



RAPPORT LNR 4347-2001

Resipientundersøkelser i Ballangsfjorden 2000.

Kildesporing, metallinnhold i fisk
og blåskjell samt mulige effekter
på fisk.

Hovedkontor

Postboks 173, Kjelsås
0411 Oslo
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 22 18 52 00
Internet: www.niva.no

Sørlandsavdelingen

Televeien 3
4879 Grimstad
Telefon (47) 37 29 50 55
Telefax (47) 37 04 45 13

Østlandsavdelingen

Sandvikaveien 41
2312 Ottestad
Telefon (47) 62 57 64 00
Telefax (47) 62 57 66 53

Vestlandsavdelingen

Nordnesboder 5
5008 Bergen
Telefon (47) 55 30 22 50
Telefax (47) 55 30 22 51

Akvaplan-niva

9296 Tromsø
Telefon (47) 77 75 03 00
Telefax (47) 77 75 03 01

Tittel Resipientundersøkelser i Ballangsfjorden 2000. Kildesporing, metallinnhold i fisk og blåskjell samt mulige effekter på fisk.	Løpenr. (for bestilling) 4347-2001	Dato 19/03-01
	Prosjektnr. Undernr. O-20190	Sider Pris 33
Forfatter(e) John Arthur Berge Ole Aspholm Göran Åberg (IFE)	Fagområde Miljøgifter i sjøvann	Distribusjon Fri
	Geografisk område Nordland	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) Nikkel og Olivin A/S	Oppdragsreferanse
--	-------------------

Sammendrag: Torsk, rødspette, sandflyndre og blåskjell fra Ballangsfjorden kunne i hovedsak karakteriseres som ubetydelig til lite forurenset. Konsentrasjoner av metaller (Pb, Hg, Cd, Ni, Cu) og arsen (As) klart over bakgrunnsnivåer, ble kun observert i ytre del av Ballangsfjorden og da for Hg i sandflyndre (ca 2.5 x antatt bakgrunn) og muligens As i rødspette (meget usikker bakgrunn). Det noe forhøyede Hg-innholdet i sandflyndre kan trolig ikke knyttes til utslipp av avgang til Ballangsfjorden. I torskeler er blyisotopsammensetningen ($^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ forhold) mer lik avgang fra Bjørkåsen gruver enn fra Nikkel og Olivin A/S. Isotopforholdet i skjell fra den indre stasjonen (BI) er mer lik forholdet i avgang (begge typer) enn skjell fra den ytre stasjonen. Isotopanalysene kan tyde på at kilden til den diffuse belastningen på skjell i ytre område er forskjellig fra den noe tydeligere påvirkning observert i torskeler. I begge tilfeller synes imidlertid andre blykilder enn de to avgangstyper (muligens markavrenning og atmosfæretransportert bly) å være fremtredende. Totalt sett tyder blyisotopsammensetningen på at avgang fra Nikkel og Olivin A/S ikke er en betydelig kilde for bly i organismer i Ballangsfjorden. Biomarkøranalyser viser at metaller i avgangen fra gruvedriften ikke gir noen tydelige effekter på fisk. Beregninger antyder at man kan spise 150 kg pr. uke med fiskefilet før FN's anbefalinger for maksimalt inntak av Pb og Cd nås. Tilsvarende verdier for torskeler og blåskjell ligger på mer enn 2.3 kg pr. uke. Beregninger for Hg og As gir et trygt konsum av fiskefilet i området 1.2-25 og 0.7-12.2 kg pr uke. Hg innholdet i sandflyndre og As innholdet i filet av rødspette (begge fra ytre område) er de forbindelser/vev som tillater lavest konsum. Med utgangspunkt i FN's (JECFA) anbefalinger (PTWI/PMTDI) synes det lite trolig at de observerte metallkonsentrasjoner har betydning for bruken av fjorden. Det er imidlertid SNT som er den rette instans for å avgjøre den endelige betydningen for spiselighet av de konsentrasjoner av metaller og arsen som er funnet i fisk og blåskjell fra Ballangsfjorden.

Fire norske emneord	Fire engelske emneord
1. Gruveavgang	1. Mine tailings
2. Metaller	2. Metals
3. Marine organismer	3. Marine organisms
4. Biologiske effekter	4. Biological effects

John Arthur Berge
Prosjektleder

for Ketil Hyland
Forskningsleder

Jens Skei
Forskningsjef

ISBN 82-577-3982-0

**Resipientundersøkelser i Ballangsfjorden 2000.
Kildesporing, metallinnhold i fisk og blåskjell samt
mulige effekter på fisk.**

Forord

På bakgrunn av observasjoner av overkonsentrasjoner av metaller i Ballangsfjorden og offentlig oppmerksomhet rundt dette ønsket Nikkel og Olivin A/S (N&O) en kartlegging av metallinnholdet i spiselige organismer fra området. NIVA (ved Aud Helland) utarbeidet et utkast til program (datert 21/8-00) for slike undersøkelser. I brev av 05/9- 2000 bekreftet bedriften at de ønsket at NIVA skulle gjennomføre fase 1 av de foreslåtte undersøkelser. Undersøkelsene skulle omfatte en kartlegging av innholdet av metaller i fisk og skjell og belyse om en kunne observere eventuelle effekter av metaller på fisk. I tillegg skulle en ved isotopanalyser forsøke å identifisere om en eventuell metallbelastning i marine organismer skyldes tidligere utslipp fra Bjørkåsen gruver eller dagens utslipp fra N&O.

Fangst av fisk og blåskjell ble foretatt av fisker Ernst Hansen (Arnes).

Uttak av vevsprøver til kjemiske analyser og biomarkørundersøkelser ble foretatt i felt av Ole Aspholm og John Arthur Berge og på laboratoriet (supplerende fisk til kjemiske analyser) av Åse Bakketun.

Analyser av metaller ble utført på NIVAs laboratorium under ledelse av Bente Lauritsen. Isotopanalyser ble foretatt av Institutt for energiteknikk (IFE) ved Göran Åberg.

Prosjektleder på NIVA har vært John Arthur Berge.

Kontaktperson hos N&O: Vidkun Henriksen.

Oslo, 19/3-2001

John Arthur Berge

Innhold

Sammendrag	5
Summary	7
1. Innledning	9
2. Matriale og metode	11
2.1 Feltarbeide	11
2.1.1 Innsamling av fisk og blåskjell	11
2.2 Analysemetoder	12
2.2.1 Biomarkøranalyser	12
2.2.2 Isotopanalyser	13
3. Resultater og diskusjon	14
3.1 Metaller og arsen i blåskjell	14
3.2 Metaller og arsen i filet av torsk, rødspette og sandflyndre	15
3.3 Metaller og arsen i lever av torsk	17
3.4 Effekter på fisk - biomarkører	18
3.4.1 ALA-D	18
3.4.2 Metalotionin	19
3.5 Kildesporing ved analyse av stabile blyisotoper	21
3.6 Spiselighet	22
4. Konklusjoner	24
5. Referanser	26
Vedlegg A. Lengde og vekt av Torsk	28
Vedlegg B. Lengde og vekt av Sandflyndre	29
Vedlegg C. Lengde og vekt av Rødspette	30
Vedlegg D. Rådata for isotopanalyser av bly	31
Vedlegg E. Rådata for metalotioninanalyser	32
Vedlegg F. Rådata for ALA-D analyser	33

Sammendrag

På bakgrunn av tidligere undersøkelser er det blitt reist spørsmål om gruvedriften ved Ballangsfjorden kunne føre til effekter på fisk og skjell og om dette i tilfelle kunne ha betydning for bruken av fjordområdet. Det ble derfor gjennomført undersøkelser som skulle klargjøre:

- om gruvedriften har ført til forhøyede konsentrasjoner av metaller (Pb, Hg, Cd, Ni, Cu) og arsen (As) i spiselige organismer (torsk, rødspette, sandflyndre, blåskjell).
- om fisk i området var påvirket av metaller i resipienten.
- i hvilken grad bly i fisk og skjell kunne knyttes til gruveavgang fra henholdsvis Bjørkåsen gruver (BG) og Nikkel og Olivin A/S (N&O)

På bakgrunn av konsentrasjoner av metaller (Pb, Hg, Cd, Ni, Cu) og arsen observert i blåskjell (3 stasjoner) og fisk (to stasjoner) (torsk, rødspette og sandflyndre) kunne Ballangsfjorden i hovedsak karakteriseres som ubetydelig til lite forurenset.

Konsentrasjoner av metaller og arsen, klart over det som anses for bakgrunn, ble kun observert i ytre del av Ballangsfjorden og da for kvikksølv i sandflyndre (ca 2.5 x antatt bakgrunn) og muligens arsen i rødspette. Det finns ikke grunnlag for å knytte det noe forhøyede kvikksølvinnholdet observert i sandflyndre til utslipp av avgang til Ballangsfjorden.

Kildesporing ved isotopanalyser ($^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ forhold) tyder på at bly observert i skjell fra den indre stasjonen (BI) er mer forårsaket av avangsrelatert bly enn skjell fra den ytre stasjonen (BY). Den ytre stasjonen (BY) er trolig i større grad påvirket av bly i avrenning fra land (lokale løsmasser).

Kildesporing ($^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ forhold) tyder på at noe av det blyet som er observert i torskelever kan stamme fra Bjørkåsen gruver og i mindre grad fra Nikkel og Olivin A/S. Andre kilder enn avgang har imidlertid også betydning (muligens atmosfæretransportert bly).

Isotopanalysene kan tyde på at kilden til den diffuse belastningen av bly på skjell i ytre område (muligens fra markavrenning) er forskjellig fra den noe tydeligere påvirkning en ser i torskelever. I begge tilfeller synes imidlertid andre blykilder enn de to avgangstyper å være fremtredende.

Totalt sett tyder kildesporing og konsentrasjonsmålinger at avgang fra Nikkel og Olivin A/S ikke er noen betydelig kilde for bly i organismer i Ballangsfjorden.

Aminolevulinsyre-dehydratase aktivitet i blodceller og metallotioninkonsentrasjonen i lever var ikke signifikant forskjellig fra det en finner i fisk fra et forventet uforurenset område utenfor Svolvev. Dette viser at metaller i avgangen fra gruvedriften ikke gir noen tydelige effekter på fisk i Ballangsfjorden.

Norge opererer ikke med konsentrasjonsgrenser for hva som er tilrådelig innhold av metaller i fisk og skalldyr. Det er Statens næringsmiddeltilsyn som utformer og forvalter regelverket på næringsmiddelområdet og som er den rette instans for å avgjør den endelige betydningen av de konsentrasjoner av metaller og arsen som er funnet i blåskjell og fisk i Ballangsfjorden.

FN (JECFA) opererer med grenseverdier for tolerabelt livslangt ukentlig inntak (PTWI) for Pb, Cd, Hg, As og med tolerabelt daglig inntak (PMTDI) for Cu. For å illustrere betydningen for spiselighet av de observerte konsentrasjoner i fisk og skjell har en med utgangspunkt i de observerte konsentrasjoner beregnet hvor mye en person på 60 kg kan konsumere før anbefalt PTWI/PMTDI nås.

En kan minst spise 150 kg med fiskefilet pr. uke før PTWI for bly og kadmium nås! Tilsvarende verdier for torskelever og blåskjell ligger på mer enn 2.3 kg pr. uke.

Beregninger for kvikksølv og arsen gir et konsum av fiskefilet på i området 1.2-25 og 0.7-12.2 kg pr. uke før PTWI oppnås. Kvikksølv innholdet i sandflyndre og arsen innholdet i filet av rødspette (begge fra ytre område) er de forbindelser/vev som tillater lavest konsum før PTWI oppnås. "Tillatt" konsum basert på konsentrasjonen av arsen i rødspette er imidlertid sannsynligvis underestimert og ligger antageligvis nærmere 7 kg.

Totalt sett synes gruvedriften til Nikkel og Olivin A/S ikke å ha forårsaket vesentlig forhøyede nivåer av metaller i fisk og blåskjell fra Ballangsfjorden. Med utgangspunkt i anbefalte PTWI/PMTDI verdier synes det lite trolig at de observerte metallkonsentrasjoner har særlig betydning for bruken av spiselige ressurser i fjorden.

Summary

Title: Investigations in Ballangsfjorden 2000. Source of contamination, metal content in fish and mussels and possible biological effects on fish.

Year: 2001

Author: John Arthur Berge, Ole Aspholm and Göran Åberg

Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN No.: ISBN 82-577-3982-0

Previous investigations have raised the question of possible effects of present (Nikkel og Olivin A/S=N&O) and former (Bjørkåsen gruver=BG) mining activities in Ballangsfjord on fish and shellfish. Investigations were therefore performed in order to clarify if

- mining has caused increased concentrations of metals (Pb, Hg, Cd, Ni, Cu) and arsenic (As) in edible organisms (cod, plaice, dab and blue mussels).
- fish in the area are effected (biomarkers) by metal in their environment.
- to what degree lead observed in fish and mussels can be associated with mine tailings (two types) deposited in the Ballangsfjord.

Based on the observed concentrations of metals and arsenic in fish and mussels the Ballangsfjord could mainly be classified as insignificantly polluted.

Concentrations of metals and possibly also arsenic clearly above suggested background concentrations were only observed in the outer part of the fjord, where Hg concentrations in dab were 2.5 times higher than suggested background. The arsenic concentration in plaice was also suspiciously high in the outer fjord. Background concentrations for As in plaice are however not established. The increased concentration of mercury in dab was probably not caused by mine tailings from the present mining activity.

Analysis of lead isotopes and calculation of $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ ratios indicate that the lead in mussels from the inner part of the Ballangsfjord is more similar to the lead in tailings than mussels from the outer part of the fjord. The $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ ratios in mussels in the outer fjord are probably to a greater extent effected by lead in run-off from land.

Observed $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ ratios indicate that mine tailings from the former Bjørkåsen mining company (BG) contribute more to the content of lead in cod-liver than tailings from present mining (Nikkel og Olivin A/S). Other sources than tailings are however also important.

The analysed biomarkers (aminolevulinicacid-dehydrase in blood cells and metallothionein in cod liver) in fish did not indicate any significant effect of metals in the environment. This indicates that the metals in the mine-tailings do not have a clear effect on fish in the Ballangsfjord.

UN (JECFA) operates with recommendations on permissible maximum human exposure of contaminants through food. The recommendations (PTWI/PMTDI) are given as maximum intake (mg) pr week/day per kg body weight. The maximum intake (kg fish or shellfish) before exceeding PTWI/PMTDI for a person with a weight of 60 kg has been calculated in order to demonstrate the significance of the observed concentrations of metals and arsenic in fish and shellfish.

Calculations indicate a permissible weekly intake of at least 150 kg fish filet before PTWI for lead and cadmium is exceeded!

Similar calculations for mercury and arsenic give a permissible weekly intake of fish filet in the range 1.2-25 and 0.7-12.2 kg. Mercury in dab and arsenic in plaice (both from the outer part of the Ballangsfjord) are the elements that gives the lowest permissible intake. The calculated permissible intake of arsenic through the consumption of filet of plaice, is probably underestimated and is probably closer to 7 kg.

The mining activities of N&O have not resulted in substantial enhanced concentrations of metal and arsenic in fish and shellfish in the Ballangsfjord. Observed concentrations and UN (JECFA) recommendations on permissible maximum human exposure of contaminants through food indicate that the mining activities of N&O have had little importance for the potential use of the fjord as a site for the collecting of edible resources. It is however the Norwegian Food Control Authority which makes the final recommendations on the significance of the observed concentrations on edability of fish and shellfish from the fjord.

1. Innledning

Siden oppstart av virksomheten i 1989 har Nikkel og Olivin A/S fått gjennomført fire resipientundersøkelser i Ballangfjorden. Den første ble utført av NIVA i 1989 (Helland og Rygg, 1991) og omfattet undersøkelser av bunnsedimenter, bløtbunnsfauna, vannkjemi og metaller i tang. De to neste ble utført i 1991 og 1993 av henholdsvis NIVA og Det Norske Veritas Industry A/S (Helland 1992, Nøland og Beck, 1994). Disse undersøkelsene omfattet vannkjemi og metaller i tang. Den siste ble gjennomført i 1997 (Berge et al., 1998) og omfattet vannkvalitet, bunnsedimenter, bløtbunnsfauna og metaller i tang. Undersøkelsene fra 1997 tydet på en økende effekt på miljøet fra gruvedriften i Ballangfjorden.

På bakgrunn av resultatene fra undersøkelsene i 1997 ble det etter hvert reist spørsmål om gruvedriften kunne føre til effekter på fisk og skjell i området og om dette i tilfelle kunne ha betydning for bruken av fjordområdet.

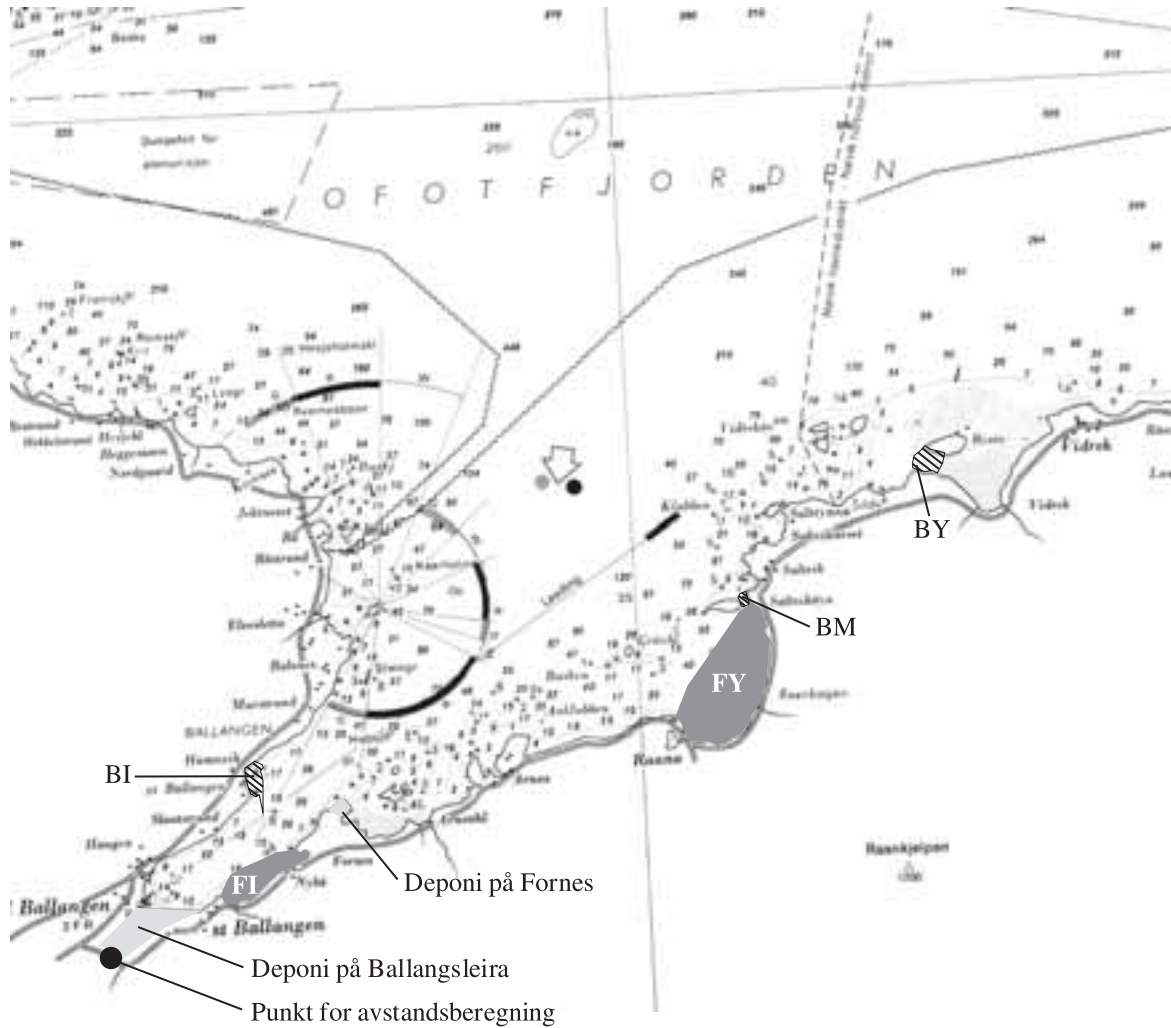
Nikkel og Olivin A/S ønsket derfor å få gjennomført undersøkelser som skulle klargjøre

- om gruvedriften har ført til overkonsentrasjoner av metaller i spiselige organismer (torsk, rødspette, sandflyndre, blåskjell).
- i hvilken grad eventuelle overkonsentrasjoner av bly i fisk og skjell kunne knyttes til gruveavgang fra henholdsvis BG og N&O.
- om fisk i området var påvirket av metaller i resipienten.

Gruvedriften ved Ballangfjorden kan deles i to faser:

- Bjørkåsen gruver (BG): Bjørkåsen Gruver drev (fra 1917 til 1964) utvinning av svovelkis i området. Det var hovedsakelig kobber (Cu), sink (Zn) og jern (Fe) som fulgte svovelkisen men med spor av andre stoffer som kobolt (Co), nikkel (Ni) og arsen (As). Det meste av avgangen fra Bjørkåsen ble sluppet ut i Kisbekken og dermed deponert innerst i fjorden på Ballangleira. Mesteparten av dette er nå tildekket av deponiet til Nikkel og Olivin A/S. Målinger i Kisbekken tyder på at denne i 1992 var meget sterkt forurenset med Ni, Zn og Cu, men ikke med As (Iversen 1993). Avgangen fra Bjørkåsen gruver inneholdt i størrelsesorden 20-50 ganger mer bly (Pb), Cu og Zn, men langt mindre Ni (ca 30 ganger) enn tilsvarende fra Nikkel og Olivin A/S (Berge et al, 1998).
- Nikkel og Olivin A/S(N&O) startet i 1989 produksjon av nikkelkonsentrat fra Bruvannsfeltet i Arnesfjellet. Olivinen som benyttes i produksjonen er et magnesiumferrosilikat. Nikkelkonsentratet som produseres inneholder ca. 10 % nikkel (Ni), 3,5 % kobber (Cu) og 0,5 % kobolt (Co) (Iversen et al. 1990). Fra 1991 har Nikkel og Olivin A/S deponert avgang på Ballangleira og hele indre del av fjorden ut til marbakken er nå fylt ut. Avgangsmassene går i ledning fra Arnesfjellet til deponiet, og overvannet slippes til sjøen etter sedimentering. Gruvevannet som tidligere gikk ut i Arneselva ble fra november 1995 ledet til deponiet ved Fornes for sedimentering. Overløpet føres nå til sjøen. En del av forurensningstilførslene til Arneselva ble derved fjernet.

I tillegg til gruvedrift har en også en potensielle lokal kilder til forurensning fra dumpfeltet for ammunisjon og annet militært utstyr i Ofotfjorden (Figur 1).



Figur 1. Ballangsfjorden med avmerking av områder for innsamling av blåskjell og fisk. BI=Blåskjell indre, BM=Blåskjell midtre, BY=Blåskjell ytre, FI=Fisk indre, FY=Fisk ytre.

2. Matriale og metode

2.1 Feltarbeide

2.1.1 Innsamling av fisk og blåskjell

Stasjoner (innsamlingsområder) som ble benyttet i undersøkelsen ses i Figur 1. Blåskjell ble innsamlet på 3 lokaliteter (indre, midtre og ytre) henholdsvis 3, 10 og 13 km fra Ballangseira. Fisk ble innsamlet fra to områder (indre og ytre) henholdsvis 2 og 9 km fra Ballangseira.

Følgende fiskearter ble innsamlet: torsk (*Gadus morhua*), rødspette (*Plauronectes platessa*), sandflyndre (*Limanda limanda*). Fangst av fisk ble i hovedsak foretatt med garn, men noe av torsken ble også fanget med håndsnøre.

Innsamling av fisk foregikk hovedsakelig i uke 45 (6-11 november , 2000). Noe supplerende innsamling av fisk for miljøgiftanalyser ble også foretatt i siste halvdel av november. Denne fisken ble frosset og sendt NIVA. Innsamlingslokalitetene ses i Figur 1.

Fisken fanget i uke 45 ble forsøkt holdt levende i ruser frem til 13-14/11 slik at blodprøver for biomarkøranalyser kunne tas. Ruser var plassert ved Arnes. Ruser med fisk fra FI ble plassert 100-200 m lenger inn i fjorden enn ruser med fisk fra FY. En del av fisken døde eller var døende under eller rett før prøvetaking slik at antall tilfredstillende blodprøver ble noe redusert. Vevsprøver for analyse av metaller ble også tatt ut 13-14/11. Prøvene ble imidlertid supplert med materiale fra fisk innsamlet i siste del av november.

I torsk ble muskelvev og lever analysert mens en fra rødspette og sandflyndre analyserte muskelvev. For torsk og rødspette ble det fra hver lokalitet analysert 3 parallelle prøver (hver bestående av vev fra 4-5 fisk (se vedlegg A og C). Analyse av sandflyndre ble foretatt på en blandprøve bestående av 15-20 fisk (se vedlegg B).

Fra hver fisk ble det tatt ut ca 10 g filet til analyse mens det til leverprøvene ble tatt ut opptil ca 10-13 g (hele leveren ble tatt med når totalvekten av leveren var mindre enn ca. 10 g).

Innsamling av blåskjell til analyse ble også foretatt i uke 45. Skjellene ble nedfrosset umiddelbart etter innsamling. Skjellene ble senere tint og bløtdelene tatt ut. Skjellene som ble analysert hadde en lengde på 30-53 mm. Fra hver av de tre stasjoner (Figur 1) ble det analysert 3 blandprøver. Hver blandprøve besto av bløtdelene fra 18-20 skjell.

2.2 Analysemetoder

Analysemetode for metaller/elementer som er inkludert i undersøkelsen ses i Tabell 1.

Tabell 1. Analysemetoder benyttet for de ulike metaller/elementer

Metall/element	Oppslutningsmetode	Analysemetode
Arsen (As)	Salpetersyre	ICPMS ¹⁾
Kadmium (Cd)	Salpetersyre	ICPMS ¹⁾
Kobber (Cu)	Salpetersyre	ICPMS ¹⁾
Kvikksølv (Hg)	Salpetersyre	Atomabs. (E4-3) ²⁾
Nikkel (Ni)	Salpetersyre	ICPMS ¹⁾
Bly (Pb)	Salpetersyre	ICPMS ¹⁾

¹⁾Følgende instrumentering er benyttet: Perkin-Elmer Sciex ELAN 6000 ICP-MS, utstyrt med P-E autosampler AS-90, AS-90b prøvebrett og P-E Rinsing Port Kit (NIVA interne analysemetode E 8-2)

²⁾Følgende instrumentering er benyttet: Perkin-Elmer FIMS-400 med P-E AS-90 autosampler og P-E amalgamsystem (NIVA interne analysemetode E 4-3).

2.2.1 Biomarkøranalyser

Blodprøve ble tatt fra fiskens kaudalvene, sentrifugert og de røde blodcellene ble frosset på flytende nitrogen. Omtrent 1 g lever ble tatt ut fra hver fisk og frosset på flytende nitrogen.

Aminolevulinsyre-dehydratase aktiviteten måles i røde blodceller ved at mengde produsert porfobilinogen (PBG) måles (Nakagawa *et al* 1994). PBG er et produkt av en enzymatisk (ALA-D) reaksjon mellom aminolevulinsyre og Erlich reagens. Konsentrasjonen av PBG måles spektrofotometrisk ved 553 nm.

Erlich reagens består av 40 ml 70% perklorsyre, 4 g p-dimethylaminobenzaldehyd justert til 220 ml i maursyre. Blodceller homogeniseres og sentrifugeres, deretter tilsettes aminolevulinsyre og løsningen inkuberes ved 25°C i 2 timer. 7% trikloracetatsyre tilsettes for å felle proteiner fra løsningen. Etter sentrifugering overføres løsningen til brønner i en 96 brønns optisk plate og tilsettes Erlich reagens og absorbansen måles i en plateleser. PBG-konsentrasjonen beregnes i forhold til en kalibreringskurve.

Metallotioninanalyser utføres på varmedenaturert cytosol fra homogenisert lever, homogenisering og separering av cytosol gjøres etter metoden til Dignam (1990). Metallotionin kvantifiseres med differensiell puls polarografi (DPP), en elektrokjemisk metode som måler SH-bindinger i cytosol (Olafson og Olsson, 1991). For å unngå interferens med andre SH holdige proteiner varmedenatureres cytosol (metallotionin er varmestabilt). Metallotioninkonsentrasjonen beregnes ut fra en kalibreringskurve med standard kanin MT I og II (Sigma M 7641).

Både ALA-D og MT er relatert til mengde total protein i henholdsvis blodceller og cytosol. Proteinkonsentrasjonene analyseres etter Lowry metoden (Lowry *et al.* 1951, Peterson 1979)

2.2.2 Isotopanalyser

Blyisotopanalyser (^{204}Pb , ^{206}Pb , ^{207}Pb , ^{208}Pb) ble foretatt på avgang fra Nikkel og Olivin A/S (tatt på deponiet på Ballangseira) og på avgang fra den tidligere Bjørkåsen gruver (tatt opp i Kisbekken) for å se om de hadde ulik bly sammensetning og dermed gi grunnlag for kildeføring. Det ble også analysert en sedimentprøve tatt i fjæra mellom deponiet på Ballangseira og deponiet på Fornes. Resultatet fra disse innledende analyser ga holdepunkter for at isotopforhold ($^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$) kunne brukes til kildeføring (se vedlegg D for rådata).

Hovedmålet med kildeføringen var å se i hvilken grad det var mulig å knytte observert bly i fisk og skjell fra Ballangsfjorden til de to avgangstyper. Det ble derfor også foretatt blyisotopanalyser på blåskjell og torskelever fra området.

Prøver av blåskjell og torskelever ble tørket over natten i en ovn ved 60 grader. Prøvene ble siden ved samme temperatur forasket i en plasmaforasker. Asken ble løst i konsentrert HNO_3 og inndampet. Etter oppløsning i 0.3 ml 3 M HNO_3 ble blyfraksjonen anriket og analysert på en Finnigan MAT 261 massespektrometer med en total blank på <100 pg Pb. Isotopforholdene for bly ble korrigert for massefraksjonering ved gjentatte analyser av NBS 981 blystandard som viste en variasjon på $< \pm 0.1\%$ for $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ forholdet.

3. Resultater og diskusjon

3.1 Metaller og arsen i blåskjell

De observerte konsentrasjoner av metaller og arsen i blåskjell (Tabell 2) var generelt lave i de tre undersøkelsesområdene. I følge SFTs retningslinjer for klassifisering av miljøkvalitet i fjorder og kystvann (Molvær et al. 1997) kunne områdene der skjellene ble innsamlet (Figur 1) klassifiseres som ubetydelig til lite forurensset (Tabell 2B). Med unntak av Hg ble det observert en tendens til avtagende konsentrasjoner utover i fjorden (Tabell 2A), noe som kan tyde på større tilgjengelighet av suspendert materiale i innerste del av fjorden enn lenger ut. Det må imidlertid presiseres at selv på den innerste stasjonen så var konsentrasjonene lave.

Tabell 2. Konsentrasjonen av metaller i blåskjell fra 3 områder i Ballangsfjorden.

På hvert av de 3 områdene er det analysert 3 prøver.







A: Konsentrasjon oppgitt som µg/g v.v.

Område	As	Cd	Cu	Hg	Ni	Pb
Innerst, BI (prøve 1) ¹⁾	1,5	0,15	1,2	0,011	0,3	0,6
Innerst, BI (prøve 2)	1,5	0,12	1,2		0,5	0,5
Innerst, BI (prøve 3) ¹⁾	1,4	0,14	1,3		0,5	0,6
Gjennomsnitt, BI (prøve 1-3)	1,47	0,14	1,23		0,43	0,57
Midten, BM (prøve 1)	1,1	0,14	1,3	0,011	0,3	0,5
Midten, BM (prøve 2)	1,1	0,14	1,2		0,3	0,5
Midten, BM (prøve 3)	1,1	0,12	1,1		0,3	0,5
Gjennomsnitt, BM (prøve 1-3)	1,10	0,13	1,20		0,30	0,50
Ytterst, BY (prøve 1) ¹⁾	1	0,11	1	0,012	0,1	0,3
Ytterst, BY (prøve 2) ¹⁾	0,9	0,12	1,1		0,2	0,3
Ytterst, BY (prøve 3)	1	0,11	1,1		0,2	0,3
Gjennomsnitt, BY (prøve 1-3)	0,97	0,11	1,07		0,17	0,30

Tabell 2 (fortsettelse)

B: Konsentrasjon av metaller i blåskjell oppgitt som µg/g t.v. Konsentrasjonen er beregnet på basis av et antatt tørrstoffinnhold på 20%.

Data fra de enkelte stasjoner (middelverdi) er klassifisert ifølge SFTs klassifiseringssystem (Molvær et al. 1997)

 I. Ubetydelig- lite forurenset	 II. Moderat forurenset	 III. Markert forurenset	 IV. Sterkt forurenset
 V. Meget sterkt forurenset	 Ikke i klassifiseringssystem/ kan ikke klassifiseres		

Område	As	Cd	Cu	Hg	Ni	Pb
Innerst, BI (prøve 1) ¹⁾	7,5	0,75	6	0,055	1,5	3
Innerst, BI (prøve 2)	7,5	0,6	6	0	2,5	2,5
Innerst, BI (prøve 3) ¹⁾	7	0,7	6,5	0	2,5	3
Gjennomsnitt, BI (prøve 1-3)	7,33	0,68	6,17		2,17	2,83
Midten, BM (prøve 1)	5,5	0,7	6,5	0,055	1,5	2,5
Midten, BM (prøve 2)	5,5	0,7	6	0	1,5	2,5
Midten, BM (prøve 3)	5,5	0,6	5,5	0	1,5	2,5
Gjennomsnitt, BM (prøve 1-3)	5,50	0,67	6,00		1,50	2,50
Ytterst, BY (prøve 1) ¹⁾	5	0,55	5	0,06	0,5	1,5
Ytterst, BY (prøve 2) ¹⁾	4,5	0,6	5,5	0	1	1,5
Ytterst, BY (prøve 3)	5	0,55	5,5	0	1	1,5
Gjennomsnitt, BY (prøve 1-3)	4,83	0,57	5,33		0,83	1,50
Øvre grense for klasse I (µg/kg t.v.)	10	2	10	0,2	5	3

¹⁾Blyisotopanalyse ble foretatt på denne prøve

3.2 Metaller og arsen i filet av torsk, rødspette og sandflyndre

Med unntak av innholdet av kvikksølv i torskefilet inngår ikke metaller og arsen i fisk som en del av SFTs system for klassifisering av miljøkvalitet (Molvær et al. 1997). For de øvrige metaller/fiskearter har en derfor benyttet bakgrunnsnivåer foreslått av Knutzen og Skei (1990) for sammenligning.

Det ble i filet av fisk fra begge innsamlingsområder i hovedsak observert lave metallkonsentrasjoner (dvs under eller svært nær det som er antatt som øvre grense for bakgrunnsnivå i tilsvarende eller nærtstående art) (Tabell 3, Tabell 4, Tabell 5.). Konsentrasjonen av kvikksølv i sandflyndre på ytre stasjon lå imidlertid ca. 2.5 ganger over antatt bakgrunn (Tabell 5).

Med et mulig unntak for kvikksølv i filet av sandflyndre kunne en ikke observere noen vesentlig forskjell i metallinnholdet i filet av fisk fra de to innsamlingsområdene (Tabell 3, Tabell 4, Tabell 5). Kvikksølvinnholdet i sandflyndre lå imidlertid klart høyere i ytre område (FY) enn i indre (FI) (se Tabell 5).

Arseninnholdet i filet av rødspette fra det ytre innsamlingsområdet var i forhold til antatt usikkert bakgrunnsnivå (i skrubbe) noe høyt (Tabell 4), men var likevel lavere enn det som er observert i filet

av rødspette fra Øygarden (Julshamn et al. 1988). Tilsvarende høye verdier ble ikke observert i torskefilet (Tabell 3) eller sandflyndre (Tabell 5). For alle de tre fiskeslagene ble det imidlertid observert høyere konsentrasjoner av arsen i det ytre området, lengst fra deponiene, enn i det indre (Tabell 3, Tabell 4, Tabell 5). Årsaken til dette kan ikke sies med sikkerhet. Funn av høye konsentrasjoner i ytre område er motsatt av hva en skulle forvente ut fra at sedimentene innerst i Ballangsfjorden er markert forurenset med As med avtagende konsentrasjoner utover fjorden (Berge et al. 1998).

Tabell 3. Konsentrasjonen av metaller ($\mu\text{g/g}$ v.v.) i filet av torsk fra indre og ytre område i Ballangsfjorden. Fra hvert av de 2 områdene er det analysert 3 prøver a 5 fisk.

Område	As	Cd	Cu	Hg	Ni	Pb
Indre (prøve 1)	1,2	<0,002	0,3	0,11	<0,01	<0,01
Indre (prøve 2)	1,4	<0,002	0,5		<0,01	<0,01
Indre (prøve 3)	1,3	<0,002	0,4		<0,01	<0,01
Gjennomsnitt, FI (prøve 1-3)	1,30		0,40			
Ytre (prøve 1)	2,3	<0,002	0,5	0,1	<0,01	<0,01
Ytre (prøve 2)	1,6	<0,002	0,7		<0,01	<0,01
Ytre (prøve 3)	2,5	<0,002	0,5		<0,01	<0,01
Gjennomsnitt, FY (prøve 1-3)	2,13		0,57			
Antatt øvre grense for bakgrunnsnivå i torsk	5 ¹⁾	0,02 ¹⁾	0,5 ¹⁾	0,1 ²⁾	0,2? ¹⁾	0,01 ¹⁾

¹⁾ I følge Knutzen og Skei (1990), særlig usikre verdier er markert med ?.

²⁾ I følge SFTs system for klassifisering av miljøkvalitet (Molvær et al. 1997) og Knutzen og Skei (1990).

Tabell 4. Konsentrasjonen av metaller ($\mu\text{g/g}$ v.v.) i filet av rødspette fra indre og ytre område i Ballangsfjorden. Fra de 2 områdene er det analysert henholdsvis 3 og 2 prøver a 5 fisk.

Område	As	Cd	Cu	Hg	Ni	Pb
Indre (prøve 1)	13	<0,002	0,5		<0,01	<0,01
Indre (prøve 2)	7,8	<0,002	0,7		<0,01	<0,01
Indre (prøve 3)	11	<0,002	0,6	0,04	<0,01	<0,01
Gjennomsnitt, FI (prøve 1-3)	10,60		0,60			
Ytre (prøve 1)	29	<0,002	0,5		<0,01	<0,01
Ytre (prøve 2)	23	<0,002	0,6	0,048	<0,01	<0,01
Gjennomsnitt, FY (prøve 1-2)	26,00		0,55			
Antatt øvre grense for bakgrunnsnivå i skrubbe ¹⁾	10?	0,02	1?	0,1	0,4	0,01

¹⁾ I følge Knutzen og Skei (1990), særlig usikre verdier er markert med ?.

Tabell 5. Konsentrasjonen av metaller ($\mu\text{g/g}$ v.v.) i filet av sandflyndre fra indre og ytre område i Ballangsfjorden. Fra hvert av de 2 områdene er det analysert 1 prøve a henholdsvis 20 (indre) og 15 (ytre) fisk.

Område	As	Cd	Cu	Hg	Ni	Pb
Indre	4,7	<0,002	0,4	0,095	<0,01	<0,01
Ytre	10	<0,002	0,4	0,25	<0,01	<0,01
Antatt øvre grense for bakgrunnsnivå i skrubbe ¹⁾	10?	0,02	1?	0,1	0,4	0,01

¹⁾I følge Knutzen og Skei (1990), særlig usikre verdier er markert med ?.

3.3 Metaller og arsen i lever av torsk

Alle metall- og arsenkonsentrasjoner observert i torskelever med unntak av bly lå lavere eller svært nær antatt bakgrunnsnivå (Tabell 6). For bly lå de observerte konsentrasjoner på omtrent det dobbelte av det som er antatt som bakgrunnskonsentrasjon.

Tabell 6. Konsentrasjonen av metaller og arsen ($\mu\text{g/g}$ v.v.) i lever av torsk fra indre og ytre område i Ballangsfjorden. Fra hvert av de 2 områdene er det analysert 3 prøver a 5 fisk

Område	As	Cd	Cu	Ni	Pb
Indre (prøve 1)	5,8	0,11	13	0,2	0,2
Indre (prøve 2)	11	0,21	13	0,5	0,1
Indre (prøve 3) ²⁾	3,5	0,23	9,4	0,4	0,3
Gjennomsnitt, FI (prøve 1-3)	6,77	0,18	11,80	0,37	0,20
Ytre (prøve 1)	10	0,11	7,1	0,2	0,1
Ytre (prøve 2) ²⁾	5,8	0,064	7,3	0,2	0,4
Ytre (prøve 3)	5,3	0,11	10	0,1	<0,03
Gjennomsnitt, FY (prøve 1-3)	7,03	0,09	8,13	0,17	0,25/0,17
Antatt øvre grense for bakgrunnsnivå i torskelever ¹⁾	10	0,5?	10	0,5	0,1?

¹⁾I følge Knutzen og Skei (1990), særlig usikre verdier er markert med ?.

²⁾Blyisotopanalyse ble foretatt på denne prøve.

3.4 Effekter på fisk - biomarkører

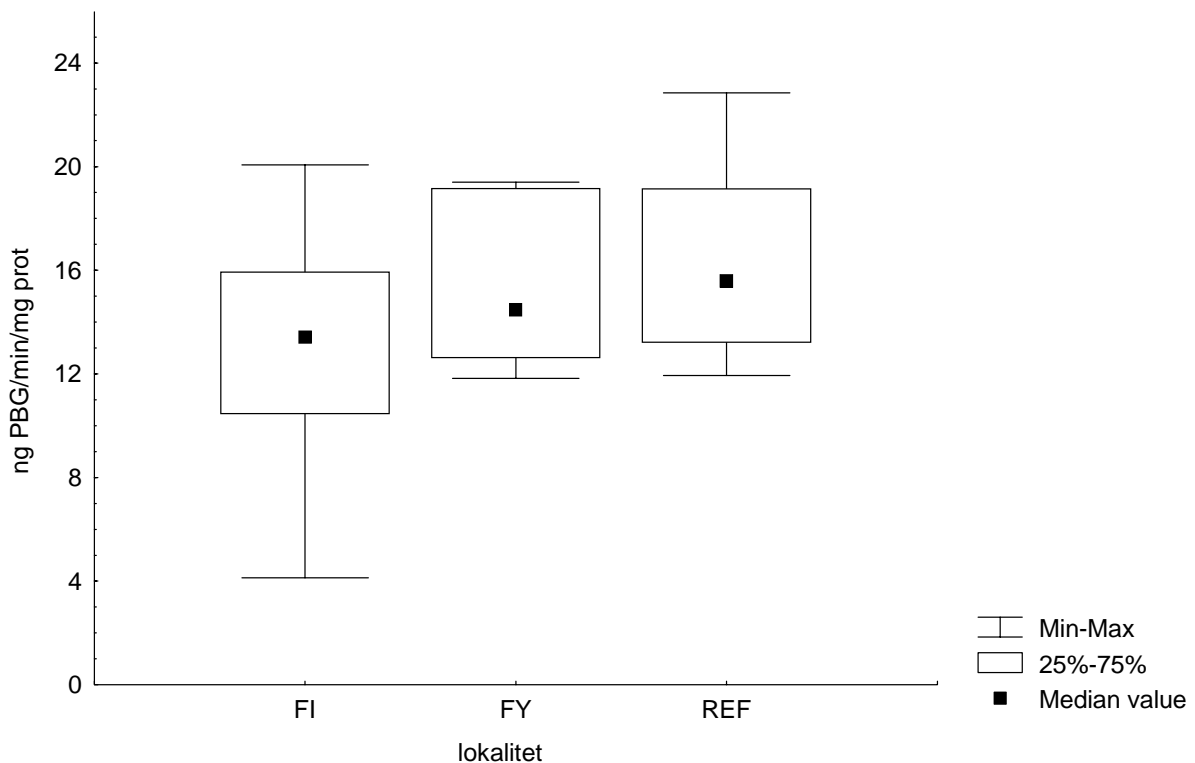
Resultatene fra fisk fanget i Ballangen er sammenliknet med resultater fra fisk fanget i et presumtvt uforurenset område utenfor Svolvær. Denne fisken er fanget på høsten og alle biomarkøranalyser er gjort samtidig med analysene på fisken fra Ballangen. I denne rapporten betegnes resultatene fra Svolværfisken som referanse verdier (REF).

3.4.1 ALA-D

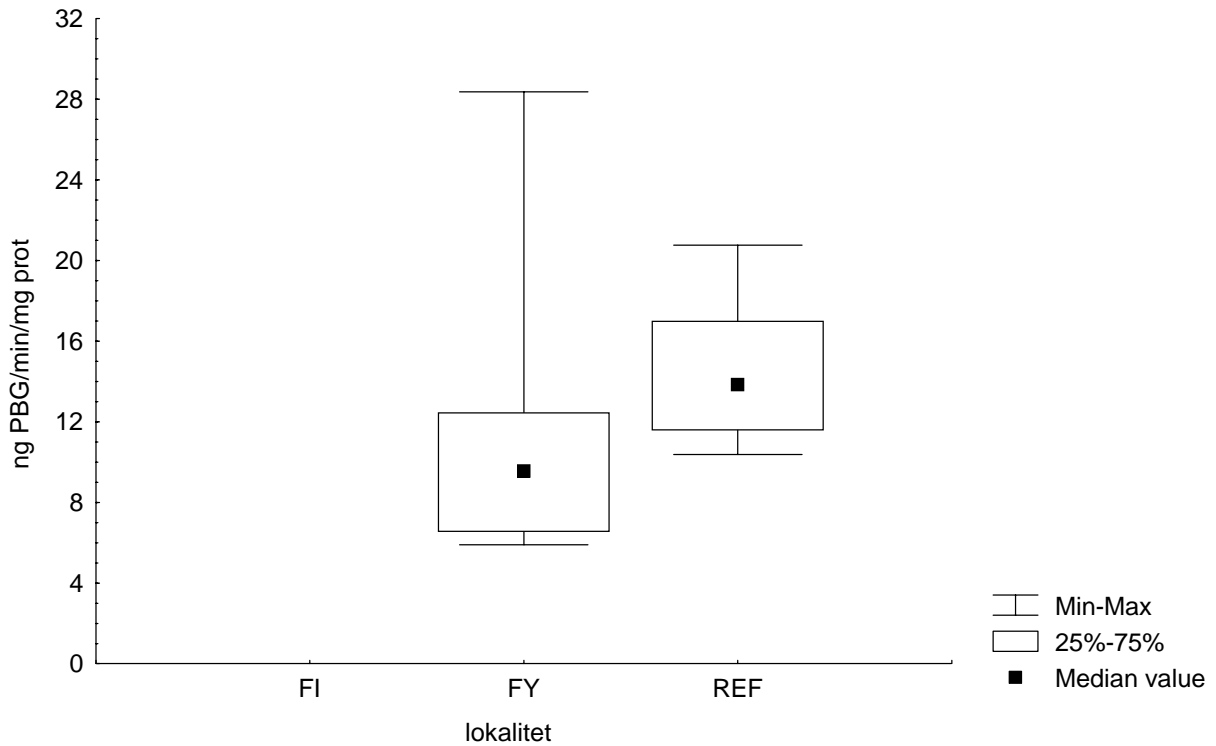
Aminolevulinsyre-dehydratase (ALA-D) er et enzym som blir svekket av blyforurensning. Enzymet inngår i dannelsen av røde blodlegemer (hemoglobin). Det omdanner aminolevulinsyre til porfobilinogen (PBG) som er et forstadium til hemoglobin.

ALA-D aktiviteten i blodceller fra torsk fanget i FI og FY var tilnærmet lik aktiviteten i fisk fanget i Svolværområdet (Figur 2). Det var ingen signifikant forskjell mellom de to områdene (Kruskal-Wallis ANOVA $p > 0,5$).

En noe lavere midlere ALA-D aktivitet ble observert i rødspette fra FY i forhold til fisk fra Svolvær (Figur 3). Forskjellen var imidlertid ikke signifikant (Kruskal-Wallis ANOVA $p > 0,2$). Det var ingen blodprøver fra levende rødspette fanget i FI området.



Figur 2. ALA-D aktivitet i blodceller fra torsk fanget i Ballangen (FI og FY) samt Svolvær (REF).



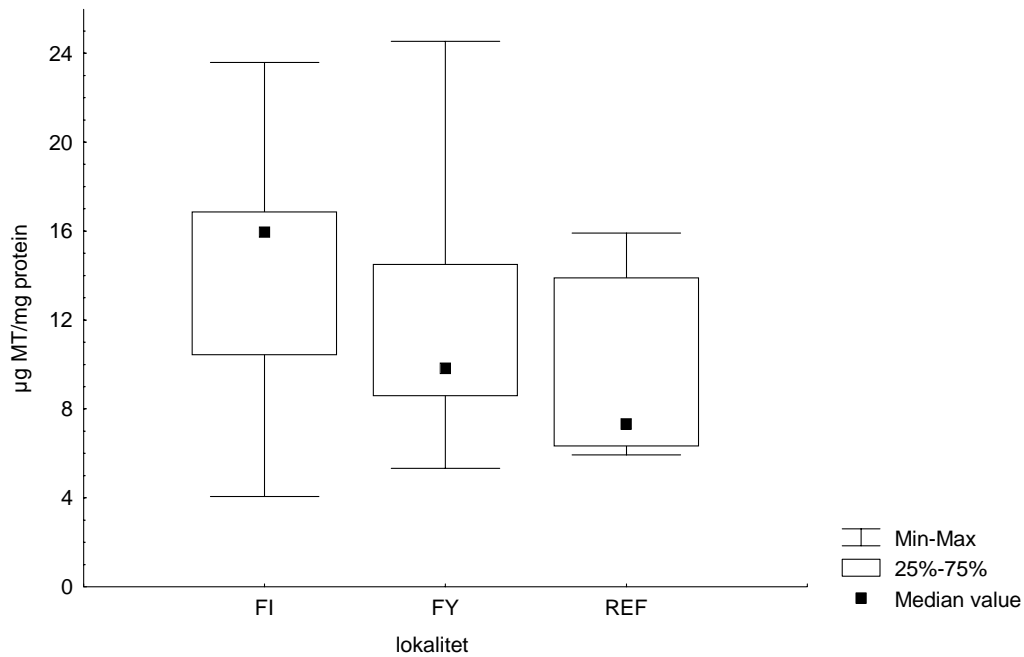
Figur 3. ALA-D aktivitet i blodceller fra rødspette fanget i Ballangen (FY) og Svolvær (REF).

3.4.2 Metalotionin

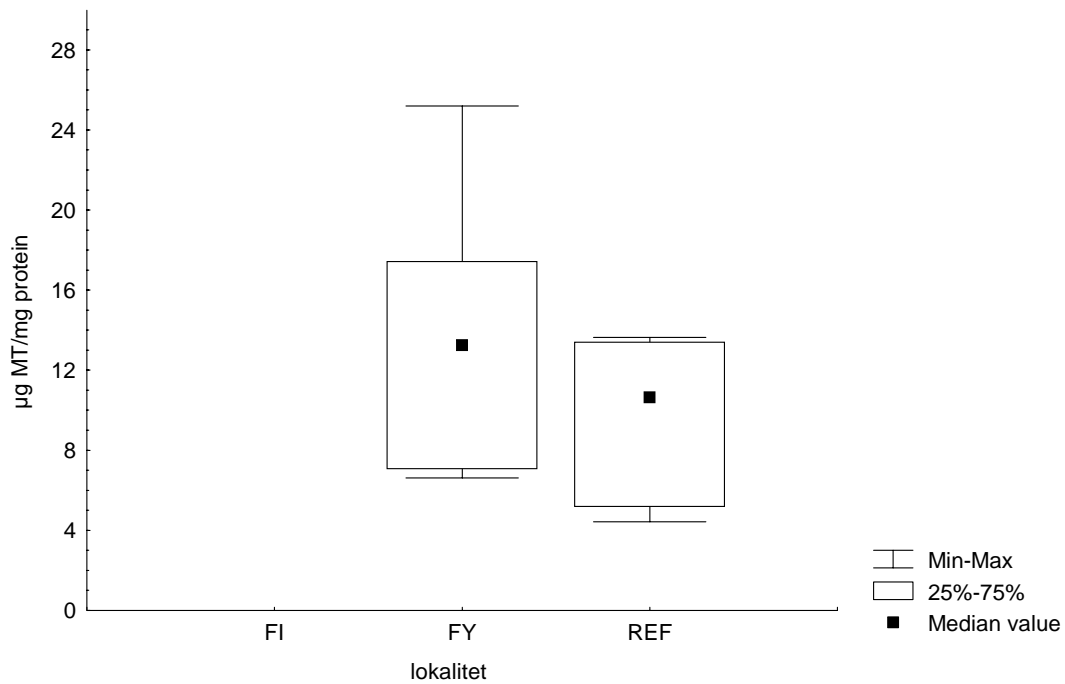
Metalotionin (MT) er et protein som induseres av og binder en rekke tungmetaller (bl.a. Hg, Ag, Cu, Zn og Cd). Når nivået av disse metallene øker i organismen øker også metalotioninkonsentrasjonen.

Resultatene fra undersøkelsen viser at det er antydning til økt metalotioninkonsentrasjon i lever fra torsk fanget i FI (Figur 4). Median verdien av MT er dobbel så høy i disse fiskene som i fisk fanget i Svolværområdet. På grunn av stor individuell variasjon er det imidlertid ikke noen signifikant forskjell på MT-konsentrasjonene i lever fra fisk fanget på de tre forskjellige stasjonene.

Metalotioninkonsentrasjonen i lever fra rødspette fanget i Ballangen og Svolvær er tilnærmet like. Det vil si 10-12 µg MT/mg protein.



Figur 4. Metallotioninkonsentrasjon i lever fra torsk fanget i Ballangen (FI og FY) samt Svolværområdet (REF), median og kvartiler (25%,75%).



Figur 5. Metallotioninkonsentrasjon i lever fra rødspette fanget i Ballangen (FY) og Svolværområdet (REF), median og kvartiler (25%,75%).

3.5 Kildesporing ved analyse av stabile blyisotoper

Innledende analyser viste at $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ forholdet i avgang fra tidligere Bjørkåsen gruver og Nikkel og Olivin A/S var såpass forskjellig (Tabell 7, se vedlegg D for rådata) at det ga grunnlag for å bruke isotopforhold til kildesporing.

I sediment fra fjæra ble det observert et $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ forhold som lå mellom verdiene funnet i de to avgangstyper (Tabell 7), men allikevel klart nærmest avgangen fra Bjørkåsen. Forutsatt at en ikke har andre dominerende kilder tyder dette på at blyet i det analyserte strandmaterialet domineres mer av tidligere utslipp fra Bjørkåsen enn av de senere års avgang fra Nikkel og Olivin A/S.

Blåskjellene er fastsittende organismer som filtrerer ut partikler fra vannet i grunnområder. Blyisotopforholdet i skjell representerer derfor sammensetningen i miljøet (vann, suspendert partikulært materiale) på innsamlingslokaliteten og kan således i tillegg til avgang også speile $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ isotopforholdet i avrenning fra land som ligger rundt 1.20.

Konsentrasjonen av bly observert i skjell fra BI var omtrent det dobbelte av det en observerte på BY (Tabell 2). Dette tyder på at blyet som er observert i skjellene fra den indre stasjonen (BI) er mer påvirket av avangsrelatert bly enn skjell fra den ytre stasjonen (BY). $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ forholdet (Tabell 7) tyder også på at blyet som er observert i skjellene i betydelig grad (spesielt skjell fra BY) stammer fra andre kilder enn de to avgangstypene. Den noe høyere blykonsentrasjonen og et $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ isotopforhold nær begge avgangstypene (Tabell 7) tyder altså på en viss påvirkning på blåskjellen fra den indre stasjonen (BI).

De blykonsentrasjoner som ble observert i blåskjell var imidlertid generelt lave på begge stasjoner og innenfor det en må forvente i områder med kun diffus belastning (Tabell 2) og dermed av mindre interesse. Kilden til det blyet som er observert i BY er sannsynligvis av diffus karakter. $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ isotopforholdet tyder på avrenning fra land kan være medvirkende, mens en i skjell fra BI i tillegg også har et mindre tilskudd av bly fra avgang.

Større interesse knytter det seg til blyet som ble observert i torskelever fordi en der, med forbehold om at bakgrunnsnivået av bly er relativt dårlig kjent, har observert blykonsentrasjoner som kan tyde på en viss påvirkning (Tabell 6). Torsken er imidlertid mobil og lever på dypere vann. Både blyinnholdet og isotopforholdet representerer derfor horisontalt et større område enn blåskjell.

I leveren fra fisk fra begge stasjoner ble det observert et $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ forhold som lå noe lavere enn i de to avgangstyper (Tabell 7) men klart nærmere avgangen fra Bjørkåsen enn tilsvarende fra Nikkel og Olivin A/S. Dette tyder på at det blyet som er observert kan stamme fra Bjørkåsen gruver men at en også har andre kilder enn de to avgangstyper som trekker $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ forholdet ned.

Atmosfæretransportert bly kan ha spilt en rolle idet moser innsamlet i Nord-Norge i 2000 har vist seg å ha et $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ forhold i området 1.15 – 1.16 (G.Åberg, IFE, pers. comm. 2001).

Siden $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ forholdet i skjell (spesielt ytre område) og torskelever lå henholdsvis høyere og lavere enn de to avgangstyper tyder det på at andre, sannsynligvis diffuse blykilder er av betydning.

Tabell 7. Forholdet mellom mengden av de ulike isotoper $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ i avgang, sediment, blåskjell og torskelever fra Ballangen området.

Prøvetype	Lokalitet	$^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$
Avgang	Bjørkåsen gruver	1.171
Avgang	Nikkel og Olivin A/S	1.177
Sediment fra fjæra		1.172
Blåskjell	BI	1.182
Blåskjell	BI	1.182
Blåskjell	BY	1.208
Blåskjell	BY	1.211
Torsklever	FI	1.168
Torsklever	FY	1.168

3.6 Spiselighet

Norge opererer ikke med konsentrasjonsgrenser for hva som er tilrådelig innhold av metaller og arsen i fisk og skalldyr. En begrunnelse for dette er at det er det totale inntak av et stoff som er av betydning for helserisiko og ikke innholdet i hver enkelt matvare. FNs ekspertgruppe for tilsetningsstoffer og kontaminanter (JECFA) opererer imidlertid med grenseverdier for tolerabelt livslangt ukentlig inntak (PTWI=Provisional Tolerable Weekly Intake) for forbindelser som har akkumulerende egenskaper og som en ikke kan unngå å få i seg ved konsum av ellers sunn og næringsrik kost.

PTWI oppgis vanligvis som ukentlig inntak av forbindelsen i mg pr kg kroppsvekt. For forbindelser som ikke har akkumuleringsegenskaper (eksempelvis Cu) opererer JECFAC med en grenseverdi for tolerabelt daglig inntak (PMTDI). PTWI for Pb, Hg, Cd og As samt PMTDI for Cu ses i Tabell 8.

Fisk og skalldyr er ansett som den dominerende kilde til inntak av arsen via kosten. I fisk opptrer arsen hovedsakelig som ugiftig organisk bundet arsen (eksempelvis arsenobetain og arsenocholin) mens de uorganiske og mest giftige arsenforbindelser utgør ca 1-5 % av det totale arseninnhold (Danske Fødevareministeriet, http://www.fvm.dk/publikat/foedevareh/kap01_7.htm) og for rødspette ennå mindre (0.5%) (Julshamn, et al. 1988).

For å illustrere betydningen av de observerte konsentrasjoner i skjell og fisk fra Ballangsfjorden for spiselighet har en på basis av maksimale middelverdier (se Tabell 2, Tabell 3, Tabell 4, Tabell 5) beregnet hvor mye en person på 60 kg kan konsumere før anbefalt PTWI/PMTDI nås, forutsatt at dette er eneste kilde og at kun 5 % av arseninnholdet er knyttet til uorganisk arsen (Tabell 8).

Arseninholdet i filet av rødspette og kvikksølvinnholdet i sandflyndre (begge fra ytre område =FY) er de forbindelser/vev som tillater lavest konsum før PTWI oppnås (henholdsvis 0.7 og 1.2 kg). For bly, kadmium og kobber tillates et klart høyere konsum, særlig av filet (Tabell 8).

"Tillatt" konsum basert på konsentrasjonen av arsen i rødspette (Tabell 8) er sannsynligvis sterkt underestimert da andelen av uorganisk arsen i denne rødspette sannsynligvis ligger nærmere 0.5% enn 5 % (Julshamn et al. 1988). Dette vil i tilfelle øke "tillatt" konsum av rødspette fra 0.7 til 7 kg/uke.

Tabell 8. Beregninger av hvor mye skjell/fisk som kan konsumeres (for en person på 60 kg) for at en skal nå oppgitte PTWI og PMTDI verdier (WHO) forutsatt at det ikke finner sted annet opptak av de angitte forbindelsene. Datagrunnlag: Observerte maksimale konsentrasjoner (middelverdi).

Metall	PTWI (mg/kg/uke)	Blåskjell (kg/uke)	Rødspette filet (kg/uke)	Sandflyndre filet (kg/uke)	Torskelever (kg/uke)	Toskefilet (kg/uke)
Pb	0,25	2,6	>150,0	>150,0	8,8	>150,0
Hg	0,005	25,0	6,2	1,2		2,7
Cd	0,007	3,0	>210,0	>210,0	2,3	>210,0
As	0,015	12,2 ¹⁾	0,7 ¹⁾²⁾	1,8 ¹⁾	2,6 ¹⁾	8,5 ¹⁾
	PMTDI (mg/kg/dag)	Blåskjell (kg/dag)	Rødspette filet (kg/dag)	Sandflyndre filet (kg/dag)	Torskelever (kg/dag)	Toskefilet (kg/dag)
Cu	0,5	24,4	500,0	75,0	2,5	52,6

- 1) Beregnet under forutsetning av at 95 % av innholdet av arsen er knyttet til ugiftig organisk bundet arsen.
- 2) "Tillatt" konsum er sannsynligvis sterkt underestimert da andelen av uorganisk arsen i denne rødspette sannsynligvis ligger nærmere 0.5% enn 5 %.

I Norge er det Statens næringsmiddeltilsyn som utformer og forvalter regelverket på næringsmiddelområdet og som på basis av et helhetssyn er den rette instans for å avgjør den endelige betydningen av de konsentrasjoner av metaller og arsen som er funnet i denne undersøkelse.

4. Konklusjoner

- På bakgrunn av konsentrasjoner av metaller (Pb, Hg, Cd, Ni, Cu) og arsen observert i blåskjell og fisk (torsk, rødspette og sandflyndre) kunne Ballangsfjorden i hovedsak karakteriseres som ubetydelig til lite forurenset.
- Til tross for lave metallkonsentrasjoner i blåskjell kunne en spore en viss avtagende konsentrasjon utover i Ballangsfjorden.
- Konsentrasjoner av metaller og arsen, klart over det som anses for bakgrunn, ble kun observert i ytre område (FY) og da for kvikksølv i sandflyndre (ca 2.5 x antatt bakgrunn) og med forbehold om usikker bakgrunnsverdi muligens også arsen i rødspette. En har ikke konkrete opplysninger om noen lokale kilder for kvikksølv i området, men observasjonen av et noe høyt innhold av kvikksølv er trolig ikke knyttet til utslipp av avgang inne i Ballangsfjorden. Betydningen av dumpfeltet for ammunisjon i Ofotfjorden for metallinnholdet i fisk er ukjent.
- Konsentrasjonen av bly observert i skjell fra indre område var omtrent det dobbelte av det observert i ytre område. Beregnede $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ forhold tyder på at det blyet som er observert i skjell fra den indre stasjonen (BI) er mer påvirket av avangsrelatert bly enn skjell fra den ytre stasjonen (BY) som i større grad er påvirket av andre kilder, muligens avrenning fra land.
- Beregnede $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ forhold tyder på at noe av det blyet som er observert i torskelever kan stamme fra Bjørkåsen gruver, men at en også har andre kilder enn avgang (muligens atmosfæretransportert bly) som trekker $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ forholdet ned.
- De beregnede $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ forhold kan tyde på at kilden til den diffuse belastningen av bly på skjell i ytre område (muligens fra markavrenning) er forskjellig fra den noe tydeligere påvirkning (atmosfæretransportert) en ser i torskelever. I begge tilfeller synes andre blykilder enn de to avgangstyper å være fremtredende.
- Det er ikke påvist noen signifikant effekt på fisken fra Ballangen, målt som ALA-D aktivitet i blodceller og MT-konsentrasjon i lever, i forhold til fisk fanget i et forventet rent område utenfor Svolvær.
- Norge opererer ikke med konsentrasjonsgrenser for hva som er tilrådelig innhold av metaller i fisk og skaldyr. Det er det Statens næringsmiddeltilsyn som utformer og forvalter regelverket på næringsmiddelområdet og som på basis av et helhetssyn er den rette instans for å avgjør den endelige betydningen av de konsentrasjoner av metaller og arsen som er funnet i blåskjell og fisk i Ballangsfjorden.
- FNs ekspertgruppe for tilsetningsstoffer og kontaminanter (JECFA) opererer med grenseverdier for tolerabelt livslangt ukentlig inntak (PTWI) for Pb, Cd, Hg, As (definert som forbindelser som har akkumulerende egenskaper) og med tolerabelt daglig inntak (PMTDI) for Cu (metall som ikke i samme grad har akkumulerende egenskaper).
- For å illustrere betydningen for spiselighet av de observerte konsentrasjoner i skjell og fisk har en på basis av maksimale middelverdier for konsentrasjon beregnet hvor mye en person på 60 kg kan konsumere før anbefalt PTWI/PMTDI nås. Når det gjelder bly og kadmium i fiskefilet kan en spise minst 150 kg pr. uke før PTWI nås. Tilsvarende verdier for torskelever og blåskjell ligger på mer enn 2.3 kg pr. uke.

- Tilsvarende beregninger gjort på bakgrunn av konsentrasjonen av kvikksølv og arsen gir et minste konsum på i området 1.2-25 og 0.7-12.2 kg pr før PTWI oppnås.
- Kvikksølvinnholdet i sandflyndre og arsen innholdet i filet av rødspette og (begge fra ytre område) er de forbindelser/vev som tillater lavest konsum før PTWI oppnås. "Tillatt" konsum basert på konsentrasjonen av arsen i rødspette er imidlertid sannsynligvis underestimert og ligger antageligvis nærmere 7 kg.

5. Referanser

- Berge, J.A., Helland, A., Velvin, R., og Mikkola, F. 1998. Resipientundersøkelser i Ballangfjorden 1997. Vannkvalitet, bunnsedimenter, bløtbunnsfauna og metaller i tang. NIVA-rapport nr. 3784, 80s.
- Dignam J.D. 1990. Preparation of Extracts from Higher Eukaryotes. I: Methods in Enzymology. Vol 182. M.P. Deutscher (Ed) Academic Press Inc. San Diego, New York, Berkley, Boston, London, Sydney, Tokyo, Toronto.
- Helland, A. og Rygg, B. 1991. Måleprogram i Ballangfjorden. Vannkvalitet, bunnsedimenter, bløtbunnsfauna og metaller i tang. NIVA-rapport nr. 2523, 72s.
- Helland, A. 1992. Resipientundersøkelser i Ballangfjorden 1991. Vannkvalitet og metaller i tang. NIVA-rapport nr. 2774, 51s.
- Iversen, E., Kjærstad, E., Lindgren, K. og Rasmussen, S. 1990. Nikkel Olivin A/S. Konsekvensanalyse for mineralbryting ved Bruvannsfeltet, Ballangen. NIVA-rapport nr. 2433, 64s.
- Iversen, E., 1993. Nikkel og Olivin A.S Kontrollundersøkelser 1992. NIVA-rapport nr. 89070, 12s.
- Julshamn, K., Haugsnes, J.og Måge, A., 1988. Arseninnholdet i marine næringsmidlar. Er det eit næringsmiddelhygienisk problem? Fiskets gang 25/26, 9-10.
- Knutzen, J. og Skei, J. 1990. Kvalitetskriterier for miljøgifter i vann, sedimenter og organismer, samt foreløpige forslag til klassifikasjon av miljøkvalitet. NIVA-rapport nr. 2540, 239s.
- Lowry, O.H., Rosebrough, N.J., Farr, A.L., og Randall,R.J. 1951, Protein Measurement with the Folin Phenol Reagent, Journal of Biological Chemistry, Vol 193 s: 265-275
- Lowry, O.H., Rosebrough, N.J., Farr, A.L., og Randall,R.J. 1951, Protein Measurement with the Folin Phenol Reagent, Journal of Biological Chemistry, Vol 193 s: 265-275
- Molvær, J. & J. Knutzen, J. Magnusson, B. Rygg, J. Skei, J.Sørensen. 1997. Klassifisering av miljøkvalitet i fjorder og kystfarvann. Veiledning 97:03. *Statens forurensningstilsyn*. ISBN-nummer 82-7655-367-2. 36s.

Nakagawa H., Tsutomu S., Hiroktsu K., 1994, Method not requiring mercury chloride for the determination of activity of 5-aminolevulinic acid dehydratase in blood of carp *Cyprinus carpio*. *Fisheries Science* Vol 61,1, s: 97-99.

Nøland, S.-A. og Beck, P.Å. 1994. Resipientundersøkelser i Ballangfjorden, Teknisk Rapport nr. 94-3231 fra Det Norske Veritas Industry CD, 24s.

Olafson, R.W. and Olsson, P.-E. 1991. Electrochemical detection of metallothionein. I: *Metallobiochemistry. Part B: metallothionein and related molecules*. Riordan, J.F. and Vallee, B.L. (eds), *Methods in Enzymology*. Abelson, J.N. and Simon, M.I.(series eds), Academic Press, London, Vol. 205, s:205-213.

Peterson, G.L. 1979, Review of the Folin Phe3nol Protein Quantitation Method of Lowry, Rosebrough, Farr and Randall. *Analytical Biochemistry*. Vol 100 s.1201-220.

WHO, 1987. Principles for the safety assessment of food additives and contaminants in food. WHO Environmental Health Criteria, No. 70. Geneva, World Health Organization, 1987 (E).

Vedlegg A. Lengde og vekt av Torsk

Art: Torsk			
Lokalitet: Ytre			
	Fisk nr	Lengde (cm)	Vekt (g)
Prøve 1	1	88	9100
Prøve 1	2	45	628
Prøve 1	3	49	670
Prøve 1	4	35	378
Prøve 1	5	38	439
Prøve 2	6	56	1380
Prøve 2	7	21	69
Prøve 2	8	38	482
Prøve 2	9	30	224
Prøve 2	10	43	672
Prøve 3	11	37	473
Prøve 3	12	38	578
Prøve 3	13	46	930
Prøve 3	14	52	1360
Prøve 3	15	54	1420
Middelverdi	Prøve 1	51	2243
Middelverdi	Prøve 2	37,6	565,4
Middelverdi	Prøve 3	45,4	952,2

Art: Torsk			
Lokalitet: Indre			
	Fisk nr	Lengde (cm)	Vekt (g)
Prøve 1	1	87	7200
Prøve 1	2	60	1900
Prøve 1	3	67	2600
Prøve 1	4	62	2200
Prøve 1	5	44	790
Prøve 2	6	51	1130
Prøve 2	7	33	322
Prøve 2	8	66	2490
Prøve 2	9	33	340
Prøve 2	10	54	1532
Prøve 3	11	34	328
Prøve 3	12	42	570
Prøve 3	13	50	987
Prøve 3	14	52	1214
Prøve 3	15	60	1712
	Prøve 1	64	2938
	Prøve 2	47,4	1162,8
	Prøve 3	47,6	962,2

Vedlegg B. Lengde og vekt av Sandflyndre

Art: Sandflyndre			
Lokalitet: Ytre			
	Fisk nr	Lengde (cm)	Vekt (g)
Prøve 1	1	32	307
Prøve 1	2	31	310
Prøve 1	3	32	265
Prøve 1	4	30	240
Prøve 1	5	30	274
Prøve 1	6	34	467
Prøve 1	7	31	268
Prøve 1	8	30	245
Prøve 1	9	31	316
Prøve 1	10	31	290
Prøve 1	11	31	301
Prøve 1	12	31	291
Prøve 1	13	30	222
Prøve 1	14	31	325
Prøve 1	15	37	497
Middelverdi	Fisk nr 1-15	31,5	307,9

Art: Sandflyndre			
Lokalitet: Indre			
	Fisk nr	Lengde (cm)	Vekt (g)
Prøve 1	1	29	232
Prøve 1	2	34	423
Prøve 1	3	34	348
Prøve 1	4	29	267
Prøve 1	5	32	298
Prøve 1	6	32	304
Prøve 1	7	34	369
Prøve 1	8	30	261
Prøve 1	9	33	358
Prøve 1	10	34	303
Prøve 1	11	30	304
Prøve 1	12	32	256
Prøve 1	13	32	354
Prøve 1	14	36	420
Prøve 1	15	32	327
Prøve 1	16	34	359
Prøve 1	17	32	262
Prøve 1	18	32	267
Prøve 1	19	29	243
Prøve 1	20	29	270
Middelverdi	Fisk nr 1-20	31,0	311

Vedlegg C. Lengde og vekt av Rødspette

Art:Rødspette			
Lokalitet:Ytre			
	Fisk nr	Lengde (cm)	Vekt (g)
Prøve 1	1	42	1042
Prøve 1	2	42	836
Prøve 1	3	40	698
Prøve 1	4	37	723
Prøve 1	5	53	2055
Prøve 2	6	38	732
Prøve 2	7	36	619
Prøve 2	8	41	802
Prøve 2	9	41	924
Prøve 2	10	42	923
Prøve 3	11	42	1174
Prøve 3	12	44	1054
Prøve 3	13	44	956
Prøve 3	14	51	2341
Middelverdi	Prøve 1	42,8	1070,8
Middelverdi	Prøve 2	39,6	800
Middelverdi	Prøve 3	45,25	1381,25

Art:Rødspette			
Lokalitet:Indre			
	Fisk nr	Lengde (cm)	Vekt (g)
Prøve 1	1	45	1201
Prøve 1	2	45	1285
Prøve 1	3	38	656
Prøve 1	4	44	1130
Prøve 1	5	50	1521
Prøve 2	6	37	609
Prøve 2	7	38	612
Prøve 2	8	37	619
Prøve 2	9	42	859
Prøve 2	10	44	1137
Prøve 3	11	40	718
Prøve 3	12	43	1210
Prøve 3	13	52	2022
Prøve 3	14	54	2214
Middelverdi	Prøve 1	44,4	1158,6
Middelverdi	Prøve 2	39,6	767,2
Middelverdi	Prøve 3	47,25	1541

Vedlegg D. Rådata for isotopanalyser av bly

Forholdet mellom mengden av de ulike isotoper i avgang, sediment, blåskjell og torskelever fra Ballangen området.

Prøvetype	Lokalitet	Isotopforhold					
		206/204	207/204	208/204	207/206	206/207	208/206
Avgang	Bjørkåsen gruver	18,208	15,549	37,867	0,8540	1,1710	2,0797
Avgang	Nikkel og Olivin A/S	18,281	15,529	37,869	0,8495	1,1772	2,0715
Sediment fra fjæra		18,232	15,556	37,883	0,8532	1,1720	2,0778
Blåskjell	BI	18,457	15,614	38,245	0,8460	1,1821	2,0721
Blåskjell	BI	18,424	15,595	38,178	0,8463	1,1816	2,0721
Blåskjell	BY	18,900	15,641	38,632	0,8276	1,2084	2,0440
Blåskjell	BY	18,946	15,641	38,663	0,8256	1,2112	2,0407
Torskelever	FI	18,171	15,552	37,898	0,8559	1,1684	2,0857
Torskelever	FY	18,196	15,581	37,978	0,8563	1,1679	2,0871

Vedlegg E. Rådata for metallotioninanalyser

art	lokalitet	µgMT/mg protein	cv
torsk	FI	16.4	0.416
torsk	FI	11.2	2.417
torsk	FI	18.8	0.202
torsk	FI	4.1	0.914
torsk	FI	23.6	0.189
torsk	FI	16.9	1.387
torsk	FI	8.4	2.856
torsk	FI	16.0	0.594
torsk	FI	10.4	2.229
torsk	FY	24.5	2.511
torsk	FY	5.3	1.654
torsk	FY	9.8	0.36
torsk	FY	8.6	0.293
torsk	FY	14.5	0.662
torsk	Svolvær	14.5	3.518
torsk	Svolvær	6.3	0.427
torsk	Svolvær	13.2	4.485
torsk	Svolvær	7.9	
torsk	Svolvær	6.7	
torsk	Svolvær	5.9	
torsk	Svolvær	6.3	
torsk	Svolvær	15.9	1.902
rødspette	FY	16.4	0.918
rødspette	FY	6.6	2.383
rødspette	FY	17.4	0.319
rødspette	FY	13.3	0.901
rødspette	FY	7.6	1.612
rødspette	FY	25.2	0.285
rødspette	FY	7.1	9.435
rødspette	Svolvær	10.6	0.288
rødspette	Svolvær	13.4	0.086
rødspette	Svolvær	4.4	
rødspette	Svolvær	12.8	0.541
rødspette	Svolvær	9.3	0.04
rødspette	Svolvær	5.2	
rødspette	Svolvær	13.6	0.907

Vedlegg F. Rådata for ALA-D analyser

art	lokalitet	ng PBG/min/mg prot	CV
torsk	FI	13.4	5.309
torsk	FI	11.7	9.189
torsk	FI	20.1	9.067
torsk	FI	15.9	8.136
torsk	FI	4.1	4.96
torsk	FI	10.5	5.979
torsk	FI	13.9	7.498
torsk	FI	19.5	5.849
torsk	FI	6.7	11.57
torsk	FY	19.2	12.39
torsk	FY	12.6	7.483
torsk	FY	11.8	4.603
torsk	FY	14.5	5.178
torsk	FY	19.4	4.264
torsk	Svolvær	11.9	4.532
torsk	Svolvær	15.6	2.252
torsk	Svolvær	17.5	8.206
torsk	Svolvær	20.6	4.617
torsk	Svolvær	12.0	4.597
torsk	Svolvær	19.1	5.755
torsk	Svolvær	13.8	2.731
torsk	Svolvær	22.8	2.929
torsk	Svolvær	13.2	5.357
rødspette	FY	6.8	5.088
rødspette	FY	6.5	8.422
rødspette	FY	28.4	5.134
rødspette	FY	10.8	5.139
rødspette	FY	5.9	2.094
rødspette	FY	12.5	2.874
rødspette	FY	9.5	8.869
rødspette	Svolvær	20.8	5.991
rødspette	Svolvær	17.0	4.69
rødspette	Svolvær	13.8	5.387
rødspette	Svolvær	10.4	6.023
rødspette	Svolvær	11.6	1.892