiske analyser (Skjelkvåle et al. 1999).

Er tungmetaller i innsjøer et miljøproblem i Norge?

Metodikken som er brukt ved utvalg av innsjøene som ble prøvetatt gjør det mulig å beregne percentilfordelingen av tungmetaller som uttrykker hele den norske innsjøpopulasjonen (tabell 2). Alle elementene viser generelt lave verdier. Vi har satt fordelingen i sammenheng med SFTs vannkvalitetssystem for å angi hvor forurenset norske innsjøer er m.h.p. tungmetaller.

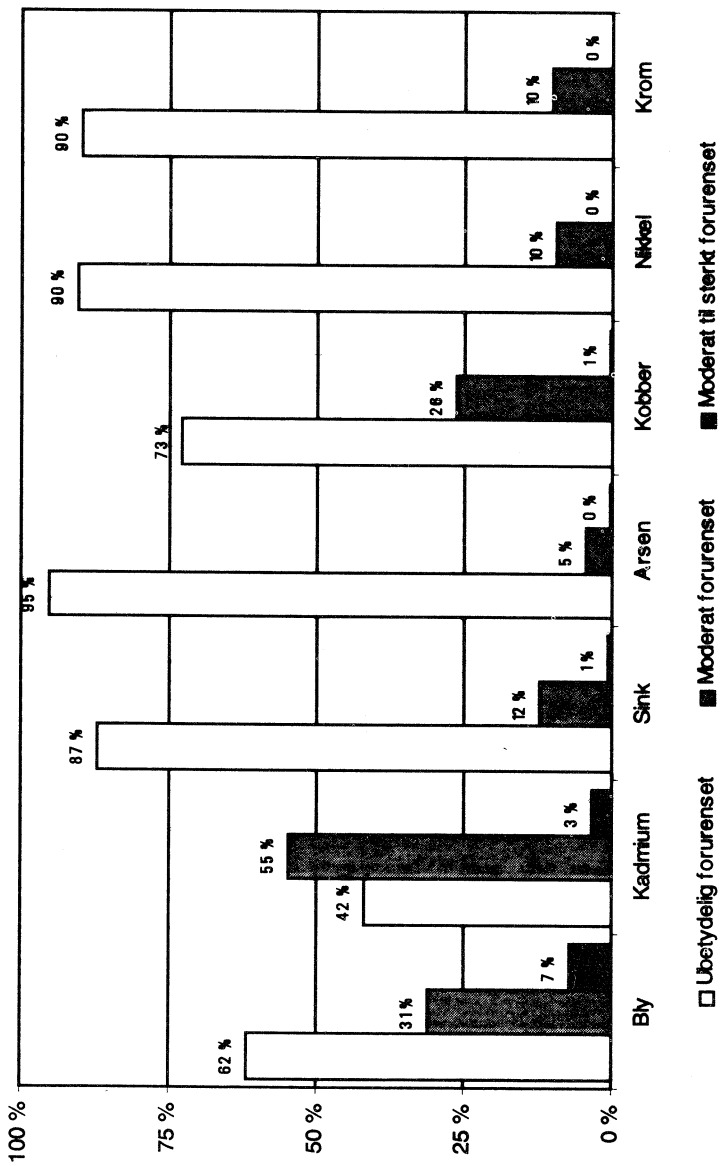
SFTs vannkvalitetssystem benytter 5 tilstandsklasser (I-V) for å karakterisere forurensingsgraden av tungmetaller i vann. For å forenkle det litt har vi slått sammen klasse III-V. Klasifiseringer viser at 7.1% av norske innsjøer er markert til meget sterkt foru-

renset av bly (forurensingsklasser III+IV+V), 3.4% av kadmium og 0.7% av sink (figur 2). Ingen av de andre tungmetallene viser konsentrasjonsnivåer i klasse III-V. Dette betyr ikke at enkelte sjøer i Norge kan være sterkt forurenset av lokale punktutslipp. Den undersøkelsen som er gjort her gir en oversikt over den regionale utbredelsen av problemet og fanger ikke i særlig grad opp enkeltsjøer med lokal påvirkning.

ICP-MS analysen som er brukt for å analysere tungmetaller i denne undersøkelsen uttrykker kun den totale konsentrasjonen av enkeltelementer i vann. Det er imidlertid bare den frie uorganiske formene av metallene som normalt er giftig for organismer i vann. Organisk materiale er en viktig kompleksbinder for metaller. Dette betyr at høyt innhold av løst organisk materiale vil redusere mengden av frie uorganiske metall-ioner og dermed redusere giftigheten. Også høye konsentrasjoner av basekationer som kalsium og natrium vil redusere giftigheten til metaller.

Konklusjoner

Resultatene fra undersøkelsen viser at tungmetallforurensning i norske vann er et begrenset miljøproblem i dag. Sørlandet er der problemet er størst. Dette er det samme området som også er mest påvirket av sur nedbør. Den kombinerte miljøbelastningen av forurensning og tungmetaller er i liten grad utredet. Det er også viktig å påpeke at denne undersøkelsen kun omfatter innsjøer, og at kvikksølv (Hg) ikke inngikk i denne



Figur 2. Klassifisering av norske innsjøer i SFTs vannkvalitetssystem. Andel innsjøer i hver forurensningsklassene er angitt i %.

undersøkelsen. I Sverige er det vist at det generelle konsentrasjonsnivået for tungmetaller er høyere i elver enn i innsjøer. Samtidig har vi norske studier som viser at Hg-konsentrasjoner i stor abbor og gjedde kan være høyere enn det som anbefales for konsum. Dette synes primært å være i humusrike innsjøer på Østlandet (Rognerud et al. 1996).

Med unntak av enkeltsjøer som kan være påvirket av lokale punktkilder eller naturlige forhold, er de fleste sjøene med for høye metallkonsentrasjoner påvirket av langtransportert forurensning. Dette er godt dokumentert gjennom denne innsjø-undersøkelsen, og vil være en viktig dokumentasjon i forbindelse med internasjonale forhandlinger om reduksjoner i utslipp av tungmetaller.

Referanser

Berg T. og Steinnes E. 1997a. Use of mosses (*Hylocomium splendens* and *Pleurozium schreberi*) as biomonitors of heavy metal deposition: From relative to absolute deposition values. *Environmental Pollution* 98: 61-71.

Berg T. og Steinnes E. 1997b. Recent trends in atmospheric deposition of trace elements in Norway as evident from the 1995 moss survey. *Sci. Total Environ.* 208:197-206.

Berthelsen, B.O. Steinnes, E. Solberg, W. og Jingsen, L. 1995. Heavy metal concentrations in plants in relation to heavy metal deposition. *J. Environ Qual.*, 24:1018-1026

Frøslie, A. Norheim, G. Rambæk J.P. og Steinnes, E. 1985. Heavy metals in lamb liver: Contribution from atmospheric fallout. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 34:175-82.

Frøslie, A. Norheim, G. Rambæk, J.P. og Steinnes, E. 1984. Levels of trace elements in liver from Norwegian moose, reindeer and red deer in relation to atmospheric deposition. *Acta Vet. S.* 25: 333-345.

Lydersen, E. og Löfgrén, S. 1999. Chemical and biological effects of reacidification of limed water bodies. Swedish Environmental Protection Agency (SNV), SNV-report (i trykk).

Rognerud, S., Fjeld, E. og Løvik, J.E. 1999. Landsomfattende undersøkelse av metaller i innsjøsedimenter. Statlig program for forurensningsovervåking. TA 1631/99, Rapport nr. 759/99.

Rognerud, S., Fjeld, E. og Sundstøl Eriksen, G. 1996. Landsomfattende undersøkelser av Hg i ferskvannsfisk og vurdering av helsemessige konsekvenser av konsum. Statlig program for forurensningsovervåking. TA 1380/96. Rapport nr. 673/98.

Rognerud, S. og Fjeld, E., 1993. Regional survey of heavy metals in lake sediments in Norway. *AMBIO* 22: 206-212.

Rognerud, S. og E. Fjeld. 1990. National survey of heavy metals in lake sediments and mercury in fish. SFT-rapport 426/90. 77 p.

- Rühling, Å. og Steinnes, E. (eds.) 1998. Atmospheric Heavy Metal Deposition in Europe 1995-1996. Nord 1998:15. Nordic Council of Ministers, Copenhagen, 66 p.
- SFT, 1998. Overvåking av langtransportert forurenset luft og nedbør. Atmosfærisk tilførsel 1997. SFT-rapport 739/98
- Skjelkvåle, B.L., Mannio, J., Wilander, A., Johannsson, K., Jensen, J.P., Moiseenko, T., Andersen, T., Fjeld, E., Røyseth, O., 1999. Heavy metal surveys in Nordic lakes; harmonised data for regional assessment of critical limits. NIVA-report SNO 4039-99.
- Skjelkvåle, B.L., Henriksen, A., Faafeng, B. Fjeld, E. Traaen, T.S. Lien, L., Lydersen, E. og Buan, A.K. 1997. Regional innsjøundersøkelse 1995. En vannkjemisk undersøkelse av 1500 norske innsjøer. SFT rapport 677/96.
- Skjelkvåle, B.L., Henriksen, A. Vadset, M. og Røyset, O. 1996. Sporelementer i norske innsjøer – Foreløpig resultat for 473 sjøer. NIVA 3457-96.
- Steinnes, E. Allen, R.O. Petersen, H.M. Rambaek, J.P. og Varskog, P. 1997. Evidence of large scale heavy-metal contamination of natural surface soils in Norway from long-range atmospheric transport. Sci. Tot. Environ. 205: 255-266
- Steinnes, E og Henriksen, A. 1993. Metals in small Norwegian Lakes: Relation to atmospheric deposition of pollutants. Water Air Soil Poll. 71, 167-174.
- Steinnes, E. Rambaek, J.P. og Hanssen, J.E. 1992. Large scale multi-element survey of atmospheric deposition using naturally growing moss as biomonitor. Chemosphere, 35:735-752.
- Steinnes, E. Solberg, W. Petersen, H.M og Wren C.D. 1989. Heavy metal pollution by long range atmospheric transport in natural soils of Southern Norway. Water Air Soil Poll. 45:207-218.