

Miljøovervåking Tjeldbergodden - Overvåking av metallinnhold i terrestriske næringskjeder, 2001-2002

John Atle Kålås

NINA Oppdragsmelding 796

NINA Norsk institutt for naturforskning

Miljøovervåking Tjeldbergodden
Overvåking av metallinnhold i terrestriske
næringskjeder, 2001-02

John Atle Kålås

NINA publikasjoner

NINA utgir følgende faste publikasjoner:

NINA Fagrapport

Her publiseres resultater av NINAs eget forskningsarbeid, problemoversikter, kartlegging av kunnskapsnivået innen et emne, og litteraturstudier. Rapporter utgis også som et alternativ eller et supplement til internasjonal publisering, der tidsaspekt, materialets art, målgruppe m.m. gjør dette nødvendig.

Opplag: Normalt 300-500

NINA Oppdragsmelding

Dette er det minimum av rapportering som NINA gir til oppdragsgiver etter fullført forsknings- eller utredningsprosjekt. I tillegg til de emner som dekkes av fagrapportene, vil oppdragsmeldingene også omfatte befaringsrapporter, seminar- og konferanseforedrag, års-rapporter fra overvåkingsprogrammer, o.a.

Opplaget er begrenset. (Normalt 50-100)

NINA Project Report

Serien presenterer resultater fra begge instituttenes prosjekter når resultatene må gjøres tilgjengelig på engelsk. Serien omfatter original egenforskning, litteraturstudier, analyser av spesielle problemer eller tema, etc.

Opplaget varierer avhengig av behov og målgrupper

Temahefter

Disse behandler spesielle tema og utarbeides etter behov bl.a. for å informere om viktige problemstillinger i samfunnet. Målgruppen er "allmennheten" eller særskilte grupper, f.eks. landbruket, fylkesmennenes miljøvern-avdelinger, turist- og friluftlivskretser o.l. De gis derfor en mer populærfaglig form og med mer bruk av illustrasjoner enn ovennevnte publikasjoner.

Opplag: Varierer

Fakta-ark

Hensikten med disse er å gjøre de viktigste resultatene av NINAs faglige virksomhet, og som er publisert andre steder, tilgjengelig for et større publikum (presse, ideelle organisasjoner, naturforvaltningen på ulike nivåer, politikere og interesserte enkeltpersoner).

Opplag: 1200-1800

I tillegg publiserer NINA-ansatte sine forskningsresultater i internasjonale vitenskapelige journaler, gjennom populærfaglige tidsskrifter og aviser.

Kålås, J.A. 2003. Miljøovervåking Tjeldbergodden. – Overvåking av metallinnhold i terrestriske næringskjeder, 2001-02 - NINA Oppdragsmelding 796. 22pp.

Trondheim, juni 2003

ISSN 0802-4103

ISBN 82-426-1409-1

Forvaltningsområde:

Naturovervåking

Environmental monitoring

Rettighetshaver ©:

NINA

Norsk institutt for naturforskning

Publikasjonen kan siteres fritt med kildeangivelse

Redaksjon:

Norunn S. Myklebust

Design og layout:

Synnøve Vanvik

Sats: NINA

Kopiering: Norservice

Opplag: 100

Kontaktadresse:

NINA

Tungasletta 2

N-7485 Trondheim

Telefon: 73 80 14 00

Telefax: 73 80 14 01

Tilgjengelighet: Åpen

Prosjekt nr.: 12583 Tjeldbergodden, fauna

Ansvarlig signatur:

Norunn S. Myklebust

Oppdragsgiver:

StatOil

Referat

Kålås, J.A. 2003. Miljøovervåking Tjeldbergodden. - Overvåking av metallinnhold i terrestriske næringskjeder, 2001-02 - NINA Oppdragsmelding 796. 22pp.

Innhold av metaller og kalsium overvåkes i et utvalg av arter fra forskjellige næringskjeder i et område mellom Kjørsvik og Reinsjøen som forventes å være relativt sterkt utsatt ved eventuell luftforurensning fra industrianlegget på Tjeldbergodden. De elementer som inngår er: i) tungmetaller som kan være direkte skadelige for dyr (bly, kadmium, kvikksølv, nikkel), ii) stoff som kan være skadelige for dyr og som kan få økt tilgjengelighet på grunn av forurensning av jordsmonnet (aluminium), og iii) stoff som er nødvendige for dyr og som kan komme i ubalanse på grunn av forurensning (kalsium, kopper, sink).

Overvåkingen inkluderer arter som kan vise endring i tilførsel via luft (moser og lav), arter som kan vise endringer i dyr sin tilgang til de aktuelle stoffene (5 viktige beiteplanter for viltlevende plantespisere), og arter som kan representere endring i forekomster av de aktuelle stoffene i viltlevende dyr (insektspisende og plantespisende fugl og pattedyr).

Vår sammenligning av nåværende (2001-02) forekomster av de aktuelle elementene med situasjonen før industrietablering (1993-94) indikerer at det er små eller ingen endringer for de inkluderte forurensningsstoffene. Dette gjelder både tilførsel til undersøkelsesområdet via luft, innhold i viktige beiteplanter og innhold i dyr. Neste undersøkelsesrunde vil bedre kunne belyse om de små endringer som vi observerer (for eksempel reduksjon i Al og Ca-innhold i høyere planter) er pågående trender eller om dette bare er naturlige variasjoner. I denne oppfølgingsundersøkelsen har vi brukt ICP-MS for de kjemiske analysene. Dette har gitt redusert deteksjonsgrense for flere av de inkluderte elementene (Cd, Hg, Pb & Ni), noe som bedrer mulighetene for dokumentasjon av små endringer for disse stoffene ved neste undersøkelsesrunde.

Emneord: Miljøovervåking, metaller, kalsium, planter, fugler, pattedyr.

John Atle Kålås, Norsk institutt for naturforskning, Tungasletta 2, 7485 Trondheim.

Abstract

Kålås, J.A. 2003. Environmental monitoring at Tjeldbergodden - monitoring of metal content in terrestrial food chains, 2001-2002 - NINA Oppdragsmelding 796. 22pp.

Metal and calcium content was monitored in a selection of species from different food chains in an area between Kjørsvik and Reinsjøen which was expected to be relatively strongly exposed to possible air pollution from the industrial plant at Tjeldbergodden. The elements studied were: i) heavy metals which can be directly injurious to animals (lead, cadmium, mercury, nickel), ii) elements which can be injurious to animals and which can become mobilised due to acidification of the soil (aluminium), and iii) trace elements which are necessary for animals and which can be sent out of balance due to pollution (calcium, copper, zinc).

Monitoring included species which can be used to demonstrate changes in levels of transport via the air (mosses and lichens), plant species which can be used to demonstrate changes in the animals actual intake of particular elements (5 important grazing plants for wild living herbivorous species), and species which can give a measure of changes in the occurrence of particular elements in wild animals (insectivorous and herbivorous birds and animals).

Our comparison of current (2001-2002) levels of the studied elements with the situation before the establishment of the factories (1993-94) indicates that there has been little or no change. This applies to transport to the study area by air, to levels in important grazing plants, and to levels in animals. The next monitoring phase will be better able to shed light on whether the small changes which were observed (e.g. reduction in Al and Ca levels in higher plants) are a continuing trend, or merely due to natural variations. In this follow-up investigation we have used an ICP-MS for the chemical analyses. This has reduced the detection limit for many of the elements studied (Cd, Hg, Pb, & Ni), and will improve the possibilities for documenting small changes in these toxic metals in the next monitoring round.

Keywords: Environmental monitoring, metals, calcium, plants, birds, mammals.

John Atle Kålås, Norwegian Institute for Nature Research, Tungasletta 2, N-7485 Trondheim, Norway.

Forord

I forbindelse med etablering av metanolfabrikk på Tjeldbergodden i Aure kommune, Møre og Romsdal ble det i perioden 1992-94 utføres biologiske grunnlagsundersøkelser. Disse hadde blant annet som mål å beskrive forurensingssituasjonen i området før oppstart av industriaktivitet. Den undersøkelsen som presenteres her er en oppfølgingsundersøkelse for vurdering av eventuelt omfang av forurensing via luft til terrestriske næringskjeder. Undersøkelsen er utført i et område mellom Kjørsvik og Reinsjøen. Det undersøkte området ligger ca 3 km ØNØ for industrianlegget og ligger innenfor de områder en forventer er mest utsatt for luftutslipp fra industrianlegget. Denne undersøkelsen utføres i regi av Statoil og inngår som en del av den rutinemessige miljøovervåkingen som gjøres i tilknytning til industriaktiviteten på Tjeldbergodden.

En rekke personer har bistått oss i forbindelse med innsamlingen av prøver. Først vil vi takke grunneierne i området for bistand og velvillig innstilling til vår aktivitet i området. Dette omfatter særlig innsamlingsaktiviteten vår i Kjørsvik–Reinsjøområdet. Innsamlingen av hare og hønsfugler i området omkring Fonna er i hovedsak utført av lokale jeger og Leif Gunnar Buhaug har i særlig grad bistått oss ved dette arbeidet. Helge Gjerde har bistått oss ved innsamling av data fra fuglekassene, mens Sten L. Svartaas har utført innsamling av planter og småpattedyr. Preparering av planteprøver og dyreprøver for metallanalyser er utført av Sten L. Svartaas, mens Syverin Lierhagen har hatt ansvaret for metallanalysene. Disse samt alle andre som har gitt oss assistanse underveis takke hjerteligst.

Trondheim juni 2003

John Attle Kålås

Innhold

Referat	3
Abstract	3
Forord.....	4
1 Innledning	5
2 Metoder	5
2.1 Prøveinnsamling	5
2.2 Laboratorierutiner	7
2.3 Kjemiske analyser	7
3 Resultater og diskusjon	13
3.1 Stoff som kan være skadelige for dyr og som får økt tilgjengelighet for levende organismer ved luftforurensning	13
3.2 Stoff som kan være skadelige for dyr og som kan få endret tilgjengelighet ved forurensning av jordsmonnet	15
3.3 Stoff som er nødvendige for dyr og som kan komme i ubalanse ved forurensing	15
4 Litteratur	16
Vedlegg 1 Metallinnhold i planter	18
Vedlegg 2 Metaller i lever fra spurvefugl og småpattedyr.....	20
Vedlegg 3 Metaller i lever fra hare og hønsfugler.....	22

1 Innledning

I forbindelse med oppstart av industriaktivitet på Tjeldbergodden ble det i 1993-94 utført en grunnlagsundersøkelse for forekomster av potensielt skadelige metaller i et utvalg av planter og dyrearter i området mellom Kjørsvik og Reinsjøen (Kålås & Jordhøy 1995). Den undersøkelsen som presenteres her er en repetisjon av grunnlagsundersøkelsen med mål å vurdere forurensingssituasjonen for dette området etter 7-8 år med bygge og industriaktivitet på Tjeldbergodden. Byggeperioden startet i 1994 og selve produksjonsaktiviteten ved industri-anlegget startet sommeren 1997 med en stor metanolfabrikk, en luftgassfabrikk, en LNG-fabrikk og et mottaksanlegg for gass. Utslipp til luft fra industribyggene har i hovedsak bestått av forbrenningsgasser (CO₂, NO_x, metan, flyktige organiske gasser og litt SO₂),

Vår natur påvirkes av en rekke antropogene forurensinger som kan medføre forandringer i naturmiljøet. En viktig del av slike forurensinger er tungmetaller (særlig bly, kadmiom, kvikksølv) som ved høye forekomster kan ha negative effekter på dyrelivet. Tilgjengeligheten av potensielle skadelige metaller til næringskjedene økes også ved forurensing av jordsmonnet og opptak og ekskresjon av tungmetaller kan påvirkes av innhold av andre stoffer i føden. Av viktige faktorer som reduserer omfang av akkumulering av metaller kan nevnes inntak av Ca (Barton et al. 1978, Rowland & Bray 1980) og Se (McGowan & Donaldson 1987, Cuvin-Aralar & Furness 1991). Også lokale vegetasjonsforhold og klima er med på å påvirke opptak av metaller, da særlig for plantespisende dyr (Kålås & Lierhagen 1992). All slik naturlig variasjon må tas hensyn til når en skal måle eventuelle endringer i metallinnhold i næringskjeder forårsaket av menneskelig aktivitet.

Denne undersøkelsen omfatter metallene bly (Pb), kadmiom (Cd), kvikksølv (Hg), nikkel (Ni), aluminium (Al), kopper (Cu), og sink (Zn), samt kalsium (Ca). Disse grunnstoffene er inkludert av følgende grunner:

- Stoff som kan være skadelige for dyr og som det har blitt økt tilførsel av til naturen på grunn av menneskelig aktivitet, eksempelvis industriaktivitet (bly, kadmiom, kvikksølv, nikkel).
- Stoff som kan være skadelige for dyr og som kan få økt tilgjengelighet for levende organismer på grunn av forurensing av jordsmonnet (aluminium).
- Stoff som er essensielle (nødvendige) for dyr og som kan komme i ubalanse på grunn av forurensing (kalsium, kopper, sink).

2 Metoder

Tjeldbergodden ligger i Aure kommune, Møre og Romsdal (63° 25' N, 8° 40' Ø). Mesteparten av innsamlingen av prøver er konsentrert til området mellom Kjørsvik og Reinsjøen, 3-4 km ØNØ for industri-anlegget på Tjeldbergodden og 70-90 m over havet (**figur 1**). Spredningsberegninger utført av NILU viser at dette er innenfor de områder som forventes å være sterkest påvirket av utslipp av forurensing til luft fra industri-anlegget på Tjeldbergodden (Knudsen 1994). Hønsefuglene er innsamlet i området omkring fjellet Fonna, 3-5 km SV for industriområdet.

Berggrunnen i Tjeldbergoddenområdet er av prekambrisk-ordovicisk opprinnelse og består i all hovedsak av foliert kvartsdioritt og magmatittisk amfibolitt som gir næringsfattige jordsmonn (Askvik & Rokoengen 1985). Selv om området ligger nær sjø finnes her lite marine løsavsetninger. Vegetasjonen i området mellom Kjørsvik og Reinsjøen er dominert av furuknauser, ombrotrof tuemyr og fattig glissen furuskog der røsslyng og blokkebær dominerer i feltskiktet. Det er for øvrig noen mindre områder med rikere furuskog og noe dyrka mark i området nærmest Kjørsvik. For nærmere beskrivelse av vegetasjonforholdene viser vi til Fremstad (1994) og Eilertsen & Fremstad (1994). Ved Fonna danner bjørkeskog skoggrensen som ligger omkring 300 m over havet.

2.1 Prøveinnsamling

Kartleggingen av forekomstene av miljøgifter i terrestriske næringskjeder er valgt utført etter samme modell som Direktoratet for naturforvaltning sitt program for "Terrestrisk naturovervåking" (TOV) (Løbersli 1989, Direktoratet for naturforvaltning 1997). Dette programmet ble startet opp i 1990 og har som målsetning å supplere allerede løpende overvåkingsprogrammer for å belyse eventuelle effekter av langtransporterte luftforurensninger på terrestrisk naturmiljø i Norge. TOV dekker i all hovedsak nordboreale og alpine områder og det opplegg som er benyttet på Tjeldbergodden er derfor justert noe i forhold til TOV (ut fra lokale forekomster av de arter som er aktuelle for innsamling). Lokale variasjoner i forekomster av arter og store variasjoner mellom år i forekomster av enkelte av de aktuelle artene (f.eks. smågnagere) medfører at innsamlingen av prøver fra TOV-områdene vanligvis foregår over en treårsperiode. I TOV-områdene foregår det innsamling av prøver for miljøgiftanalyser fra følgende næringskjeder:

- **Lav** - reinsdyr
- **Vegetasjon - rype/orrfugl/hare** - kongeørn/jaktfalk
- **Vegetasjon - smågnagere** - kongeørn/jaktfalk/fjellrev
- (Invertebrater) - **spissmus/svarthvit fluesnapper/kjøt-meis** - dvergfalk

Parentes angir at denne gruppen foreløpig ikke samles inn i TOV-regi. Ved etableringen av overvåkingen av forekomster av metaller i terrestriske næringskjeder ved Tjeldbergodden i 1993-94 ble de grupper/arter som er understreket i overstående oversikt valgt inkludert (Kålås & Jordhøy 1995). For nær-

mere sammenligning med TOV-aktiviteter viser vi til Kålås et al. 1991.

De resultater som rapporteres her er basert på prøver innsamlet i 2001 og 2002. Innsamlingsprosedyrer og innsamlingslokaliteter har vært identiske med det som ble utført i 1993-94. Følgende innsamling av prøver ble utført (se også Kålås & Jordhøy 1995):

Plantep prøver

Plantep prøver ble samlet inn fra de samme 6 forskjellige prøvefelt i området Nordgård-Reinsjøen som for 1993 (**figur 1**, Felt A-F). Innsamlingslokalitetene ble identifisert ved hjelp av detaljerte beskrivelser gitt i 1993. I 2001 ble lokalisering plottet ved hjelp av GPS noe som sikrer senere identifisering av disse prøvefeltene. Fra hvert felt ble det samlet inn 1 prøve av hver av følgende 8 plantearter: reinlav (*Cladonia* spp), moser (etasjemose (*Hylocomium splendens*), furumose (*Plaurozium schreberi*) og karplanter (røsslyng (*Calluna vulgaris*), blåbær (*Vaccinium myrtillus*), dvergbjørk (*Betula nana*), bjørk (*Betula pubescens*) og vier (*Salix* spp.).

Innsamlingen av planter ble utført 27-29 august 2001. Hver plantep prøve består av materiale fra et utvalg av individer innen et område på under 10 x 10 m. Materialet ble samlet i papirposer, det ble nedfrosset snarest mulig etter innsamling og oppbevart ved -20 °C inntil videre bearbeiding i vårt laboratorium på Tungasletta i Trondheim.

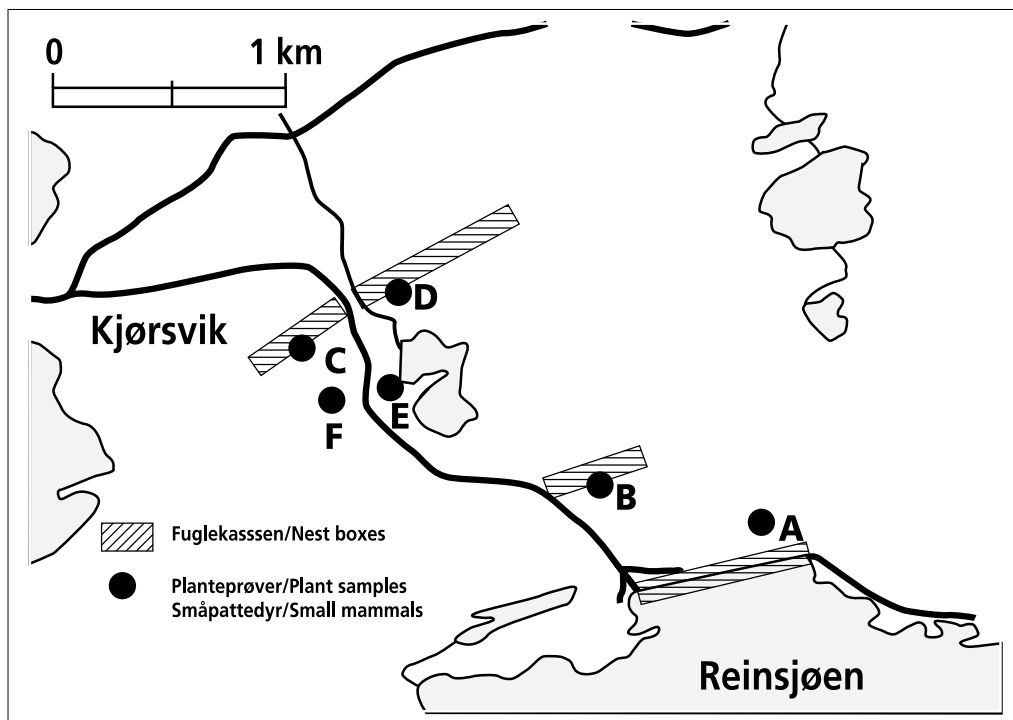
Småpattedyr

Smågnagere og spissmus ble samlet inn ved fellefangst. Smågnagerpopulasjonene varierer sterkt mellom år og har vanligvis sykluser med 3-5 år mellom hver populasjonstopp. Mulighetene for å få fatt i dyr avhenger sterkt av stadium i smågnagersyklusen.

Fellefangst etter smågnagere ble også utført i området Nordgård-Reinsjøen med fangstlinjer (à 50 feller) i tilknytning til feltene der plantep prøver ble samlet inn (**figur 1**, Felt A-F). Det ble fanget i periodene 24-29 august 2001, 29-31 august 2002 og 2-6 oktober 2002. I hver periode ble det fanget med totalt 300 feller hver natt. Totalt utgjør dette vel 3000 felledøgn med fangst.

I 2001 ble det fanget 27 klatremus (*Clethrionomys glareolus*) og 5 vanlig spissmus (*Sorex araneus*), mens det i 2002 ble fanget 15 klatremus og 9 spissmus. Dette gir en fangstindeks for 2001 på 2,1 smågnagere og 0,4 spissmus pr. 100 felledøgn, og for 2002 var fangstindeksen 0,9 smågnagere og 0,5 spissmus pr. 100 felledøgn. Dette indikerer relativt lave bestander av smågnagere og spissmus i dette området i 2001-02. I 1994 var tilsvarende fangstindeks 4,0 smågnagere og 2,6 spissmus pr. 100 felledøgn.

Av de innsamlede småpattedyrene ble 15 klatremus (9 fra 2001 og 6 fra 2002) tyngre enn 24 g (8 hunner og 7 hanner) og 14 vanlig spissmus (5 fra 1993 og 9 fra 1994) tyngre enn 7,5 g (7 hunner og 7 hanner) benyttet for kjemiske analyser av metallinnhold i lever. Et slikt utvalg vil hovedsakelig bestå av kjønnsmodne individer med en alder mellom 1 og 5 mnd.



Figur 1. Oversikt over innsamlingsområdene for plantemateriale, spurvefugleunger og småpattedyr som ligger mellom Kjørsvik og Reinsjøen. - Location of sampling sites for plants, chicks from passerine birds and small mammals in the Kjørsvik - Reinsjø area.

Spurvefugler

For måling av metallbelastninger i spurvefugler har vi brukt unger av svarthvit fluesnapper (*Ficedula hypoleuca*) og kjøttmeis (*Parus major*). Innsamling av fuglunger ble gjort fra fuglekasser i de samme feltene som benyttet i 1993-94 (50 fuglekasser fordelt på tre områder, med henholdsvis 30 kasser ved Nordgård, 15 kasser mellom Småvatna og Reinsjøen og 15 kasser ved Reinsjøen (figur 1)). I 2001 ble det registrert egglegging av svarthvit fluesnapper i 21 kasser og av kjøttmeis i 4 kasser, mens det i 2002 ble det registrert egglegging av svart-hvit fluesnapper i 17 kasser og av kjøttmeis i 7 kasser. Det ble totalt samlet inn 3 unger fra hvert av 8 reir av svarthvit fluesnapper (5 kasser i perioden 24 juni – 10 juli 2001 og 3 kasser 29 juni 2002), og 3 unger fra hvert av 6 reir for kjøttmeis (3 kasser henholdsvis 19-24 juni og 22 juli 2001 og 3 kasser 1–5 juni 2002).

Alle innsamlede fuglunger er fra 10 til 13 dager gamle. Innen hvert enkelt kull kan vekten og dermed utviklingen av ungene variere noe. For å unngå å få med svekkede/dårlig utviklede unger er det for svarthvit fluesnapper bare benyttet unger med vekt over 10 g (13,0–15,6 g) og for kjøttmeis unger med vekt over 13 g (14,2–19,4 g).

Hønefugl

Som for 1993-94 ble innsamlingen av liryte (*Lagopus lagopus*), fjellryte (*Lagopus mutus*) og orrfugl (*Tetrao tetrix*) basert på kontakt med lokale jegere i forbindelse med den regulære høstjakt. Det er imidlertid relativt lite jakt på de aktuelle småviltartene innen det aktuelle området og det ble derfor også i denne innsamlingsrunden benyttet eget personell for slik innsamling. Innsamlingen av hønefugl er konsentrert til høydenivået 250-700 moh ved Fonna, 3-5 km SSØ for det etablerte industriområdet.

Totalt ble det samlet inn 9 stk. hønefugl (4 liryper, 3 fjellryper og 2 orrfugl) fordelt på 4 stk i 2001 og 5 stk i 2002.

2.2 Laboratorierutiner

Plantep prøver

For plantematerialet er følgende prosedyrer fulgt i laboratoriet:

- Et utvalg av materiale ble tatt fra forskjellige deler av planten. Øvrig materiale ble frosset ned igjen umiddelbart for videre oppbevaring.
- Ved all håndtering av materialet ble det benyttet èngangs plasthansker.
- Ved mekanisk oppdeling av materialet ble det benyttet kniver/pinsetter av titan.
- Følgende våtvektmengder ble veiet inn: reinlav, levende del, ca 2,0 g; moser (etasjemose: to siste årsskudd, furumose: levende del), ca 2,0 g; blåbær - blader, ca 2,0 g, blåbær - årsskudd, ca 0,8 g; vier - blader, 2,0 g, vier - årsskudd ca 0,8 g; dvergbjørk - blader ca 2,0 g, dvergbjørk - årsskudd, ca 0,8 g; bjørk - blader ca 2,0 g, bjørk - årsskudd, ca 0,8 g; røsslyng - årsskudd med blader ca 0,8 g.

Animalske prøver

Etter avliving/fangst ble innsamlede dyr oppbevart i plastposer og frosset ned ved -20 °C så snart som mulig (vanligvis innen 1-5 t, noe lenger tid for hønefuglene).

Ved uttak av prøver ble fuglene tint til ca 0 °C. Det er tatt prøve av lever for analysering av metaller. For spissmusene, klatremusene og fugleungene ble hele levera benyttet, og dette utgjorde 0,3-1,0 g våtvekt. For hønefuglene ble det tatt ut et ca 1.5 g (våtvekt) tverrsnitt av levera. Bare uskadde organer/deler av organer er benyttet. Ved uttak av prøver ble det brukt kniver og pinsetter av titan. Utstyret er rensert mellom hvert individ i 1 mol HNO₃ og skylt i destillert vann.

2.3 Kjemiske analyser

Samtlige prøver er analysert for forekomster av aluminium (Al), bly (Pb), kadmium (Cd), kopper (Cu), kvikksølv (Hg), nikkel (Ni) og sink (Zn). I tillegg er det analysert for innholdet av kalsium (Ca) i plantep prøvene.

Vårt analyselaboratorium er akkreditert av Norsk Akkreditering (ISO NS-EN ISO/IEC 17025). Følgende rutiner er fulgt ved bestemmelse av konsentrasjoner av de aktuelle tungmetallene og sporelementene:

- Prøvene ble tørket i frysetørker (Christ LDC-1) i ca 17 timer. Alle måleresultater er oppgitt på tørrvektsbasis (tv).
- Prøvene ble oppløst ved bruk av 14,4 molar Scan Pure HNO₃ og fortynt til 76,8 ml med destillert vann som gav 0,6 molar HNO₃ for analyseprøvene.
- Konsentrasjoner av metaller ble bestemt ved hjelp av Høyoppløselig – ICP-MS, type Element 1 fra Finnigan. Følgende isotoper ble benyttet ved bestemmelsen: ²⁷Al, ⁴⁴Ca, ¹¹¹Cd, ⁶³Cu, ²⁰²Hg, ²⁰⁷Pb, ⁶⁶Zn. Det ble bruk 'medium resolution mode' for Al, Ca, Cu og Zn og 'low resolution mode' for Cd, Hg og Pb.
- Nøyaktigheten av analyseprosedyrene ble kontrollert mot de internasjonale standardene (NIST): Bovine liver (1577b) og Dogfish-liver (DOLT-2), Pine needles (1575), Peach leaves (1547), samt IAEA-336 Intercomparison for Lichen (tabell 1).

Analysene av standardene viste for de fleste tilfeller et godt samsvar mellom sertifiserte verdier og våre resultater, og det lave standardavviket indikerer høy reproducerbarhet for våre måleresultat (tabell 1). Unntak her er Ni der vi med våre prosedyrer fant noe lav verdier enn det som er oppgitt for standardene, og da i særlig grad for plantep prøvene. For standardene som også ble analysert ved grunnlagsundersøkelsen i 1993-94 (Bovine liver & Dogfish liver) fant vi godt samsvar med 2002-03 analysene (Kålås & Lierhagen 1995), inkludert relativt lave verdier for Ni. For Peach leaves standarden som er sertifisert for Zn målte vi i 1993 114 % av sertifisert verdi, mens vi i 2002 målte 81 % av sertifisert verdi. Dette tyder på at vi med den målemetoden vi brukte i 2002 ikke var istand til å detektere 100 % av Zn mengden som fantes i høyere planter. Dette kommer trolig av at plantematerialet inneholder store mengder hovedioner (særlig K) noe som reduserer ioniseringsgraden av

Zn. For å undersøke dette nærmere gjorde vi en standard tilsetningstest for et utvalg av slike planteprøver. Dette indikerer at signalet for Zn blir underestimert med 40-50 %. Dette må tas

med i vurderingen av Zn-resultatene. For dyreprøvene var det ikke tilsvarende problemer med Zn analysene.

Tabell 1. Analyserte referansestandarder for kontroll av analysekvalitet. Alle verdier er gitt som mg kg^{-1} , tørrvekt. - International reference standards analysed (NIST). All values given as mg kg^{-1} , dry weight.

Standard/Element	Sertifisert verdi/ Certified value	Vårt resultat/ Present work			% av referanse 2001-02
		x	sd	n	
Bovine liver (1577b)					
Bly (Pb)	0,129	0,110	0,001	3	85
Kadmium (Cd)	0,50	0,52	0,01	3	104
Kopper (Cu)	160	160	3	3	100
Kvikksølv (Hg)	0,003	< 0,005		3	
Nikkel (Ni)	Ikke sertifisert	0,37	0,09	3	
Sink (Zn)	127	139	4	3	109
Dogfish-liver (DOLT-2)					
Bly (Pb)	0,220	0,244	0,05	3	111
Kadmium (Cd)	20,8	20,1	0,4	3	97
Kopper (Cu)	25,8	26,8	1,6	3	104
Kvikksølv (Hg) [†]	1,99/2,17	2,53		3	127/117
Nikkel (Ni)	0,20	0,18	0,02	3	90
Sink (Zn)	85,8	96,9	3,8	3	113
Pine needles (1575)					
Aluminium (Al)	545	490	9	4	90
Bly (Pb)	10,80	10,56	0,42	4	98
Kadmium (Cd)	0,19	0,20	0,02	4	105
Kalsium (Ca)	4100	4146	15	4	101
Kopper (Cu)	3,0	2,87	0,1	4	96
Kvikksølv (Hg)	0,150	0,128	0,01	4	85
Nikkel (Ni)	3,50	2,34	0,07	4	67
Sink (Zn)	Ikke sertifisert				
Peach Leaves (1547)					
Aluminium (Al)	249	193	22	4	78
Bly (Pb)	0,87	0,71	0,03	4	81
Kadmium (Cd)	0,030	0,019	0,001	4	63
Kalsium (Ca)	15600	14570	606	4	93
Kopper (Cu)	3,7	3,1	0,15	4	84
Kvikksølv (Hg)	0,03	0,033	0,001	4	105
Nikkel (Ni)	0,69	0,41	0,04	4	60
Sink n)	17,9	14,5	0,3	4	81
IAEA-336 Intercomparison for Lichen					
Aluminium (Al)	680	443	19	3	65
Bly (Pb)	4,90	4,54	0,19	3	93
Kadmium (Cd)	0,117	0,114	0,004	3	97
Kalsium (Ca)	2800	2340	56	3	83
Kopper (Cu)	3,6	3,3	0,10	3	92
Kvikksølv (Hg)	0,20	0,19	0,01	3	95
Nikkel (Ni)	1,07	0,87	0,03	2	81
Sink (Zn)	30,4	30,7	1,6	3	101

[†] - For kvikksølv var denne standarden først oppgitt til 1,99 mg kg^{-1} , men verdien er senere oppjustert til 2,17 mg kg^{-1} .

På grunn av den høye forekomsten av Al overalt i miljøet omkring oss er forurensing med Al ved håndtering av prøver i laboratoriene (kontaminering) et problem. Dette er et særlig aktuelt problem når en skal undersøke forekomster av Al i organprøver fra dyr som har svært lavt innhold av Al. For å redusere problemet med kontaminering ved håndtering av prøver ble tida prøvene stod åpne med muligheter for kontaminering fra luft minimalisert. Erfaringene fra tidligere undersøkelser indikerte at prøver med Al-verdier over 10 mg kg^{-1} mest trolig er kontaminert i laboratoriet. Våre blindprøver viser at slik kontaminering fortsatt kan forekomme. Fire av leverprøvene inkludert i denne undersøkte viste Al-verdier over 10 mg kg^{-1} . Disse prøvene er mest trolig kontaminert i laboratoriet, og er som for 1993-94 undersøkelsen utelatt ved beregninger og ved statistiske analyser. Se for øvrig kommentarer om Al i Resultat og Diskusjon kapitlet.

De brukte prosedyrene gav følgende deteksjonsgrenser (alle verdier gitt som mg kg^{-1} (tv)): Al = 0,5 (0,3) (for planter 5,0 (3,0)), Ca = 10,0, Cd = 0,004 (0,003), Cu = 0,1, Hg = 0,005 (0,003), Ni = 0,1 (0,07), Pb = 0,004 (0,003) og Zn = 0,1. Tallene i parentes viser verdier benyttet ved beregninger og ved statistiske analyser der konsentrasjonene var under deteksjonsgrensen. Verdier under deteksjonsgrensen utgjorde en relativt liten andel av totalanalysene for de fleste elementene og prøvetypene, men for dyreprøvene var andelen prøver under deteksjonsgrensa høy for Ni (91 %) og delvis også for Al (28 %). Detaljinformasjon om metallforekomster i enkeltindivider er gitt i vedleggene 1-3.

For alle metaller vist ICP-MS målingene våre meget høy instrument presisjon. Eksempelvis var det følgende gjennomsnittlig % avvik for 3 repeterte 'scan' for alle vegetasjonsprøvene som hadde konsentrasjoner over våre deteksjonsgrenser: Al = 2,6, Ca = 2,1, Cd = 2,6, Cu = 1,5, Hg = 3,0, Ni = 4,0, Pb = 2,4, Zn = 1,7.

Ved grunnlagsundersøkelsen som dette arbeidet er en oppfølging av ble det brukt atomabsorpsjon-spektroskopi m/grafittoven og hydridsystem som tilleggsutstyr for bestemmelse av konsentrasjoner for de aktuelle elementene (Kålås & Lierhagen 1995). Bruken av ICP-MS i undersøkelsen vi presenterer her gir lavere deteksjonsgrenser for flere av de inkluderte elementene (Cd, Hg, Pb & Ni). Dette gir et bedre grunnlag for dokumentasjon av svært små endringer for disse elementene ved neste undersøkelsesrunde.

For de aktuelle pattedyr og spurvefuglartene har vi i dette materialet følgende tørrvektprosent for leverprøver: spissmus 30,2 % (sd = 1,5, n = 14), klatremus, 27,4 % (sd = 1,1, n = 15), svarthvit fluesnapper, 28,5,1 % (sd = 2,1, n = 24), kjøttmeis 30,0 % (sd = 1,3, n = 18). For lirype og orrfugl er tilsvarende tørrvektprosent gitt av Kålås & Lierhagen (2003): lirype 30,1 % (sd = 1,7, n = 208), orrfugl 29,8 % (sd = 1,8, n = 89).

For planteprøvene ble prøvene klargjort vinteren 2001/2002 og de kjemiske analysene ble utført i mars 2002, mens uttak av dyreprøvene ble utført vinteren 2002/03 og de kjemiske analysene ble utført i april 2003. Det ble for øvrig ikke gjort noen form

av sortering av prøvene ved de kjemiske analysene hverken når det gjelder lokaliteter eller arter.

Statistiske analyser

Da forekomstene av de stoff vi her har undersøkt i hovedsak ikke er normalfordelt bør de statistiske analysene baseres på ikke-parametriske tester. For alle beskrivelser av metallinnhold for de enkelte prøvetypene (1993-94 i forhold til 2001-02, se **tabell 2** og **3**) har vi derfor valgt å presentere medianverdier. For å gi et grovt innblikk i variasjon i måleresultater for de enkelte gruppene har vi også valgt å presentere standard avvik (sd). Dette er et mål som egentlig krever normalfordeling for å bli rett. Det at mye av dataene ikke er normalfordelt må tas med i vurderingen når en leser **tabell 2**.

For å teste forskjeller mellom forskjellige plantearter og forskjeller mellom de to innsamlingperiodene samtidig har vi, der det er relevant i forhold til gitte forventninger, valgt å bruke parametriske tester (variansanalyser (ANOVA)) da disse kan inkludere effekter av både art og periode. Vi har her gruppert plantene i to grupper: i) de 3 lav/mosearter som gir informasjon om tilførsel fra luft, og ii) de 5 høyere plantearter som kan gi informasjon om tilgang av de aktuelle elementene til dyr. For å unngå at testen for høyere planter bygger på pseudoreplikater har vi her bare inkludert analyseresultatene for årsskudd. At dataene ikke helt tilfredstiller krav til fordeling for parametriske testene må tas med i vurderingen når en leser resultatene. For dyreprøvene (spissmus, klatremus og unger av svarthvit fluesnapper og kjøttmeis) baserer vi våre vurderinger av forskjeller mellom 1993-94 og 2001-02 på ikke-parametriske statistiske tester (Mann-Whitney tester) **tabell 3**. I **tabell 2** presenterer vi også slike tester for de forskjellige plantetypene som har medianverdi over aktuell deteksjonsgrense i begge undersøkelsesperiodene. Det relativt lave antall prøver som da blir inkludert for planteartene gir en relativt lavt teststyrke (power of test, se Sokal & Rohlf 1981). Dette medfører at endringer må være svært entydige for at 0,05 signifikansnivå oppnås. Dette må tas hensyn ved vurdering av resultatene.

Ved alle beregninger og statistiske analyser er statistikkprogrammet SPSS/PC for Windows 11.0.0 benyttet. Alle analyse-resultat er gitt i **vedlegg 1, 2 & 3**

Tabell 2. Innhold av metaller og kalsium (mg kg^{-1} , tørrvekt) i planter innsamlet i Kjølsvik–Reinsjøområdet, Tjeldbergodden i henholdsvis 1993 og 2001. Tabellen viser antall prøver (n), median verdier og standard avvik (sd). < angir at >50 % av målte prøver har konsentrasjoner under vår deteksjonsgrense. - Concentration of metals (mg kg^{-1} , dry-weight) in the plant samples collected in the Kjølsvik-Reinsjøen area, Tjeldbergodden 1993 and 2001. Sample size (n), median value and standard deviation. < indicate >50 % of the sample with values below our detection limit.

Art	n	1993		n	2001		Mann-Whitney U	
		Median	sd		Median	sd	Z	p
Kadmium (Cd)								
Reinlav	6	0,054	0,013	6	0,040	0,017	- 0,96	0,34
Etasjemose	6	0,077	0,041	6	0,078	0,096	0,00	1,00
Furumose	6	0,063	0,036	6	0,081	0,016	- 1,28	0,20
Røsslyng	6	< 0,015		6	< 0,004			
Blåbær, blad	6	0,023	0,013	6	0,013	0,007	- 1,60	0,11
Blåbær, årsskudd	6	< 0,015		6	0,015	0,006		
Dvergbjørk, blad	6	0,061	0,036	6	0,030	0,026	- 1,46	0,14
Dvergbjørk, årsskudd	6	0,104	0,047	6	0,055	0,061	- 1,46	0,14
Bjørk, blad	5	0,112	0,077	6	0,128	0,041	- 0,64	0,52
Bjørk, årsskudd	5	0,176	0,063	6	0,169	0,062	- 0,16	0,87
Vier, blad	6	0,390	0,470	6	0,324	0,116	- 1,28	0,20
Vier, årsskudd	6	0,583	0,425	6	0,483	0,170	- 1,12	0,26
Kvikksølv (Hg)								
Reinlav	6	0,040	0,040	6	0,039	0,010	- 0,32	0,75
Etasjemose	6	0,035	0,078	6	0,053	0,010	- 0,96	0,33
Furumose	6	0,052	0,189	6	0,063	0,016	- 0,16	0,87
Røsslyng	6	< 0,02		6	0,008	0,001		
Blåbær, blad	6	< 0,02		6	0,019	0,005		
Blåbær, årsskudd	6	< 0,02		6	0,007	0,001		
Dvergbjørk, blad	6	< 0,02		6	0,011	0,002		
Dvergbjørk, årsskudd	6	< 0,02		6	0,009	0,003		
Bjørk, blad	5	< 0,02		6	0,016	0,001		
Bjørk, årsskudd	5	< 0,02		6	0,009	0,002		
Vier, blad	6	< 0,02		6	0,015	0,005		
Vier, årsskudd	6	< 0,02		6	0,007	0,004		
Nikkel (Ni)								
Reinlav	6	< 0,5		6	0,12	0,03		
Etasjemose	6	< 0,5		6	0,38	0,13		
Furumose	6	< 0,5		6	0,42	0,24		
Røsslyng	6	< 0,5		6	0,26	0,14		
Blåbær, blad	6	< 0,5		6	0,23	0,12		
Blåbær, årsskudd	6	< 0,5		6	0,18	0,89		
Dvergbjørk, blad	6	< 0,5		6	0,37	1,55		
Dvergbjørk, årsskudd	6	< 0,5		6	0,83	1,28		
Bjørk, blad	5	< 0,5		6	0,41	0,83		
Bjørk, årsskudd	5	< 0,5		6	0,96	1,31		
Vier, blad	6	< 0,5		6	0,48	0,29		
Vier, årsskudd	6	< 0,5		6	0,66	0,18		
Bly (Pb)								
Reinlav	6	0,38	0,26	6	0,33	0,10	0,00	1,00
Etasjemose	6	1,25	0,51	6	0,62	0,15	-2,08	0,04
Furumose	6	0,90	0,59	6	0,80	0,09	0,00	1,00
Røsslyng	6	< 0,2		6	0,018	0,005		
Blåbær, blad	6	< 0,2		6	0,041	0,024		
Blåbær, årsskudd	6	< 0,2		6	0,010	0,005		
Dvergbjørk, blad	6	< 0,2		6	0,050	0,008		
Dvergbjørk, årsskudd	6	< 0,2		6	0,077	0,014		
Bjørk, blad	5	< 0,2		6	0,101	0,042		

Tabell 2 forts.

Art	n	1993		n	2001		Mann-Whitney U	
		Median	sd		Median	sd	Z	p
Bjørk, årsskudd	5	< 0,2		6	0,088	0,015		
Vier, blad	6	< 0,2		6	0,060	0,012		
Vier, årsskudd	6	< 0,2		6	0,047	0,018		
Aluminium (Al)								
Reinlav	6	43,0	15,2	6	50,5	9,5	- 1,28	0,20
Etasjemose	6	85,5	24,5	6	91,5	26,5	- 0,16	0,87
Furumose	6	82,5	10,5	6	175,3	34,4	- 2,88	< 0,01
Røsslyng	6	7,2	6,8	6	5,8	2,3	- 0,80	0,42
Blåbær, blad	6	89,5	33,8	6	89,9	30,9	- 0,32	0,75
Blåbær, årsskudd	6	41,5	34,7	6	39,4	11,4	- 0,64	0,52
Dvergbjørk, blad	6	5,2	12,8	6	6,4	2,2	- 0,55	0,58
Dvergbjørk, årsskudd	6	7,5	11,1	6	7,2	2,7	- 0,91	0,36
Bjørk, blad	5	11,5	7,3	6	12,2	3,0	- 0,16	0,87
Bjørk, årsskudd	5	11,6	6,8	6	8,3	2,4	- 0,80	0,42
Vier, blad	6	23,0	46,3	6	18,5	8,4	- 1,12	0,31
Vier, årsskudd	6	7,2	5,1	6	4,5	1,8	- 1,60	0,11
Kobber (Cu)								
Reinlav	6	1,08	0,25	6	1,03	0,29	- 0,96	0,34
Etasjemose	6	3,05	1,27	6	3,27	3,93	- 0,48	0,63
Furumose	6	3,51	0,83	6	3,68	1,31	- 0,64	0,52
Røsslyng	6	6,72	1,72	6	5,82	0,67	- 1,44	0,15
Blåbær, blad	6	4,31	0,80	6	4,68	0,85	- 0,96	0,34
Blåbær, årsskudd	6	6,63	1,44	6	5,95	0,54	- 1,28	0,20
Dvergbjørk, blad	6	3,33	0,26	6	3,22	0,68	- 0,73	0,47
Dvergbjørk, årsskudd	6	6,01	1,37	6	4,61	0,95	- 0,73	0,47
Bjørk, blad	5	3,01	0,71	6	3,12	0,55	- 0,32	0,75
Bjørk, årsskudd	5	5,43	0,60	6	5,13	1,02	- 0,80	0,42
Vier, blad	6	4,71	1,53	6	4,03	1,17	- 1,44	0,15
Vier, årsskudd	6	7,56	4,09	6	6,18	1,27	- 0,80	0,42
Zink (Zn)								
Reinlav	6	115	31	6	12,3	4,0	- 2,88	< 0,01
Etasjemose	6	166	166	6	28,2	18,3	- 2,56	0,01
Furumose	6	72	53	6	38,8	25,5	- 1,76	0,08
Røsslyng	6	61	34	6	16,7	3,6	- 2,88	< 0,01
Blåbær, blad	6	73	61	6	11,7	4,7	- 2,88	< 0,01
Blåbær, årsskudd	6	48	15	6	26,2	6,3	- 2,72	< 0,01
Dvergbjørk, blad	6	170	59	6	112	37	- 2,56	0,01
Dvergbjørk, årsskudd	6	190	77	6	112	29	- 2,37	0,02
Bjørk, blad	5	291	186	6	153	56	- 2,24	0,03
Bjørk, årsskudd	5	200	55	6	99	16	- 2,72	< 0,01
Vier, blad	6	208	175	6	82	57	- 2,08	0,04
Vier, årsskudd	6	188	144	6	77	28	- 2,56	0,01
Kalsium (Ca)								
Reinlav	6	510	87	6	319	93	- 2,24	0,03
Etasjemose	6	1770	430	6	1720	259	- 0,80	0,42
Furumose	6	2060	286	6	2050	198	- 0,48	0,63
Røsslyng	6	3520	520	6	3360	702	- 0,32	0,75
Blåbær, blad	6	8970	2450	6	8560	1730	- 0,16	0,87
Blåbær, årsskudd	6	6140	1270	6	5150	1280	- 0,80	0,42
Dvergbjørk, blad	6	5190	1450	6	4050	415	- 1,64	0,10
Dvergbjørk, årsskudd	6	3160	695	6	2490	215	- 1,28	0,20
Bjørk, blad	5	10330	2630	6	8660	1200	- 1,60	0,11
Bjørk, årsskudd	5	5270	1800	6	4310	819	- 0,80	0,42
Vier, blad	6	6560	2670	6	4350	2230	- 1,12	0,26
Vier, årsskudd	6	7490	1930	6	6190	2330	- 0,48	0,63

Tabell 3. Innhold av metaller (mg kg^{-1} , tørrvekt) i dyr innsamlet i Kjølsvik–Reinsjøområdet, Tjeldbergodden i henholdsvis 1993 og 2001. Antall prøver (n), median verdier og standard avvik (sd) for planter innsamlet. < angir at >50 % målte verdier er under vår deteksjonsgrense. - Concentration of metals (mg kg^{-1} , dry-weight) in the liver samples from animals collected in the Kjølsvik-Reinsjøen area, Tjeldbergodden 1993 and 2001. Sample size (n), median value and standard deviation. < indicate >50 % of the sample with values below our detection limit.

Art	n	1993-94		n	2001-02		Mann-Whitney U	
		Median	sd		Median	sd	Z	p
Kadmium (Cd)								
Svarthvit fluesnapper	15	0,047	0,015	24	0,040	0,020	- 0,058	0,95
Kjøttmeis	14	0,064	0,026	18	0,010	0,009	- 4,79	< 0,01
Klatremus	13	0,151	0,074	15	0,303	0,561	- 2,60	0,01
Spissmus	13	1,94	0,77	14	2,22	1,05	- 1,21	0,23
Kvikksølv (Hg)								
Svarthvit fluesnapper	15	0,284	0,096	24	0,296	0,074	- 0,43	0,68
Kjøttmeis	14	1,057	0,525	18	0,100	0,111	- 4,29	< 0,01
Klatremus	13	0,194	0,164	15	0,100	0,209	- 0,76	0,45
Spissmus	13	0,093	0,061	14	0,095	0,041	- 0,73	0,47
Nikkel (Ni)								
Svarthvit fluesnapper	13	< 0,50		24	< 0,10			
Kjøttmeis	6	< 0,40		18	< 0,10			
Klatremus	13	< 0,30		15	< 0,10			
Spissmus	10	< 0,50		14	< 0,10			
Bly (Pb)								
Svarthvit fluesnapper	15	< 0,40		24	0,036	0,041		
Kjøttmeis	14	< 0,30		18	0,011	0,018		
Klatremus	13	< 0,20		15	0,018	0,072		
Spissmus	12	0,42	0,35	14	0,16	0,14	- 2,63	< 0,01
Aluminium (Al)								
Svarthvit fluesnapper	13	< 0,50		24	0,62	0,46		
Kjøttmeis	14	< 0,50		18	< 0,50			
Klatremus	12	0,73	0,40	15	0,63	0,36	- 1,12	0,26
Spissmus	12	1,09	1,08	13	1,02	0,90	0,00	1,00
Kobber (Cu)								
Svarthvit fluesnapper	15	15,3	2,6	24	16,6	3,1	- 1,96	0,05
Kjøttmeis	14	13,9	3,0	18	14,8	4,0	- 1,06	0,30
Klatremus	13	14,2	2,2	15	13,2	2,1	- 1,18	0,24
Spissmus	13	21,2	2,7	14	21,5	2,3	- 0,15	0,88
Sink (Zn)								
Svarthvit fluesnapper	15	79,7	8,1	24	86,7	12,7	- 1,39	0,17
Kjøttmeis	14	86,8	10,9	18	84,2	19,5	- 0,38	0,72
Klatremus	13	90,9	11,6	15	97,9	11,5	- 1,22	0,22
Spissmus	13	81,4	7,6	14	80,8	8,2	- 0,78	0,44

3 Resultater og diskusjon

Denne rapporten omfatter forekomster av metallene Al, Ca, Cd, Cu, Hg, Ni, Pb og Zn i et utvalg av organismer. Grunnstoffene Al, Cd, Hg og Pb har ingen kjente funksjoner for levende organismer. Disse metallene er inkludert i denne undersøkelsen fordi forhøyede vevskonsentrasjoner kan være skadelige for dyr. Cu og Zn er nødvendige metaller for dyr og konsentrasjonene av disse metallene er vanligvis godt regulert. Konsentrasjoner av Cu og Zn i vev kan imidlertid påvirkes av forekomstene av Cd, og både for høye og for lave konsentrasjoner av Cu og Zn kan være skadelig. Ca-innhold i planter er inkludert på grunn av at forekomster av dette metallet i dyrs føden påvirker opptak og skadevirkninger av flere av tungmetallene (Barton et al. 1978, Rowland & Bray 1980). For mer informasjon om opptak og skadevirkninger av de aktuelle metallene på pattedyr og fugl viser vi til Nybø (1991).

Vår natur påvirkes av en rekke menneskeskapte forurensinger som kan medføre forandringer i naturmiljøet. Metaller tilføres norsk natur via luftmasser fra Europa (gjelder særlig de sørligste delene av landet (Steines et al. 1993, Kålås et al. 2000, Steinnes 2001, Kålås & Lierhagen 2003)), og fra lokal industri (for eksempel smelteverksindustrien). Det er mange faktorer som påvirker tilgjengelighet av potensielle skadelige metaller til levende organismer. Forsuring av jordsmonnet (f.eks. på grunn av økt tilførsel av NO_x og SO₂) er en faktor som kan øke opptak av skadelige stoff i organismer (Løbersli 1991, Scheuhammer 1991). Opptak og ekskresjon av tungmetaller påvirkes dessuten av annet innhold i føden. Av viktige faktorer som reduserer omfang av akkumulering av metaller kan nevnes inntak av Ca (Barton et al. 1978, Rowland & Bray 1980) og Se (McGowan & Donaldson 1987, Cuvin-Aralar & Furness 1991). På denne måten vil akkumulering av metaller i dyr påvirkes av mineralinnhold i jordsmonnet (berggrunnen). Også lokale vegetasjonsforhold og klima er med på å påvirke opptak av metaller, da særlig for plantespisende dyr. Dette skyldes at potensielle beiteplanter naturlig har forskjellig innhold av metaller (Kålås & Framstad 1993) og at deres tilgjengelighet for plantespisende arter kan variere (f.eks. pga. snødekning). All slik naturlig variasjon må tas hensyn til når en skal kvantifisere eventuelle endringer i metallinnhold i næringskjeder forårsaket av menneskelig aktivitet.

3.1 Stoff som kan være skadelige for dyr og som får økt tilgjengelighet for levende organismer ved luftforurensning

Kadmium (Cd)

Luftutslipp av Cd fra industrianlegget på Tjeldbergodden har i perioden 1993 til 2001 vært lite, og målinger i luft ved industrianlegget viser omtrent samme nivåer nå som like før industrietableringen (Knutsen og Johnsrud 1996, Haugsbakk 2000, 2002).

Cd har to hovedveier for tilgang til terrestriske næringskjeder. Den ene er gjennom planters (og invertebraters) opptak fra jordsmonnet og den andre er ved avsetning av Cd på overflata av planter.

Vi vil dokumentere eventuelle forandringer for tilførsel av Cd til det aktuelle undersøkelsesområdet ved å måle endret innhold i moser og lav som i all hovedsak tar opp sin næring fra luft (siste 1-2 års periode), og for karplanter der endringer vil skyldes både endringer i opptak fra jordsmonnet (tilførsel av Cd til jordsmonnet via luft og forsuring av jordsmonnet, en effekt av mange års påvirkning) og endringer i det som avsettes på overflata av planter (effekt i løpet av siste vekstsesong). For dyr i terrestre næringskjeder forventer vi sterkest akkumulering av Cd i plantespisende arter og da særlig arter som foretrekker de plantearter som har størst opptak av Cd fra jordsmonnet (eksempelvis hønefugl som har bjørk og vier som viktig del av dietten, se Kålås & Lierhagen 1992, Larison et al. 2000). For slike arter kan det imidlertid være betydelige naturlige forskjeller mellom år på grunn av variasjon i diett mellom forskjellige år. Derfor er ofte arter som under naturlige forhold har relativt lite inntak av Cd vel så egnet for overvåking av tilførsel av Cd til næringskjeder (her unger av svarthvit fluesnapper, kjøttmeis (viktigste føde er larver og insekter), klatremus (viktigste føde er gress, lyng, urter og frø) og spissmus (viktigste føde er insekter og meitemark)).

I lav og moseartene som også brukes for nasjonal overvåking av luftforurensning finner vi ingen signifikante endringer mellom 1993 og 2001 (ANOVA: forskjell mellom arter $F = 3,77$, $df = 2$, $p = 0,04$, forskjeller mellom perioder $F = 0,58$, $df = 1$, $p = 0,45$), og nivåene ligger i begge periodene innenfor det vi vil definere som bakgrunnsnivå (0,05–0,1 mg kg⁻¹, se Direktoratet for naturforvaltning (1997)) (**tabell 2**). Vi finner tendenser til reduksjon, men ingen betydelige endringer fra 1993 til 2001 når det gjelder innholde av Cd i de høyere planteart (**tabell 2**). For dyr finner vi signifikante endringer med en reduksjon for kjøttmeisunger og en økning for klatremus (**tabell 3**). Ellers er det en tendens til økning for spissmus. Verdien for klatremus og spissmus ligger imidlertid fortsatt innenfor det som kan betraktes som normalnivå, og er betydelig lavere enn det vi finner i de sørligste delene av Norge som er sterkest påvirket av langtransporterte luftforurensninger (Kålås et al. 1994).

Kvikksølv (Hg)

Luftutslipp av Hg fra industrianlegget på Tjeldbergodden er forventet å være lavt. Det foreligger imidlertid ingen målinger av Hg i luft ved Tjeldbergodden.

Hg tas i svært liten grad opp av planterøtter (Lindquist 1991), og hovedveiene for tilgang av Hg oppover i terrestriske næringskjeder er enten via insekter eller som avsetning av Hg på overflata av planter.

Vi vil dokumentere eventuelle forandringer av tilførsel av Hg til det aktuelle undersøkelsesområdet ved å måle endret innhold i moser og lav som i all hovedsak tar opp sin næring fra luft (siste 1-2 års periode), og for karplanter der endringer i hovedsak vil skyldes endringer i mengde Hg avsettes på over-

flata av planter (effekt i løpet av siste vekstsesong). For dyr i terrestre næringskjeder forventer vi sterkest akkumulering av Hg i insektsspisende artene, men eventuelle endringer for plantespisende arter er også en viktig parameter for dokumentasjon av eventuell forurensing av Hg.

Vi finner ingen økning i forekomster av Hg mellom 1993-94 og 2001-02 hverken for vår tilførselparametre (ANOVA for lav og moser: forskjell mellom arter $F = 1.05$, $df = 2$, $p = 0,36$, forskjeller mellom perioder $F = 1,61$, $df = 1$, $p = 0,21$) (**tabell 2**), eller for de inkluderte dyrtene (**tabell 3**). Sammenlignet med 1993-94 finner en klar reduksjon for innholdet av Hg i kjøttmeisunger noe som særlig skyldes de relativt høye Hg-innholdet vi fant for denne gruppen for unger innsamlet i 1994. Som for grunnlagsundersøkelsen utført i 1993-94 finner vi sammenlignet med tilsvarende undersøkelser fra andre områder i Norge relativt høyt Hg-innhold i dette overvåkingsområdet (Kålås et al. 1995a, 1995b). Det er nærliggende å anta at dette kan skyldes den relativt sterke marine påvirkningen området har.

Nikkel (Ni)

Luftutslipp av Ni fra industrianlegget på Tjeldbergodden har i perioden 1993 til 2001 vært lite, og målinger i luft ved industrianlegget viser omtrent samme nivåer nå som like før industrietableringen (Knutsen og Johnsrud 1996, Haugsbakk 2000, 2002).

Ni har to hovedveier for tilgang til terrestriske næringskjeder. Den ene er via planter (og invertebraters) opptak fra jordsmonnet (Kabata-Pendias & Pendias 1992, Uhlig & Junttila 2001) og den andre er via avsetning av Ni på overflata av planter.

Vi vil dokumentere eventuelle forandringer av tilførsel av Ni til det aktuelle undersøkelsesområdet ved å måle endret innhold i moser og lav som i all hovedsak tar opp sin næring fra luft (siste 2-3 års periode), og for karplanter der endringer for Ni kan skyldes både endringer i opptak fra jordsmonnet (tilførsel av Ni til jordsmonnet via luft, en effekt av mange års påvirkning), og endringer i det som avsettes på overflata av planter (en effekt av avsetning i løpet av siste vekstsesong). Dyr tar i liten grad opp Ni via fordøyelsessystemet og ekskresjon av Ni er vanligvis effektivt (Goyer 1986). Økt tilførsel av Ni til naturmiljøet forventes derfor å gi begrenset anrikning i terrestriske dyr, og på grunn av den effektive ekskresjonen vil innhold som måles i dyr representere inntak i siste perioden før dyret er innsamlet.

For alle planteartene vi har målt finner vi verdier som ligger under eller i området omkring den deteksjonsgrensen vi hadde for målingene som ble utført i 1993 (**tabell 2**). Høyest verdier finner vi i årskudd av dvergbjørk, bjørk og vier. Konsentrasjonene er imidlertid meget lave sett i forhold til verdier målt i Sør-Varanger som er påvirket av den Russiske smeltevrksindustrien på Kola. Eksempelvis er Ni konsentrasjonene i blad fra blåbær i Sør-Varanger 10-100 ganger høyere enn det vi her måler (Uhlig & Junttila 2001). For dyreprøvene er medianverdiene for Ni under den deteksjonsgrensen vi nå har ($< 0,1$

mg kg⁻¹) for alle gruppene av dyr som er inkludert i denne overvåkingen (**tabell 3**). Som eksempel på Ni-innhold fra et forurenset område hadde gråsidemus fra Sør-Varanger Ni-konsentrasjoner i lever i størrelsesorden 0,5–0,7 mg kg⁻¹ (Kålås et al. 1995b).

Bruk av ICP-MS gir lavere deteksjonsgrense for Ni enn ved analysene fra 1993-94 da vi benyttet atomabsorpsjonsspektroskopi. Dette medfører at en betydelig større andel av de analyserte prøvene har verdier over deteksjonsgrensa, noe som gir et bedre grunnlag for å dokumentere eventuelle framtidige endringer for innholdet av Ni i de næringskjeder som er inkludert i denne overvåkingen.

Bly (Pb)

Luftutslipp av Pb fra industrianlegget på Tjeldbergodden har i perioden 1993 til 2001 vært lite, og målinger i luft ved industrianlegget viser omtrent samme nivåer nå som like før industrietableringen (Knutsen og Johnsrud 1996, Haugsbakk 2000, 2002). Imidlertid tyder luftmålinger utført av NILU på at Tjeldbergodden har hatt litt høyere avsetning av Pb enn de øvrige 3 målestasjonene (Vårli, Terningvatn og Solem) som er etablert i området i forbindelse med industriaktiviteten (Haugsbakk 2000), og det ble registrert en økning i midelverdier av Pb i nedbør for målestasjonen på Tjeldbergodden fra 1999/2000 til 2000/2001 (Haugsbakk 2002).

Pb tas i svært liten grad opp av planterøtter (Kabata-Pendias & Pendias 1992), og hovedveiene for tilgang av Pb oppover i terrestriske næringskjeder ser ut til å være via avsetning av Pb på overflata av planter. Inntak av støv/partikler fra det øverste jordlaget kan imidlertid for enkelte arter også være en betydningsfull opptakskilde (for hønsefugl se Kålås & Lierhagen 2003).

Vi vil dokumentere eventuelle forandringer av tilførsel av Pb til det aktuelle undersøkelsesområdet ved å måle endret innhold i moser og lav som i all hovedsak tar opp sin næring fra luft (siste 1-2 års periode), og for karplanter der endringer i hovedsak vil skyldes endringer i mengde Pb avsettes på overflata av planter (effekt i løpet av siste vekstsesong). For dyr i terrestre næringskjeder forventer vi sterkest akkumulering av Pb i plantespisende arter, men eventuelle endringer for insektsspisende arter er også en viktig parameter for dokumentasjon av eventuell forurensing av Pb.

Lav og moseprøvene indikerer redusert mengde Pb i det aktuelle undersøkelsesområdet fra 1993 til 2001 (ANOVA: forskjell mellom arter $F = 11,06$, $df = 2$, $p < 0,001$, forskjeller mellom perioder $F = 7,01$, $df = 1$, $p = 0,01$) (**tabell 2**). Dette er i samsvar med landsomfattende overvåking av metaller i moser (Steinnes et al. 2001) og tungmetaller i hønsefugl (Kålås & Lierhagen 2003) som viser både lavere tilførsel med langtransportert luft og redusert lokal tilførsel hovedsaklig på grunn av overgang til bruk av blyfri bensin. For hønsefuglene som er inkludert her gir analysene av innhold av Pb i lever fra lirype og orrfugl samme bilde, men vi måler relativt høye konsentrasjoner av Pb i de 3 undersøkte fjellrypene (**vedlegg 3**). Det aktuelle området gir imidlertid begrenset muligheter for bruk

av hønsefugl ved denne type miljøovervåking. Dette på grunn av at her er lave bestander og dermed vanskelig å få fatt i tilstrekkelig med uavhengige prøver, og at fuglene (særlig rypene) kan ha lokale forflytninger noe som medfører at det er vanskelig å knytte målte forurensningsbelastninger direkte til definerte punktutslipp.

Bruk av ICP-MS gir lavere deteksjonsgrense for Pb enn ved analysene fra 1993-94 da vi benyttet atomabsorpsjonsspektroskopi. Dette medfører at en betydelig større andel av de nå analyserte plante- og dyreprøvene har verdier over deteksjonsgrensa. Dette gir et bedre grunnlag for å dokumentere eventuelle framtidige finskala endringer for innholdet av Pb i de næringskjeder som er inkludert i denne overvåkingen.

3.2 Stoff som kan være skadelige for dyr og som kan få endret tilgjengelighet ved forsurening av jordsmonnet

Aluminium (Al)

Al er svært vanlig i naturmiljøet, men ved høy pH i jorda er Al nærmest utilgjengelig for planter og dyr. Ved forsurening av jordsmonnet kan tilgjengeligheten av Al for planter og dyr øke (Løbersli 1991). Fra indistrianlegget på Tjeldbergodden slippes det ut gasser som kan medføre forsurening av jordsmonnet (NO_x og SO_2). Eksempelvis ble det i 2002 sluppet ut 393 tonn NO_x fra disse anleggene.

Vi vil dokumentere eventuelle endringer i tilgjengelighet av Al ved å måle Al-innhold i høyere planter. I dyr tas Al vanligvis bare i liten grad opp fra tarm (mindre enn 1 %) (Greger & Baier 1983) og utskilles effektivt via urinen når nyrene fungerer normalt (Ganrot 1986). Dette medfører at Al-konsentrasjoner i lever i stor grad vil representere Al-inntak den siste tiden før dyret ble innsamlet.

Analysene av Al i høyere planter viste som i 1993 store forskjeller mellom arter (**tabell 2**), men variansanalysen indikerte en liten reduksjon i Al-innholdet i høyere planter fra 1993 til 2001 (ANOVA: forskjell mellom arter $F = 21,70$, $df = 4$, $p < 0,001$, forskjeller mellom perioder $F = 4,00$, $df = 1$, $p = 0,06$). Denne reduksjonen samsvarer også med nedgang i Al i det øvre organiske jordlaget (Røssberg og Aamlid 2002). For artene klatremus og spissmus som i begge undersøkelsesperiodene har en stor andel av prøvene over vår deteksjonsgrense finner vi i hovedsak samme verdier i 2001-02 som det vi fant i 1993-94. På grunn av den store naturlige variasjon for Al i lever og problemer med kontaminering av prøver (medfører både usikre data og relativt høy deteksjonsgrense), vil det være best å benytte beinvev (metabolsk aktivt) for å få sikker informasjon om forekomster og akkumulering av Al i dyr (se Kålås & Lierhagen 2003).

3.3 Stoff som er nødvendige for dyr og som kan komme i ubalanse ved forurensning

Kopper (Cu) og Sink (Zn)

Cu og Zn er essensielle metaller for fugl og pattedyr, og det er nødvendig for at en rekke enzymer skal fungere. Både for mye og for lite av Cu eller Zn kan imidlertid gi skadelige effekter. Opptak fra føde i mage og tarm er vanligvis godt regulert etter behov (Eliinder 1986, Aarseth & Norseth 1986). Opptaket av Zn og Cu kan imidlertid påvirkes av konkurrerende opptak av tungmetallet Cd, og dette er hovedgrunnen til at Cu og Zn inngår i denne overvåkingen. Cu og Zn-forgiftning eller mangel forekommer sjelden. Vanligst forgiftning synes å være kopperforgiftning hos drøvtyggere (Frøslie & Norheim 1983).

Vi bruker eventuelle endringer for Cu og Zn i lever hos de inkluderte dyrartene for vurdering av avvik i dyrs Cu og Zn balanse. Eventuelle forandringer for tilførsel av Cu og Zn til det aktuelle undersøkelsesområdet blir dokumentert ved måling av innhold i moser og lav som i all hovedsak tar opp sin næring fra luft (siste 1-2 års periode). Mengde Cu og Zn tilgjengelig for plantespisende arter måles via innhold i de 5 karplantartene.

Vi finner ingen betydningsfulle endringer for innhold av Cu og Zn i lever hos de undersøkte dyreartene (**tabell 3**). Dette er som forventet da vi heller ikke fant noen endringer for Cd-innhold i lever for disse artene. For Cu indikerer mose og lavprøvene ingen endret tilførsel til det aktuelle området (ANOVA: forskjell mellom arter $F = 10,32$, $df = 2$, $p < 0,001$, forskjeller mellom perioder $F = 0,76$, $df = 1$, $p = 0,39$), men variansanalysen tyder på litt lavere Cu-målinger i høyere plantearter i 2001 enn i 1993 (ANOVA: forskjell mellom arter $F = 4,00$, $df = 4$, $p = 0,007$, forskjeller mellom perioder $F = 6,32$, $df = 1$, $p = 0,02$) (**tabell 2**). Forskjellen mellom målingene utført i 1993 og 2001 (5–20 % reduksjon) vil vi tilskrive små systematiske forskjeller i vår deteksjonsgrad for Cu mellom analysene utført i 1993 og 2001 (% av sertifiserte verdier for referansestandardene Peach leaves og Pine needles var i 1993 henholdsvis 120 og 102 %, og i 2002 henholdsvis 84 og 96 %). For Zn finner vi betydelig lavere innhold i planteprøvene i 2001 i forhold til 1993 (**tabell 2**). Som påpekt i metodekapitlet gir analysemetoden vi brukte i 2002 for lave verdier for Zn. De endringer vi måler for Zn kan vi derfor ikke settes i direkte sammenheng med industriaktiviteten på Tjeldbergodden.

Kalsium (Ca)

For jord med moderat til lav pH kan tilgjengeligheten av Ca for planter og dyr endres ved forsurening av jordsmonnet, eksempelvis på grunn av utslipp av gasser til luft. Industrianlegget på Tjeldbergodden slipper det ut gasser som kan medføre forsurening av jordsmonnet (SO_2 og NO_x). Dette kan redusere dyr sin tilgjengeligheten på Ca. Redusert inntak av Ca kan øke dyrs opptak av potensielt skadelige metaller og forsterke skadevirkninger av disse (for Pb, Cd og Al se Scheuhammer 1996). Redusert tilgang på invertebrater med høyt innhold av Ca kan

også redusere eggkvalitet og dermed reproduksjon for fugl (se Nybø og Jerstad 1997).

Vi vil dokumentere eventuelle forandringer av Ca-tilgjengelighet ved å måle Ca innhold i høyere planter. Vi forventer at eventuelle omfattende endringer i disse artenes Ca-innhold i hovedsak vil skyldes endringer i jordsmonnet. Imidlertid må en forvente en viss naturlig mellomårsvariasjon når det gjelder Ca-innholdet i planter.

Analysene av Ca i høyere planter vise som for 1991 store forskjeller mellom arter, men også en tendens til lavere Ca innhold i 2001 sammenlignet med 1993 (reduksjon i størrelsesorden 5 – 20 %, **tabell 2**, ANOVA: forskjell mellom arter $F = 17,97$, $df = 4$, $p < 0,001$, forskjeller mellom perioder $F = 1,94$, $df = 1$, $p = 0,17$). Våre analyser av referansestandarder tyder på at vi detekterer litt mindre av Ca-innholdet i 2001 enn i 1993 (for Pine needles og Peach leaves i 1993 henholdsvis 107 % og 95% og i 2001 henholdsvis 101 % og 93 %), men dette er ikke tilstrekkelig til å forklare hele forskjellene vi måler mellom 1993 og 2001. En liten nedgang i konsentrasjonene av Ca i høyere planter samsvarer med tilbakegang i ekstraherbart Ca i humuslaget i det aktuelle området (Aarrestad & Wilmann 2002). Resultater fra neste undersøkelsesrunde vil kunne gi mer informasjon om eventuelt omfang av endringer for Ca-innhold i planter.

4 Litteratur

- Askvik, H. & Rokoengen, K. 1985. Geologisk kart over Norge, berggrunnskart Kristiansund. M 1 : 250 000. - NGU.
- Barton, J.C., Conrad, M.E., Harrison, L. & Nuby, S. 1978. Effect of calcium on the absorption and retention of lead. - *J. Lab. Clin. Med.* 91: 366-376.
- Cuvin-Aralar, M.L.A. & Furness, R.W. 1991. Mercury and selenium interaction: a review. - *Ecotox. Environ. Safety* 21: 348-364.
- Direktoratet for naturforvaltning. 1997. Natur i endring. Program for Terrestrisk Naturovervåking. – Direktoratet for naturforvaltning, Trondheim. 158 s.
- Fremstad, E. 1994. Vegetasjonskart Tjeldbergodden Aure, Møre og Romsdal. - NINA Oppdragsmelding 265: 1-21.
- Frøslie, A. & Norheim, G. 1983. Copper, molybdenum, zinc and sulphur in Norwegian forages and their possible role in chronic copper poisoning in sheep. - *Acta Agr. Scand.* 33: 97-104.
- Eilertsen, O. & Fremstad, E. 1994. Miljøovervåking Tjeldbergodden, jord og vegetasjonsundersøkelser. - NINA Oppdragsmelding 271: 1-30.
- Elinder, C-G. 1986. Zinc. - s. 664-680 i Friberg, L., Nordberg, G.F. Vouk, V.B., red. Handbook of the toxicology of metals 2. Elsevier Science Publishers, Amsterdam.
- Ganrot, P.O. 1986. Metabolism and possible health effects of aluminium. – *Environ. Health Persp.* 66: 363-441.
- Goyer, R.A. 1986. Toxic effects of metals. - I: Klaassen, C.D., Amdur, M.O. & Doull, J., Casarett and Doull's toxicology. Macmillan Publishing Company, New York. s. 582-635.
- Greger, J.L. & Baier, M.J. 1983. Excretion and retention of low or moderate levels of aluminium by human subjects. - *Food Chem. Toxicol.* 21: 473-477.
- Haugsbakk, I. 2000. Undersøkelse av nedbørkvalitet ved Tjeldbergodden I Aure kommune Mai 1999 – april 2000. – NILU OR 53/2000. 20 s.
- Haugsbakk, I. 2002. Målinger av meteorologi, luftkvalitet og nedbørdata på Tjeldbergodden I Aure kommune Oktober 2000 – oktober 2001. – NILU OR 7/2002. 260 s.
- Kabata-Penidas, A. & Penidas, H. 1992. Trace elements in soil and plants. 2nd Edition. - CRS Press Inc., Florida.
- Knudsen, S. 1994. Spredningsberegninger for metanolfabrikk på Tjeldbergodden. – NILU OR 8/94. 32 s.
- Knudsen, S. & Johnsrud, M. 1995a. Forundersøkelse av luftforurensningssituasjonen på Tjeldbergodden i Aure kommune. Mai 1993 - april 1994. - NILU OR 32/96. 31 s.
- Kålås, J.A., Framstad, E., Fiske, P., Nygård, T. & Pedersen, H.C. 1991. Terrestrisk naturovervåking. Smågnagere og fugl i Børgefjell og Solhomfjell, 1990. - NINA Oppdragsmelding 85: 1-41.
- Kålås, J.A., Framstad, E., Nygård, T. & Pedersen, H.C. 1992. Terrestrisk naturovervåking. Smågnagere og fugl i Børgefjell, Åmotsdalen og Solhomfjell, 1991. - NINA Oppdragsmelding 132: 1-38.
- Kålås, J.A. & Framstad, E. 1993. Terrestrisk naturovervåking. Smågnagere, fugl og næringskjedestudier i Børgefjell, Åmotsdalen, Møsvatn-Austfjell, Lund og Solhomfjell, 1992. - NINA Oppdragsmelding 221: 1-38.

- Kålås, J.A., Framstad, E., Pedersen, H.C. & Strand, O. 1995a. Terrestrisk naturovervåking. Fjellrev, hare, smågnagere, fugl og næringskjedestudier i TOV-områdene 1994. - NINA Oppdragsmelding 367: 1-52.
- Kålås, J.A., Ringsby, T.H. & Lierhagen, S. 1995b. Metals and selenium in wild animals from Norwegian areas close to Russian nickel smelters. - Environ. Monit. Assess. 36: 251-270.
- Kålås, J.A., & Jordhøy, P. 1995. Miljøovervåking Tjeldbergodden. Metallinnhold i Terrestriske Næringskjeder. Grunnlagsundersøkelse 1993-94. - NINA Oppdragsmelding 351: 1-19.
- Kålås, J.A., Steinnes, E. & Lierhagen, S. 2000. Lead exposure of small herbivorous vertebrates from atmospheric pollution. - Environmental Pollution 107: 21-29.
- Kålås, J.A. & Lierhagen, S. 2003. Terrestrisk naturovervåking. Tungmetaller og sporelementer i lever fra orrfugl og lirype i Norge, 2000-01. - NINA Oppdragsmelding 782: 1-41.
- Larison, J.R., Likens, G.E., Fitzpatrick, J.W. & Crock, J.G. 2000. Cadmium toxicity among wildlife in the Colorado Rocky Mountains. - Nature 406: 181-183.
- Lindqvist, O. 1991. Mercury in the Swedish environment. - Water, Air, Soil Pollut. 55: 1-261.
- Løbersli, E. 1989. Terrestrisk naturovervåking i Norge. - Direktoratet for naturforvaltning. Rapp. 1989,8: 1-98.
- Løbersli, E. 1991. Soil acidification and uptake in plants. - Dr. scient thesis, University of Trondheim.
- McGowan, C. & Donaldson, W.E. 1987. Lead effects in the chick during selenium deficiency. - Comp. Biochem. Physiol. Comp. Pharmacol. Toxicol. 88: 23-26.
- Nybø, S. 1991. Terrestrisk naturovervåking. Tungmetaller og aluminium i pattedyr og fugl. - DN-notat 1991,9: 1-58.
- Nybø, S. & Jerstad, K. 1997. Fossekall; hva vet vi om virkningene av sur nedbør, kalking og miljøgifter. - DN -utredning 1997-8, 43 s.
- Rowland, R.D. & Bray, D.J. 1980. Cadmium retention in chicks: effects of calcium, vitamin D-3 and zinc. - Poult. Sci. 59: 16.
- Røssberg, I. & Aamlid, D. 2002. Miljøovervåking Tjeldbergodden – Overvåking av jord og jordvann i 1993/94 og 2001. Resultater, sammenligninger og vurderinger. - Skogforsk Oppdragsrapport 05/02, 21 s.
- Scheuhammer, A.M. 1991. Effect of acidification on the availability of toxic metals and calcium to wild bird and mammals. - Environmental Pollution 71: 329-375.
- Scheuhammer, A.M. 1996. Influence of reduced dietary calcium on the accumulation and effects of lead, cadmium, and aluminum in birds. - Environmental Pollution 94: 337-343.
- Sokal, R.S. & Rohlf, F.J. 1981. Biometry. - Second Edition. W.H. Freeman and Company, New York.
- Steinnes, E., Røyset, O., Vadset, M. & Johansen, O. 1993. Atmosfærisk nedfall av tungmetaller i Norge. Landsomfattende undersøkelse i 1990. - SFT Rapport 523/93: 1-36.
- Steinnes, E. 2001. Metal contamination of the natural environment in Norway from long range atmospheric transport. - Water, Air & Soil Pollution: Focus 1: 449-460.
- Steinnes, E., Berg, T., Sjøbakk, T.E., Uggerud, H. & Vadset, M. 2001. Atmosfærisk nedfall av tungmetaller i Norge. Landsomfattende undersøkelse 2000. - SFT Rapport 838/2001.
- Uhlig, C. & Junttila, O. 2001. Airborne heavy metal pollution and its effects on foliar elemental composition of *Empetrum hermaphroditum* and *Vaccinium myrtillus* in Sør-Varanger, Northern Norway. - Environmental Pollution 114: 461-469.
- Aaseth, J. & Norseth, T. 1986. - s. 233-254 i Friberg, L., Nordberg, G.F., Vouk, V.B., red. Copper. Handbook on the toxicology of metals 2. Elsevier Scientific Publishers, Amsterdam.
- Aarrestad, P.A. & Wilmann, B. 2002. Miljøovervåking på Tjeldbergodden og Terningvatn – Overvåking av vegetasjon og næringsforhold i jord I 1993/94 og 2001. NINA-Oppdragsmelding 742, 45 s.

Vedlegg 1

Metallinnhold i planter innsamlet ved Tjeldbergodden i 2001. Alle verdier gitt som mg kg⁻¹, tørrvekt. Art: 1 - *Cladonia* spp, 2 - *Hylocomium splendens*, 3 - *Plauozium schreberi*, 4 - *Vaccinium myrtillus*, 5 - *Calluna vulgaris*, 6 - *Betula nana*, 7 - *Betula pubescens*, 8 - *Salix* spp.; Del - plantedel: 1 - årsskudd, 2 - blad. - Concentrations of metals in plant samples collected at Tjeldbergodden, 2001. All values given as mg kg⁻¹, dry-weight. Art (species): 1 - *Cladonia* spp, 2 - *Hylocomium splendens*, 3 - *Plauozium schreberi*, 4 - *Vaccinium myrtillus*, 5 - *Calluna vulgaris*, 6 - *Betula nana*, 7 - *Betula pubescens*, 8 - *Salix* spp.; Del - part of plant: 1 - shoots from the current season, 2 - leaves.

Art	Del	Al	Ca	Cd	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
1		57	307	0,047	1,18	0,043	0,19	0,386	19,3
1		51	238	0,041	1,43	0,041	0,11	0,369	12,2
1		32	413	0,021	0,67	0,025	0,11	0,296	7,7
1		45	501	0,040	0,75	0,038	0,13	0,202	10,8
1		57	309	0,067	1,16	0,034	0,17	0,440	15,6
1		50	329	0,025	0,91	0,054	0,11	0,223	12,6
2		85	1622	0,051	2,82	0,044	0,41	0,713	32,0
2		134	1824	0,125	3,12	0,065	0,35	0,758	39,5
2		136	1959	0,064	12,75	0,058	0,38	0,521	24,3
2		98	1965	0,091	3,43	0,050	0,38	0,730	22,5
2		76	1609	0,027	2,69	0,037	0,28	0,407	19,5
2		84	1290	0,290	3,84	0,056	0,64	0,513	68,8
3		104	1981	0,087	4,44	0,033	0,69	0,935	42,0
3		182	2356	0,071	3,42	0,075	0,39	0,800	66,5
3		142	1808	0,066	2,83	0,066	0,40	0,730	25,4
3		169	2221	0,101	3,94	0,072	0,45	0,790	35,5
3		193	2127	0,103	6,54	0,059	0,95	0,930	91,3
3		188	1963	0,076	3,40	0,046	0,33	0,752	29,6
4	1	40	6604	0,011	6,02	0,006	0,10	0,015	23,7
4	1	61	4605	0,024	6,70	0,008	0,28	0,019	30,0
4	1	44	4017	0,014	5,63	0,007	0,17	0,012	20,3
4	1	31	5693	0,019	5,89	0,007	0,19	0,007	28,7
4	1	28	4590	0,007	5,66	0,007	2,35	0,007	21,8
4	1	39	7269	0,015	6,90	0,005	0,10	0,007	37,3
4	2	102	10780	0,008	4,70	0,016	0,15	0,047	14,1
4	2	134	8856	0,016	6,19	0,030	0,46	0,080	21,4
4	2	109	6738	0,022	5,81	0,019	0,29	0,081	12,7
4	2	60	8255	0,023	4,04	0,018	0,26	0,036	10,0
4	2	54	6253	0,008	4,36	0,024	0,20	0,028	8,0
4	2	78	9686	0,011	4,65	0,019	0,13	0,030	10,7
5		7,5	4043	0,012	6,05	0,008	0,30	0,027	17,4
5		5,9	4237	0,010	6,35	0,010	0,45	0,026	21,5
5		11	3864	< 0,004	5,91	0,009	0,38	0,017	17,7
5		5,7	2813	< 0,004	4,58	0,008	0,21	0,017	16,0
5		< 5,0	2688	< 0,004	5,73	0,008	0,10	0,019	15,2
5		5,2	2864	< 0,004	5,01	0,005	0,13	0,017	10,5
6	1	9,4	3989	0,286	5,33	0,010	1,10	0,091	102,4
6	1	7,5	5866	0,232	6,93	0,010	4,02	0,085	97,3
6	1	9,0	4626	0,195	3,96	0,008	0,87	0,104	94,7
6	1	7,4	4705	0,143	5,07	0,008	1,05	0,091	87,0
6	1	< 5,0	3878	0,132	5,18	0,009	0,69	0,070	134,4
6	1	11	3604	0,140	4,41	0,013	0,53	0,063	99,7

Vedlegg 1 forts									
Art	Del	Al	Ca	Cd	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
6	2	13	8859	0,212	3,31	0,016	0,80	0,105	162,8
6	2	11	8466	0,133	3,53	0,017	2,36	0,060	135,6
6	2	11	10191	0,134	2,17	0,014	0,50	0,097	142,6
6	2	16	8977	0,090	2,44	0,015	0,33	0,179	168,9
6	2	9,4	7373	0,118	3,36	0,018	0,23	0,123	283,8
6	2	17	6843	0,123	2,94	0,014	0,12	0,074	138,8
7	1	12	2768	0,198	6,35	0,013	0,78	0,098	149,2
7	1	9,0	2497	0,074	5,08	0,009	3,90	0,061	72,9
7	1	6,9	2644	0,050	3,48	0,007	0,80	0,074	97,0
7	1	< 5,0	2307	0,059	4,39	0,008	0,94	0,081	122,7
7	1	7,6	2177	0,047	4,77	0,014	0,49	0,086	143,5
7	1	< 5,0	2479	0,028	4,45	0,008	0,87	0,065	100,9
7	2	6,2	4932	0,091	4,16	0,015	0,24	0,055	154,2
7	2	11	4164	0,031	3,35	0,012	4,15	0,034	41,2
7	2	6,6	3730	0,048	2,05	0,011	0,44	0,056	122,8
7	2	< 5,0	3923	0,027	3,00	0,011	0,56	0,048	112,5
7	2	7,2	4028	0,025	3,15	0,011	0,27	0,051	99,4
7	2	5,8	4073	0,021	3,29	0,010	0,31	0,047	112,5
13	1	8,8	4807	0,260	5,96	0,017	0,45	0,081	90,1
13	1	5,0	6061	0,392	8,30	0,008	0,73	0,052	67,5
13	1	< 5,0	4116	0,494	5,04	0,006	0,80	0,027	68,0
13	1	< 5,0	6320	0,776	5,03	0,007	0,58	0,045	85,1
13	1	< 5,0	10722	0,505	7,19	0,010	0,34	0,048	132,1
13	1	5,1	7292	0,472	6,39	0,007	0,74	0,043	53,1
13	2	28	3910	0,204	4,65	0,020	0,40	0,086	140,0
13	2	12	4752	0,232	6,79	0,011	1,05	0,060	81,8
13	2	26	3931	0,325	3,96	0,016	0,67	0,056	82,9
13	2	14	3957	0,425	3,71	0,012	0,49	0,050	75,6
13	2	7,2	9652	0,512	3,82	0,023	0,21	0,064	196,6
13	2	23	5591	0,323	4,10	0,015	0,46	0,060	37,6

Vedlegg 2

Metaller i lever fra spurvefugler og småpattedyr innsamlet ved Tjeldbergodden 2001-2002. Alle verdier gitt som mg kg⁻¹, tørrvekt. Art: 1 - *Fidicula hypoleucos*, 2 - *Parus major*, 7 - *Clethrionomys glareolus*, 8 - *Sorex araneus*; Kasse - fuglekasse nr.; Kjønn: 1 – hann, 2 – hunn; Vekt - kroppsvekt (g). - Concentrations of metals in liver samples for chicks from passerine birds and the small mammals collected in 2001-2002. All values given as mg kg⁻¹, dry-weight. Art - species: 1 - *Fidicula hypoleucos*, 2 - *Parus major*, 7 - *Clethrionomys glareolus*, 8 - *Sorex araneus*; Dag - date; Mnd. - month; År - year; Kasse – nest-box no.; Kjønn – sex: 1 – male, 2 – female; Vekt - body weight (g).

Art	Dag	Mnd	År	Kasse	Kjønn	Vekt	Al	Cd	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
1	24	6	2001	10		14,2	0,80	0,035	19,2	0,423	< 0,10	0,007	93,0
1	24	6	2001	10		13,0	1,47	0,029	15,5	0,340	< 0,10	0,006	78,8
1	24	6	2001	10		15,3	< 0,50	0,036	18,1	0,386	< 0,10	0,009	91,0
1	1	7	2001	11		14,0	0,68	0,031	16,7	0,265	< 0,10	0,024	96,2
1	1	7	2001	11		13,3	0,73	0,050	19,5	0,273	< 0,10	0,040	97,3
1	1	7	2001	11		14,7	2,44	0,037	14,7	0,202	< 0,10	0,100	73,6
1	1	7	2001	30		13,7	0,58	0,076	13,9	0,298	< 0,10	0,194	61,4
1	1	7	2001	30		13,2	< 0,50	0,076	27,9	0,458	0,105	0,102	92,0
1	1	7	2001	30		13,9	< 0,50	0,076	16,0	0,362	< 0,10	0,086	70,7
1	7	7	2001	36		14,9	< 0,50	0,035	12,8	0,375	< 0,10	0,029	73,3
1	7	7	2001	36		15,4	< 0,50	0,044	14,1	0,317	< 0,10	0,026	70,7
1	7	7	2001	36		15,7	< 0,50	0,046	15,0	0,332	< 0,10	0,036	79,9
1	10	7	2001	3		14,3	0,70	0,060	17,0	0,319	< 0,10	0,027	85,7
1	10	7	2001	3		13,7	0,64	0,079	18,5	0,316	< 0,10	0,034	94,0
1	10	7	2001	3		14,9	0,74	0,075	13,2	0,307	< 0,10	0,013	95,3
1	29	6	2002	33		15,6	0,55	0,035	18,5	0,252	< 0,10	0,049	87,1
1	29	6	2002	33		14,6	0,74	0,072	17,8	0,207	< 0,10	0,080	79,7
1	29	6	2002	33		13,3	0,60	0,034	20,9	0,196	< 0,10	0,036	124,1
1	29	6	2002	36		15,3	< 0,50	0,029	16,5	0,273	< 0,10	0,034	84,2
1	29	6	2002	36		14,9	0,96	0,074	17,3	0,286	< 0,10	0,039	86,4
1	29	6	2002	36		15,4	0,52	0,045	17,8	0,294	< 0,10	0,041	101,0
1	29	6	2002	45		14,9	0,56	0,018	15,5	0,195	< 0,10	0,035	85,6
1	29	6	2002	45		14,8	0,98	0,035	16,6	0,194	< 0,10	0,050	88,7
1	29	6	2002	45		14,8	0,99	0,021	16,4	0,198	< 0,10	0,043	89,0
2	19	6	2001	5		15,0	0,55	0,010	16,6	0,125	< 0,10	< 0,004	97,2
2	19	6	2001	5		16,7	0,74	0,011	18,3	0,098	< 0,10	0,016	98,7
2	19	6	2001	5		15,9	0,51	0,013	18,6	0,093	< 0,10	0,006	96,3
2	24	6	2001	25		16,1	< 0,50	0,007	13,6	0,107	< 0,10	0,004	112,9
2	24	6	2001	25		16,1	< 0,50	0,005	17,0	0,088	< 0,10	< 0,004	103,5
2	24	6	2001	25		15,7	< 0,50	0,012	22,0	0,110	< 0,10	< 0,004	108,5
2	22	7	2001	29		14,2	< 0,50	0,015	14,9	0,206	< 0,10	0,012	69,0
2	22	7	2001	29		18,7	< 0,50	0,019	14,8	0,362	< 0,10	0,033	60,3
2	22	7	2001	29		19,4	< 0,50	0,032	11,6	0,468	< 0,10	0,013	60,2
2	1	6	2002	34		15,5	0,54	0,027	11,9	0,101	< 0,10	0,016	70,2
2	1	6	2002	34		16,2	1,35	0,025	12,3	0,105	< 0,10	0,008	71,8
2	1	6	2002	34		17,5	< 0,50	0,018	13,7	0,099	< 0,10	0,011	78,8
2	1	6	2002	44		17,3	0,67	0,004	14,0	0,032	< 0,10	0,011	78,2
2	1	6	2002	44		16,3	2,20	0,006	27,4	0,044	< 0,10	0,036	94,0
2	1	6	2002	44		18,2	0,75	0,005	13,6	0,031	< 0,10	0,080	86,1
2	5	6	2002	19		19,2	< 0,50	0,003	15,9	0,092	< 0,10	0,007	77,7
2	5	6	2002	19		19,3	< 0,50	0,006	14,4	0,092	< 0,10	0,011	82,4
2	5	6	2002	19		17,7	0,55	0,008	19,0	0,170	< 0,10	0,007	133,6

Vedlegg 2 forts.													
Art	Dag	Mnd	År	Kasse	Kjønn	Vekt	Al	Cd	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
7	27	8	2001		1	26,5	< 0,50	0,182	13,2	< 0,005	< 0,10	0,292	85,3
7	27	8	2001		1	29,5	0,60	0,257	16,1	0,143	< 0,10	0,013	96,8
7	27	8	2001		1	26,0	< 0,50	0,140	13,2	0,158	< 0,10	0,014	94,3
7	28	8	2001		1	27,5	0,51	0,303	16,9	0,100	< 0,10	0,009	114,3
7	31	8	2002		1	32,1	0,66	0,443	16,7	0,284	< 0,10	0,063	106,3
7	5	10	2002		1	25,3	0,56	1,682	12,1	0,076	< 0,10	0,047	86,5
7	31	10	2002		1	26,0	1,63	0,160	10,4	0,046	0,308	0,011	80,2
7	26	8	2001		2	31,5	0,63	0,115	11,3	0,186	< 0,10	0,009	79,2
7	27	8	2001		2	33,0	0,81	0,633	14,2	0,013	0,106	0,078	112,0
7	27	8	2001		2	31,5	< 0,50	0,061	12,6	0,034	< 0,10	0,008	97,9
7	28	8	2001		2	38,5	0,65	0,474	10,3	0,076	< 0,10	0,011	104,6
7	28	8	2001		2	27,5	0,96	0,180	12,8	< 0,005	< 0,10	0,027	102,7
7	3	10	2002		2	29,0	0,94	1,943	14,3	0,333	< 0,10	0,018	99,5
7	3	10	2002		2	27,0	0,97	0,428	14,9	0,342	< 0,10	0,022	112,1
7	6	10	2002		2	27,0	< 0,50	0,338	14,1	0,806	< 0,10	0,026	89,1
8	28	8	2001		1	9,0	2,59	1,901	21,6	0,110	< 0,10	0,297	84,9
8	29	8	2001		1	7,5	2,73	1,390	22,9	0,038	< 0,10	0,170	79,2
8	3	10	2002		1	9,5	0,51	2,954	19,3	0,110	< 0,10	0,071	69,9
8	4	10	2002		1	7,5	0,62	3,558	20,1	0,132	< 0,10	0,142	80,9
8	4	10	2002		1	11,0	2,31	2,027	22,3	0,102	< 0,10	0,170	77,9
8	4	10	2002		1	9,0	0,90	2,445	22,0	0,158	0,106	0,075	83,7
8	6	10	2002		1	8,5	0,57	1,810	17,6	0,031	< 0,10	0,019	86,8
8	26	8	2001		2	7,5	1,02	2,363	21,3	0,080	< 0,10	0,108	80,7
8	26	8	2001		2	8,0	< 0,50	1,755	17,2	0,078	0,105	0,074	71,8
8	27	8	2001		2	8,5	2,27	1,839	20,1	0,071	< 0,10	0,159	89,6
8	31	8	2002		2	8,5	1,48	5,578	19,5	0,088	< 0,10	0,383	84,1
8	3	10	2002		2	9,3	1,59	2,078	22,0	0,144	< 0,10	0,421	72,7
8	6	10	2002		2	9,0	< 0,50	2,528	23,8	0,072	< 0,10	0,313	73,1
8	31	10	2002		2	8,5	.	2,604	25,4	0,161	0,148	0,408	100,6

Vedlegg 3

Metaller i lever fra hønsfugler innsamlet ved Tjeldbergodden 2001-2002. Alle verdier gitt som mg kg⁻¹, tørrvekt. Art: 3 - *Lagopus lagopus*, 4 - *Lagopus mutus*, 5 - *Tetrao tetrix*; Alder: 1 – ungfugl (ca 3 mnd), 2 - voksen fugl (> 14 mnd); Vekt - kroppsvekt (g). - Content of metals in liver samples for grouse species collected at Tjeldbergodden 2001-2002. All values given as mg kg⁻¹, dry-weight. Art - species: 3 - *Lagopus lagopus*, 4 - *Lagopus mutus*, 5 - *Tetrao tetrix*; Dato - date; Mnd. - month; År - year; Alder - Age: 1 – juvenile (3 months), 2 – adult (> 15 months); Vekt - body weight (g).

Art	Dato	Mnd	År	Alder	Vekt	Al	Cd	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
3	12	9	2001	1	500	.	1,30	11,0	0,023	< 0,10	0,45	68
3	14	9	2002	1	550	0,36	2,45	14,5	0,039	< 0,10	2,88	88
3	15	9	2002	1	502	0,41	0,61	11,6	0,023	< 0,10	0,25	109
3	15	9	2002	2	489	0,95	2,01	14,3	0,032	< 0,10	0,44	108
4	20	9	2001	1	366	.	2,05	.	0,022	< 0,10	1,64	.
4	14	9	2002	1	455	0,83	3,12	12,2	0,035	< 0,10	2,06	88
4	14	9	2002	1	427	1,32	3,29	12,2	0,030	0,145	5,49	85
5	26	9	2001	1	855	3,73	2,17	10,0	0,045	< 0,10	0,16	81
5	26	9	2001	1	869	.	1,53	10,6	0,054	< 0,10	0,17	92

NINA Oppdragsmelding 796

ISSN 0802-4103
ISBN 82-426-1409-1

NINA Hovedkontor
Tungasletta 2
7485 Trondheim
Telefon: 73 80 14 00
Telefaks: 73 80 14 01
<http://www.nina.no>