

LLI

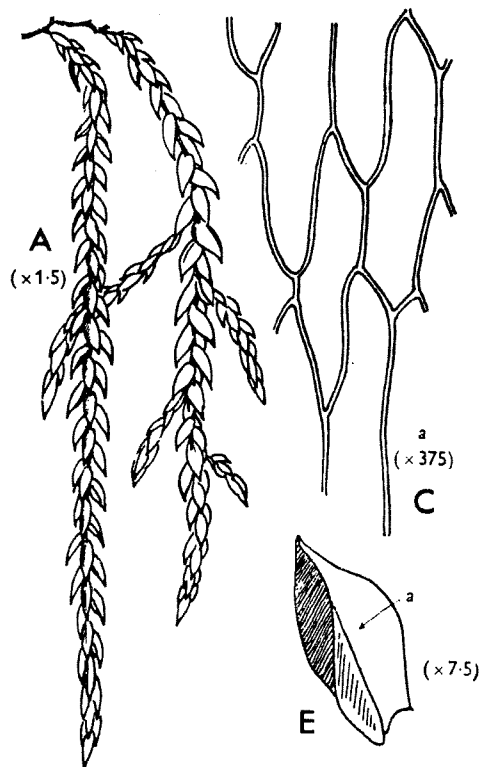
02-1683

O – 8007602

XB – 23

O – 83466

Moser



som
metall-
indikatorer
i noen
norske
ferskvanns-
forekomster

Norsk institutt for vannforskning



NIVA

NIVA - RAPPORT

Norsk institutt for vannforskning  NIVA
Norges Teknisk-Naturvitenskapelige Forskningsråd

Hovedkontor
Postadresse:
Postboks 333
0314 Oslo 3
Brekkeveien 19
Telefon (02)23 52 80

Sørlandsavdelingen
Postadresse:
Grooseveien 36
4890 Grimstad
Telefon (041)43 033

Østlandsavdelingen
Postadresse:
Rute 866, 2312 Ottestad
Postgiro: 4 07 73 68
Telefon (065)76 752

Rapportnummer: 0-80076-02
Undernummer:
Løpenummer: 1683
Begrenset distribusjon:

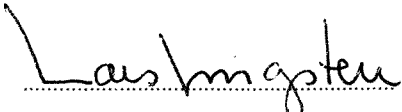
Rapportens tittel: Moser som metallindikatorer i noen norske vannforekomster.	Dato: 11.10. 1984
Forfatter (e): Lars Lingsten	Prosjektnummer: 0-800076-02 XB23, 0-83466
	Faggruppe: HYDROØKOLOGI
	Geografisk område: Generelt
	Antall sider (inkl. bilag): 37


Oppdragsgiver: Statens Forurensningstilsyn Norsk institutt for vannforskning	Oppdragsg. ref. (evt. NTFN-nr.):
--	----------------------------------

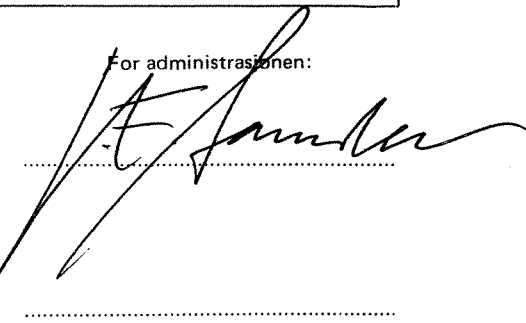
Ekstrakt: I ferskvannforekomster har man dels benyttet fastsittende trådformede alger, dels moser som integrerende mål for belastning med metaller. Dette arbeid ble konsentrert om moseslekten *Fontinalis*. Hensikten med foreliggende studie har vært innkjøring av metodikken og dessuten å vise dens anvendelighet på enkelte situasjoner og forurensningstilfeller som er typiske for norske forhold. Rapporten beskriver resultater fra flere områder med forskjellig naturlig vannkvalitet som er belastet med gruveavrenning, industriutslipp, luftforurensning og diffuse tilførsler. Det gis et forslag til metodikk for prøvetaking, preparering og analysering av tungmetaller i moser.

4 emneord, norske:
1. Metallindikator
2. Moser
3. Tungmetaller
4. Metodikk

4 emneord, engelske:
1. Heavy metals indicators
2. Bryophytes
3. Heavy metals
4. Methods

Prosjektleder:


Divisjonssjef:


For administrasjonen:


ISBN 82-577-0861:5

XB - 23
0-8007602
0-83466

MOSER SOM METALLINDIKATORER I NOEN NORSKE FERSKVANNSFOREKOMSTER

15. oktober 1984

Saksbehandler: Lars Lingsten

Medarbeider : Kai Sørensen

For administrasjonen: John Erik Samdal
Lars N. Overrein

SAMMENDRAG

I ferskvannsføremål har man dels benyttet fastsittende, trådformede alger, dels moser som integrerende mål for belastning med metaller.

Av faglige og økonomiske grunner ble arbeidet konsentrert om en mose-slekt, *Fontinalis*. Mesteparten av analysematerialet kommer fra *Fontinalis* som ble utplassert (transplantert) på aktuelle lokaliteter.

Hensikten med det foreliggende studie har vært innkjøring av metodikken og dessuten å vise dens anvendelighet på enkelte situasjoner og forurensningstilfeller som er typiske for norske forhold.

Rapporten beskriver resultater fra flere områder med forskjellig naturlig vannkvalitet som er belastet med gruveavrenning, industriutslipp, luftforurensning og diffuse tilførsler.

I det foreliggende arbeid er det for alle prøveområders vedkommende dokumentert at observasjoner av metallinnhold i moser er anvendelig for:

- å oppdage metallforurensning
- å spore en kildes influensområde

Det er også kommet frem eksempler på at metallpåvirkning som ikke har vært påvist gjennom vannanalyser er sannsynliggjort ved moseobservasjonene. Både erfaringer fra påvirkede områder og data fra referanselokaliteter er i godt samsvar med det som er funnet ved undersøkelser i utlandet, f.eks. Bengtsson og Lithner, 1981, Say og Whitton, 1983 og Wehr og Whitton, 1983a.

Denne rapporten bør bli betraktet som resultatet av et innledende arbeid for bl.a. å innføre rutinemetoder for overvåking av tungmetallbelastning av elver. Selv om det gjenstår en god del arbeid for bl.a. bedre å definere bakgrunnsnivåer i moser og klargjøre vannkvalitetens påvirkning av forholdet mellom tungmetallkonsentrasjonen i mosen og i vannet, er det grunnlag for å gi et forslag til en metode for å måle tungmetallbelastning av elver.

I appendiks gis et forslag til metodikk for prøvetaking, preparering og analysing av tungmetaller i moser.

INNHOLD

	Side
SAMMENDRAG	1
1. FORORD	3
2. INNLEDNING	4
2.1. Bakgrunn og formål	4
2.2. Krav til metallindikatorer	5
2.3. Tidligere undersøkelser av bakgrunnskonsentrasjoner, oppkonsentreringsgrad hos elvemose <i>Fontinalis</i>	7
3. UNDERSØKELSESONMRÅDER, MATERIALE OG METODER	9
3.1. Undersøkelsesområder, stasjonsplassering og eksponeringstid	9
3.1.1. Folla	9
3.1.2. Åsterudtjern (Ringerike) og Grua (Hadeland)	9
3.1.3. Akerselva og Glåma	11
3.2. Materiale og metoder	11
4. RESULTATER OG KOMMENTARER	12
4.1. Innledende undersøkelser i Folla 1977	12
4.2. Undersøkelser i Åsterudtjern (Ringerike) og avrenningsbekker fra dremsvann fra gamle gruver på Grua (Hadeland)	14
4.3. Utsettingsforsøk i Akerselva	20
4.4. Utsettingsforsøk i Glåma	23
5. SAMMENFATTENDE DISKUSJON OG FORSLAG TIL VIDERE ARBEID	27
6. REFERANSER	29
Vedlegg	31
Appendiks	34

1. FORORD

Prosjektet "Alger og moser som metallindikatorer i norske ferskvannsforkomster" ble startet opp av NIVA med en liten undersøkelse i Folla i 1977. I perioden 1980-82 var prosjektet finansiert av Statens forurensningstilsyn og NIVA.

Av faglige og økonomiske grunner ble arbeidet konsentrert om en moseslekt, *Fontinalis*. Hovedparten av analysematerialiet kommer fra *Fontinalis* som ble utplassert (transplantert) på aktuelle lokaliteter. Alger og andre moseslekter ble kun brukt som bioindikator på metallforurensning i de innledende undersøkelsene i Folla. Hvis man vil bruke stedeagne moser, er det viktig at man har kjennskap til flere arters naturlige metallkonsentrasjoner og egenskaper til å oppkonsentrere metaller. Derfor bør man på lengre sikt utvide undersøkelsene til å omfatte andre moseslekter og eventuelt alger.

Denne rapporten bør bli betraktet som resultatet av et innledende arbeid for bl.a. å innføre rutinemetode for overvåking av tungmetallbelastning av elver. Selv om det gjenstår en god del arbeid for bl.a. bedre å definere bakgrunnsnivåer i moser og klargjøre vannkvalitetens påvirkning av forholdet mellom tungmetallkonsentrasjonen i mosen og i vannet, er det grunnlag for å gi et forslag til en metode for å måle tungmetallbelastning av elver f.eks. i forbindelse med overvåking av vassdrag.

Det er mange personer ved NIVA som har vært hjelpelige under undersøkelsens gang og med bearbeidelsen av datamaterialet samt med skrivingen av rapporten. Blant disse vil jeg takke divisjonssjefene Hans Holtan, Rolf Tore Arnesen og Jon Knutzen. En spesiell takk til ingeniør Kai Sørensen som har hatt ansvaret for utarbeidelsen av preparerings- og analysemetodikken og cand.real. Karl Jan Aanes som samlet inn prøvene fra Folla.

Til slutt vil jeg takke Statens forurensningstilsyn som har gjort det mulig å videreføre dette prosjektet.

Oslo, 15. oktober 1984

Lars Lingsten

2. INNLEDNING

2.1 Bakgrunn og formål

I ferskvannsförekomster har man dels benyttet fastsittende, trådformede alger, dels moser som integrerende mål for belastning med metaller. For nærmere redegjørelse og litteraturreferanser vises til Whitton (1978) og Bengtsson og Lithner (1981), Say og Whitton (1983), Wher og Whitton (1983a,b).

De algene som mest har vært benyttet omfatter representanter for rødalgeslekten *Lemanea* og grønnalgeslekten *Cladophora* og *Spirogyra*. De to førstnevnte er ikke blant de mest vanlige i norske vassdrag og for alle slektene gjelder det at artssystematikken er vanskelig. Det er bl.a. på denne bakgrunn at det for Norges vedkommende vurderes som mest aktuelt å bruke moser som metallindikatorer.

Konsentrasjonene av metaller i norske ferskvannsförekomster er i stor grad ukjente. Dette gjelder særlig de metallformene som er tilgjengelige for opptak, mest aktive i relasjon til giftvirkninger, og som er utgangspunkt for eventuell akkumulering i næringskjeder.

Norge har en rekke gruveutløp som det kan bli aktuelt å overvåke med moser som metallindikator.

Et annet aspekt gjelder utviklingen med hensyn til diffuse belastninger med tungmetaller via atmosfærisk nedfall. En oversikt over denne type påvirkning kan vanskelig fås uten ved bruk av metallindikatorer. Alternativt må det gjøres svært omfattende registreringer og med hyppige analyser av mange vannprøver. Sistnevnte vil imidlertid heller ikke gi helt den samme type informasjon, fordi man i varierende grad får med tilstandsformer som ikke er tilgjengelige for organismene.

Observasjon av metallinnholdet i ferskvannsmoser vil følgelig ha flere viktige formål som hittil er utilstrekkelig dekket innen norsk vannressursforvaltning:

- Registrering av eksisterende bakgrunnsnivåer.
- Følge eventuell snikforurensning ved diffus belastning.
- Overvåking av ulike typer gruveavrenning og industriutslipp. herunder gi rask beskjed om effekter av tiltak.

Bruk av moser for slike formål er allerede vidt utbredt, og i andre land er det til dels utført omfattende registreringer, Bengtsson og Lithner (1981), Say og Whitton (1983), Wher og Whitton (1983a).

Hensikten med den foreliggende studie har vært innkjøring av metodikken og dessuten å vise dens anvendelighet på enkelte situasjoner og forurensnings-tilfeller som er typiske for norske forhold.

2.2 Krav til metallindikatorer

Hvilke egenskaper bør en metallindikator ha foruten at den skal oppkonsentrere tungmetaller? Først må et antall forutsetninger blir oppfylt (etter Bengtsson og Lithner (1981) og delvis etter Philips (1977)).

- Den skal være stasjonær (helst bentisk) og vanlig forekommende (helst hele året).
- Den skal ta opp tungmetaller uten selv å dø og uten at egenskaper som å ta opp metaller går tapt.
- Den skal kunne omflyttes/transplanteres.
- Den skal gi tilstrekkelig mengde for analyse. Metodikken ved forbehandling og analyse bør kunne standardiseres og bør være enkel.
- Det bør foreligge en enkel sammenheng mellom metallkonsentrasjoner i organismen og middelkonsentrasjonen i vann, og denne sammenheng bør variere minst mulig i tid og rom.

Det siste kravet kan bare oppfylles i varierende grad, fordi opptaket bl.a. er avhengig av metallenes tilstandsform som igjen beror på faktorer som pH og øvrige vannkjemiske karakterer. Det som kan og bør kreves av en metallindikator er at akkumulerings- og utskillelsegenskapene ved for-

skjellige fysisk-kjemiske forhold er rimelig godt kjent. Slike kunnskaper er nødvendige for jevnførbarhet mellom resultater, og i alle fall for lave belastningsgrader.

Mosene tilfredsstiller mange av kravene til metallindikator. De er i særlig grad fordelaktige jevnført med alger med hensyn til at de er lettere å identifisere og transplantere. Mosene har vid utbredelse, forekommer over nokså vidt spekter (fra lavland til fjell) og de er flerårige planter med grønne deler året rundt.

En del egnede arter er lett kjennelige i felt, særlig representanter av slektene *Fontinalis*, *Hygrohypnum* og *Sphagnum*. I praksis er det *Fontinalis* som peker seg ut.

Slekten *Fontinalis* har en vanlig forekommende art i Norge; vanlig elvemose (*F. antiphyretica*) (figur 2). Slank elvemose (*F. dalecarlica*) er mer sjelden enn vanlig elvemose (Lye 1968).

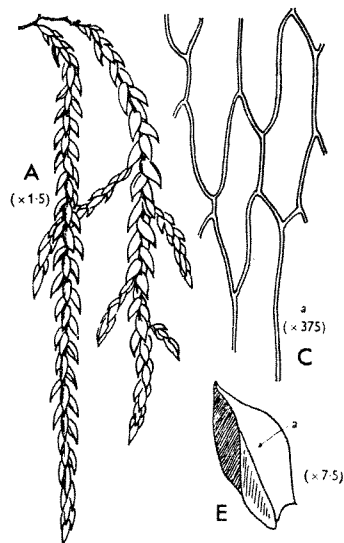


Fig. 1. Vanlig elvemose, *Fontinalis antiphyretica* (etter Lye 1968). Elvemosen danner opptil 70 cm lange stengler som er sparsomt forgrenet (A), bladceller (C) og blad (E). (Etter Lye 1968.)

2.3 Tidligere undersøkelse av bakgrunnskonsentrasjoner, oppkonsentreringsgrad hos elvemose *Fontinalis*

Bakgrunnskonsentrasjoner for metaller i *Fontinalis* er presentert i Bengtsson & Lithner (1981). For kobber og sink er dataene relativt godt underbygget, mens for de øvrige metaller er det noe mer usikkert. Kobberkonsentrasjonene ligger mellom 15-25 µg/g tørrstoff, mens variasjonen for sink er større, nemlig 75-250 µg/g tørrstoff. De høyere konsentrasjonene er målt i elver med høyt humusinnhold. For øvrige metaller blir følgende konsentrasjoner presentert: Fe: 2000-20000, Cd: 0,1-0,5, Ni: 5, Pb: 5-10, Cr: 1-5, Hg: 0,02-0.05 µg/g tørrstoff.

For å vise hvordan konsentrasjonen i *Fontinalis* varierer med konsentrasjonen i vann, har Bengtsson & Lithner (1981) bearbeidet data både fra laboratorieforsøk og fra felt. I figur 2 er konsentrasjonen i de øverste 3-5 cm (toppskuddet) plottet mot totalkonsentrasjonen av metaller i vann på logaritmiske skalaer. Som det fremgår av figuren foreligger det stort sett direkte proporsjonalitet mellom konsentrasjonen i mosen og konsentrasjonen i vannet innenfor intervallet 0,05-100 µg/l og ved en pH-verdi rundt nøytralpunktet. Ved konsentrasjoner over 100 µg/l i vannet minker oppkonsentrasjonen i mosen. Tilsvarende er vist av Harding & Whitton (1981) hos rødalgen *Lemanea* for sink, bly og kadmium. Størrelsen av mosenes oppkonsentrering av metaller er $1-6 \times 10^4$ i intervallet 0,05-100 µg/l i vannet (Bengtsson & Lithner, 1981). Ved høyere konsentrasjoner minker oppkonsentrering til en faktor $10^3 - 10^4$.

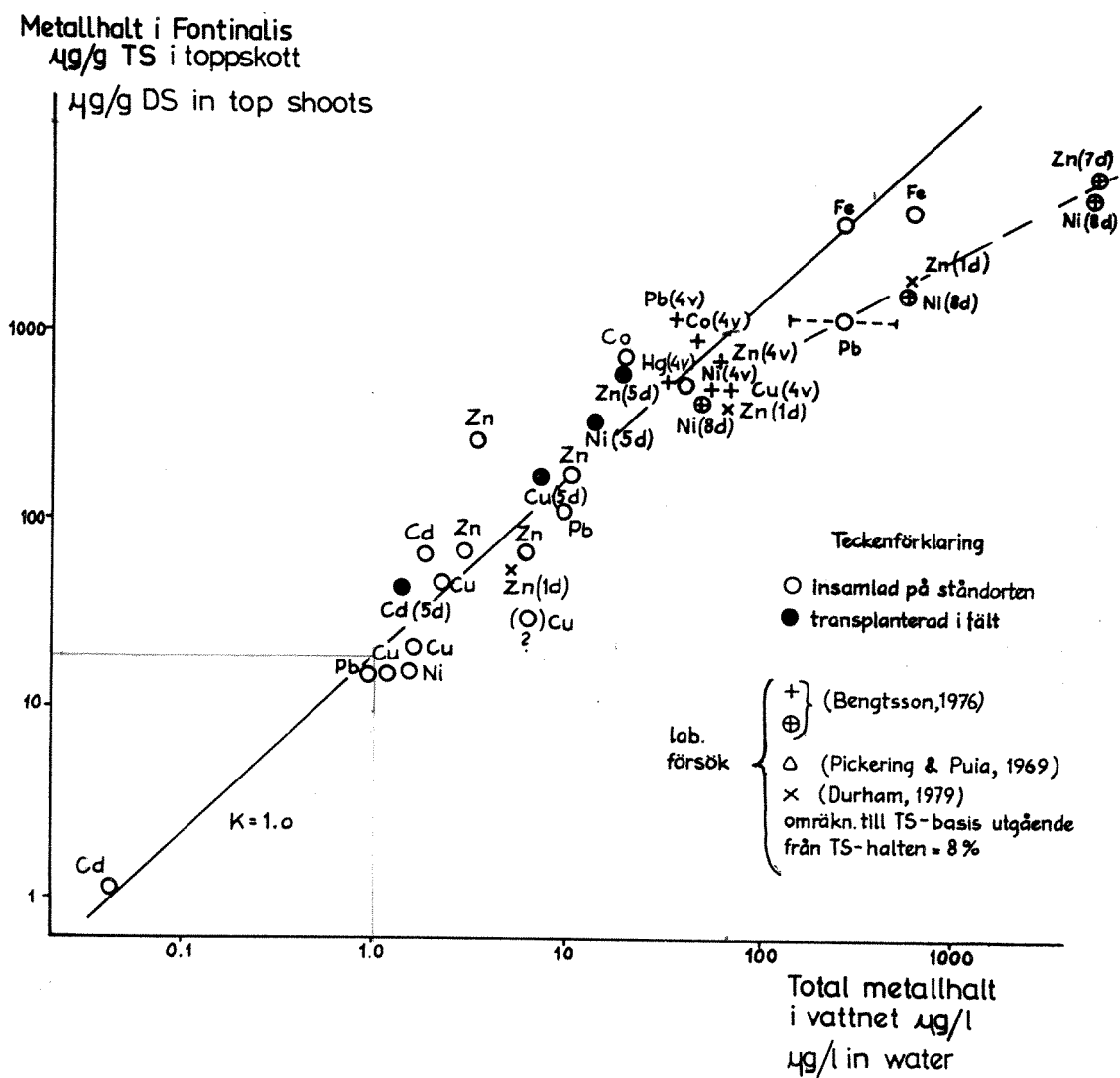


Fig. 2. Metallinnehåll i *Fontinalis* mot totalmetallinnehåll i vattnet (vid pH runt 7). (Fra Bengtsson og Lithner, 1981.)

3. UNDERSØKELSESONMRÅDER, MATERIALE OG METODER

3.1 Undersøkellesområder, stasjonsplassering og eksponeringstid

3.1.1 Folla

Folla pekte seg ut som en egnet lokalitet for en innledende undersøkelse, idet NIVA i flere år har drevet undersøkelser i dette vassdraget (Arnesen 1969). Det fantes allerede et ferdig undersøkelsesopplegg med stasjonsplassering, vannkjemiske data m.m.

I nedbørfeltet til Folla, som er Glåmas tredje største sidevassdrag, har det fra gammel tid vært gruvevirksomhet i dalføret. Folla blir nå påvirket av gruvevirksomhet i hovedsak fra to steder. Gruven ved Tverrfjellet benytter en deponeringsdam ved Hjerkin. Avløpet fra dammen blir ført ut i Strypbekken som renner ut i Folla (figur 3). Fra den nedlagte Folla hovedgruve kommer dreinsvann fra gruver, bergvelter og avgangshauger ut i Folla omtrent ved Follidal tettsted.

I august 1977 ble det samlet inn alge- og mosemateriale fra følgende stasjoner (se figur 3):

Fo2 Folla ovenfor Strypbekken, Referansestasjon.

Fo4 Folla ved Gravbekkli bru.

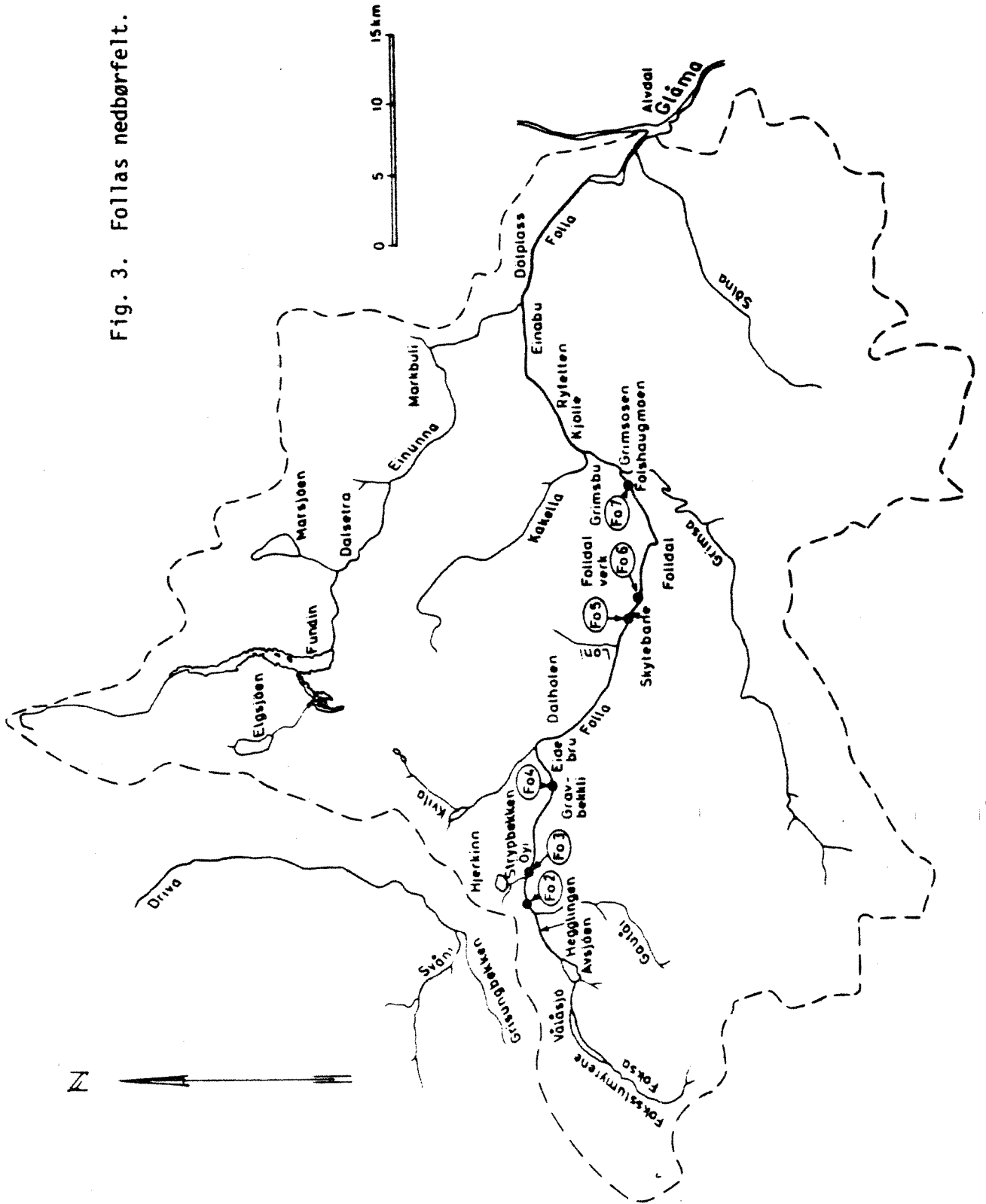
Fo5 Folla oppstrøms Folla sentrum.

Fo7 Folla nedstrøms Folla sentrum.

3.1.2 Asterudtjern (Ringerike) og Grua (Hadeland)

Høsten 1980 og 1981 ble det satt ut *Fontinalis* ved to områder med gruvepåvirkning. Asterudtjern på vestsiden av Tyrifjorden og Grua i Nordmarka. Asterudtjern får tilførsel fra en nedlagt nikkelgruve, mens sinkmalm ble brutt ved Grua. Det har fra gammel tid vært klart at bryting av sulfidiske malmer under visse betingelser fører til vassdragsforuresning. Dreinsvann fra slike områder kan inneholde flere andre metaller, f.eks. kobber, bly, kadmium, jern m.m.

Fig. 3. Follas nedbørfelt.



Stasjonsplasseringen fremgår av figurene 4-8. Mosene var eksponert i 5 uker på begge lokalitetene i 1980, mens de var eksponert i 4 uker i Asterudtjern og 3 uker i Grua høsten 1981.

3.1.3 Akerselva og Glåma

For å se hvordan metoden fungerte i større vassdrag som er påvirket av tungmetaller, ble det satt ut (transplantert) *Fontinalis* i Glåma høsten 1980 og 1981, og i Akerselva høsten 1980.

Omkring Røros har det fra gammel tid vært gruvevirksomhet. De øvre delene av Glåma blir påvirket av dremsvann fra nedlagte gruver, bergvelter og avgangshauger. Stasjonsplassering fremgår av figur 11. Akerselva er påvirket av industriutslipp, luftforurensninger og diffuse tilførsler. Stasjonsplassering fremgår av figurene 9-10.

Mosene i Akerselva ble eksponert i 4 uker, mens mosene i Glåma ble eksponert i 5 uker (1980) og 4 uker (1981).

3.2 Materiale og metoder

I korthet går metoden ut på at man plasserer steiner som er bevekst med *Fontinalis* på lokaliteter hvor man ønsker måle eventuelle påvirkninger av tungmetaller. De mosene som blir brukt må samles inn fra et område med dokumentert lave bakgrunnskonsentrasjoner. Mosene eksponeres minst 2 uker, helst 4 uker. Etter eksponeringstiden klipper man av de øverste 3-5 cm, toppskuddet. Moseprøvene fryses og frysetørres for senere å analyseres i hovedsak som en sedimentprøve. For en mer fyldig redegjørelse vises til appendiks.

4. RESULTATER OG KOMMENTARER

4.1 Innledende undersøkelser i Folla 1977

I august 1977 ble det samlet inn alge- og mosemateriale for analyse av tungmetaller i Folla (figur 3). Prøvene ble dels tørket og dels frosset i felt. Hensikten var å undersøke om det var noen forskjell på tørkede og frosne prøver. Materialet var for heterogent med ulike mosearter på forskjellige steder, og det var vanskelig å få nok prøvemateriale fra algene. Det ble derfor ikke oppnådd noen avklaring med hensyn til konserveringsmåte. Det har senere vist seg mest praktisk og mest faglig forsvarlig å fryse prøvene (se appendiks).

I tabell 1 er analyseresultatene presentert. Kobberinnholdet i mosene ved Fo2 lå på det antatte bakgrunnsnivået (se kap. 2.3), mens ved Fo3 var kobberinnholdet 10-15 ganger høyere (figur 3). Ved Fo4 og Fo5 minker konsentrasjonene hovedsakelig som følge av sedimentering av partikler og fortynning. Etter at dreinsvannet fra Folla Hovedgruve er innblandet i Folla (Fo7), øker kobberinnholdet i mosene til 70-100 ganger sammenlignet med bakgrunnsnivået. Med forbehold om at det antagelig er noe variasjon mellom ulike mosers egenskaper til å oppkonsentrere tungmetaller, kan man se at Folla ble påvirket av vannet fra Hjerkinndammen (Fo3) og Folla Hovedgruve (Fo7).

Hvis mosenes sinkinnhold ved Fo2 lå på bakgrunnsnivået (se kap. 2.3), var sinkinnholdet i mosen 15-20 ganger høyere ved Fo3. Ved Fo4 og Fo5 var det en parallell nedgang i sink- og kobberinnhold. Ved Fo7 er konsentrasjonene 20-40 ganger høyere enn bakgrunnsnivået.

Bortsett fra to verdier (Fo4 - 37,8 ppm og Fo7 - 78 ppm), ligger mosenes blyinnhold innenfor bakgrunnsnivået (5-10 ppm), mens mosenes innhold av kadmium stort sett ligger høyere enn det antatte bakgrunnsnivået (0,1 - 0,5 ppm) (se kap. 2.3). Ut fra det heterogene materialet fra Folla er det vanskelig å vurdere om gruvevirksomheten har medført en økning av konsentrasjonene av bly, mens økningen av kadmium synes å være klar.

Mosenes innhold av jern og mangan ligger innen bakgrunnsnivået ned til og med Fo5, mens det er 2-5 ganger høyere konsentrasjoner ved Fo7. Det er

Tabell 1. Metallkonsentrasjoner i moser og alger, gitt som µg/g(PPM) tørrstoff og metallkonsentrasjoner i vann (mg/l, ufiltr. prøver), Folla, august 1977. Vannkjemiske data etter Arnesen 1978.

Prøvested	Prøvemateriale	Fryst tørket	Kobber PPM	Sink PPM	Bly PPM	Kadmium PPM	Jern PPM	Mangan PPM
Fo2 Folla ovenfor Strypbekken referansestasjon	Blin.acu ¹⁾	T	14	80	4,3	0,51	6800	2600
	" "	F	22	110	12,7	1,95	9900	4000
	Alge	F	15	50	10,3	0,32	9100	1200
	"	F	49	110	17,6	2,11	9000	1300
	Vann, median		0,003	0,005	-	-	0,045	-
	min.		0,001	0,003	-	-	0,030	-
	maks.		0,015	0,005	-	-	0,105	-
Fo3 Folla nedenfor samløp Strypbekken påvirket av deponeringsdam fra Hjerkinngruver	Blin.acu	F	250	1700	8,3	42,2	16300	17900
	Alge	F	78	180	6,3	26,9	1300	200
	Vann		-	-	-	-	-	-
Fo4 Folla ved Gravbekkli bru	Blin.acu	F	150	630	(37,8)	18,8	7000	6900
	Alge	F	42	70	5,5	0,73	2000	300
	Vann, median		0,003	0,010	-	-	0,045	-
	min.		0,001	0,005	-	-	0,025	-
	maks.		0,011	0,030	-	-	0,100	-
Fo5 Folla oppstrøms Folla sentrum stasjon for Fo7.	Blin.acu	F	42	210	10,3	1,3	8300	2400
	Drep.exa ²⁾	T	53	340	11,8	6,3	6900	5000
	" "	T	63	310	11,8	4,9	5900	4100
	Scapania spp.	F	34	290	7,9	2,3	9000	3700
	Alge	F	22	100	6,9	0,79	2100	1600
	Vann, median		0,005	0,010	-	-	0,033	-
	min.		0,001	0,003	-	-	0,030	-
	maks.		0,012	0,020	-	-	0,150	-
Fo7 Folla nedstrøms Folla sentrum. Påvirket av nedlagt gruve, bergvelter og avgangshauger	Hygr.och. ³⁾	T	1450	3750	(78,0)	37,4	45700	26200
	Font. ant. ⁴⁾	F	1071	1870	11,3	8,1	16900	4800
	Vann, median		0,017	0,080	-	-	0,455	-
	min.		0,006	0,060	-	-	0,220	-
	maks.		0,039	0,125	-	-	0,610	-

1) *Blindia acuta*

3) *Hygrohypnum ochraceum*

2) *Drepanocladus exannulatus*

4) *Fontinalis antipyretica*

dårlig samsvar mellom jerninnholdet i vann og mose. Vannets innhold av jern øker ca. 10 ganger, mens mosenes innhold av jern øker kun 2-5 ganger. Dette skyldes antagelig at jern i hovedsak er partikulært bundet, mens en god del av sink og kobber forekommer i løst form.

Som tidligere nevnt var det vanskelig å få nok materiale fra alger å analysere på. Ved Fo7 var det f.eks. ikke mulig å finne noe algemateriale. De analyseresultater som finnes indikerer at mens algematerialet har gitt lave konsentrasjoner ved Fo3, er mosenes innhold høye. Imidlertid er materialet for sparsomt til å trekke noen sikre konklusjoner om dette forhold.

De vannkjemiske resultater (kobber, sink og jern) som er gjengitt i tabell 1, ufiltrerte prøver, stammer fra vassdragsundersøkelsene i 1977 (Arnesen 1978). Fra disse undersøkelsene er det vanskelig å se at Folla er påvirket av kobber fra Hjerkinndammen (Fo4 og Fo5). Derimot har Folla forhøyede kobberkonsentrasjoner etter at drensvannet fra Folla hovedgruve er innblandet i elva (Fo7). For sinks vedkommende hadde vannet i Folla forhøyede konsentrasjoner både nedstrøms Hjerkinndammen og spesielt nedstrøms Folla Hovedgruve. Det ses av sammenligning med data fra vannanalyser at observasjon av mosenes metallinnhold dels kan bringe viktig tilleggsinformasjon, dels kan gi et sannere bilde av en forurensningssituasjon.

En viktig erfaring fra Follaundersøkelsen er at det kan være vanskelig å finne samme mosearten i et undersøkelsesområde. Det er i seg selv intet nytt, men viser at man bør transplantere moser av samme art på prøvestedene. Det kan også være vanskelig å finne tilstrekkelig prøvemateriale av alger. Det er også vist ved undersøkelsene i Folla at det er en sammenheng mellom høyere konsentrasjoner i vannet og i mosene.

4.2 Undersøkelser i Åsterudtjern (Ringerike) og avrenningsbekker fra drensvann fra gamle gruver på Grua (Hadeland)

I figurene 4 til 8 og i tabellene I-III i vedlegget er analyseresultatene presentert.

Det fremgår tydelig at drensvann fra gruvevirksomheten ved Åsterudtjern fører ut store mengder kobber og nikkel i vassdraget. Vannets innhold av

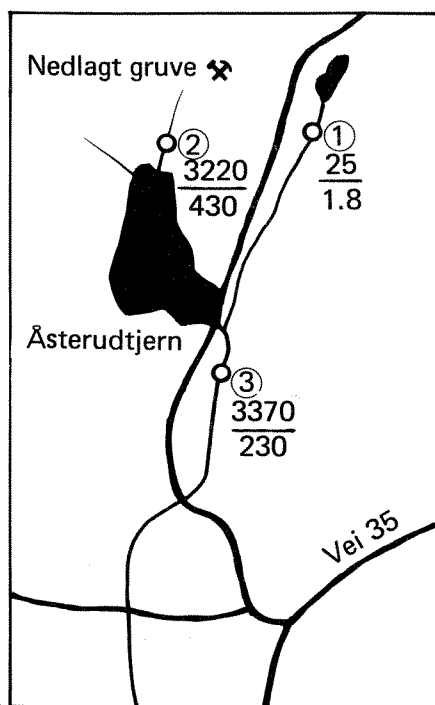
disse metaller er meget høye (figurene 4 og 5). Det er også noe høyere konsentrasjoner enn bakgrunnsnivåene for sink og kadmium (figurene 4 og 5).

Ved Grua er det meget høye konsentrasjoner av sink og kadmium (figurene 4 og 5), mens konsentrasjonene av kobber er lave (figur 4).

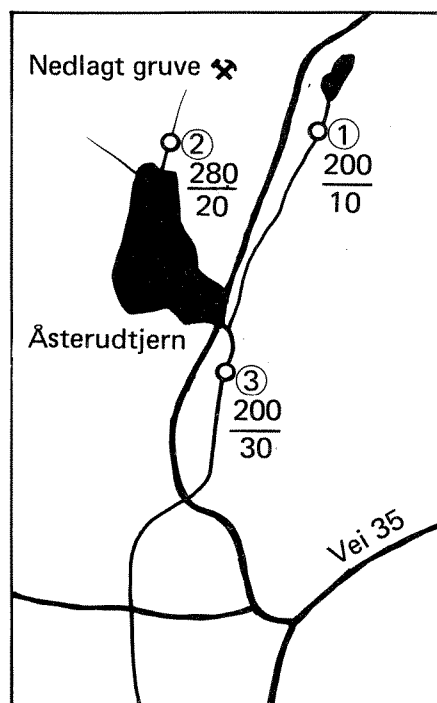
Påfølgende høst (1981) ble *Fontinalis* transplantert på de samme lokaliteter. I tillegg ble *Fontinalis* satt ut lenger ned i vassdraget. Dette for å få et bilde av avstandsgradienter (figurene 6, 7 og 8).

Ved Åsterudtjern var det høye konsentrasjoner av kobber og nikkel, mens det var "normale" konsentrasjoner av sink (figur 6). Det var høye konsentrasjoner nedover vassdraget inntil Henåa fortynnet vannmassene, men både kobber- og nikkelkonsentrasjonene var hele tiden høyere enn bakgrunsnivået.

Det var høye konsentrasjoner av sink og kadmium ved Grua, mens det var lave konsentrasjoner av kobber (figurene 7 og 8). De høye konsentrasjonene av sink og kadmium ble ikke observert lengre ned i vassdraget. Mosenes innhold av kadmium var over bakgrunsnivåene på alle stasjonene. Dette kan tyde på at hele området som har en del malforekomster var påvirket av kadmium.



Kobber $\frac{\text{mose (ppm)}}{\text{vann (ppb)}}$



Sink $\frac{\text{mose (ppm)}}{\text{vann (ppb)}}$

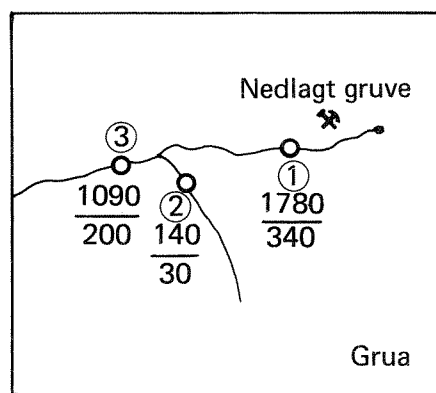
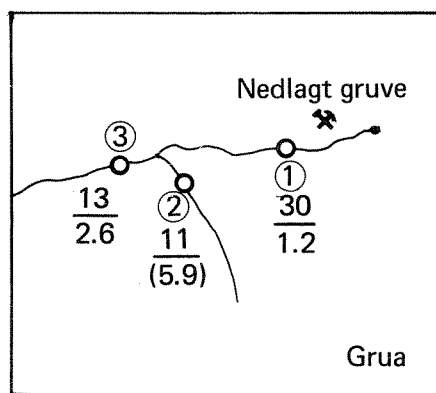
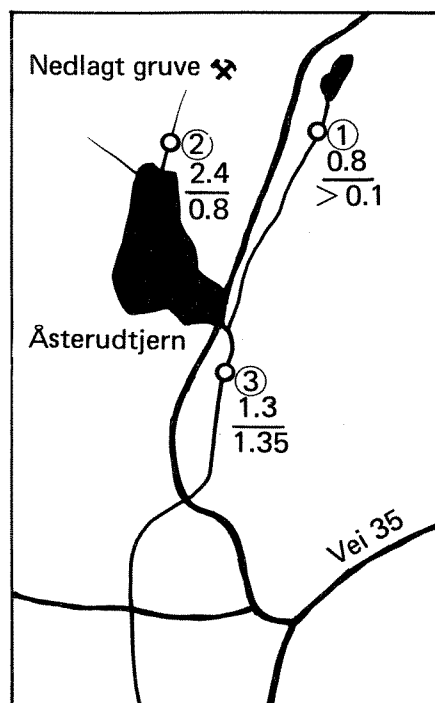
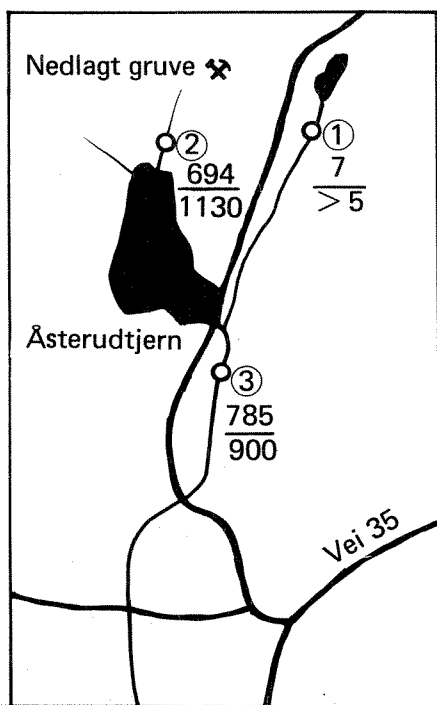


Fig. 4. Konsentrasjon av kobber og sink i *Fontinalis* og i vann, Åsterudtjern (Ringerike) og Grua (Hadeland) 1980. Mosene var eksponert i 5 uker.



Nikkel $\frac{\text{mose (ppm)}}{\text{vann (ppb)}}$

Kadmium $\frac{\text{mose (ppm)}}{\text{vann (ppb)}}$

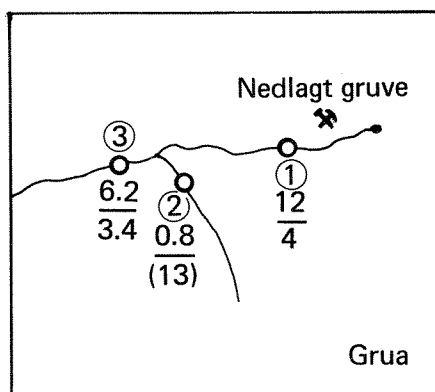


Fig. 5. Konsentrasjon av nikkell og kadmium i *Fontinalis* og i vann, Åsterudtjern (Ringerike) og Grua (Hadeland) 1980. Mosene var eksponert i 5 uker.

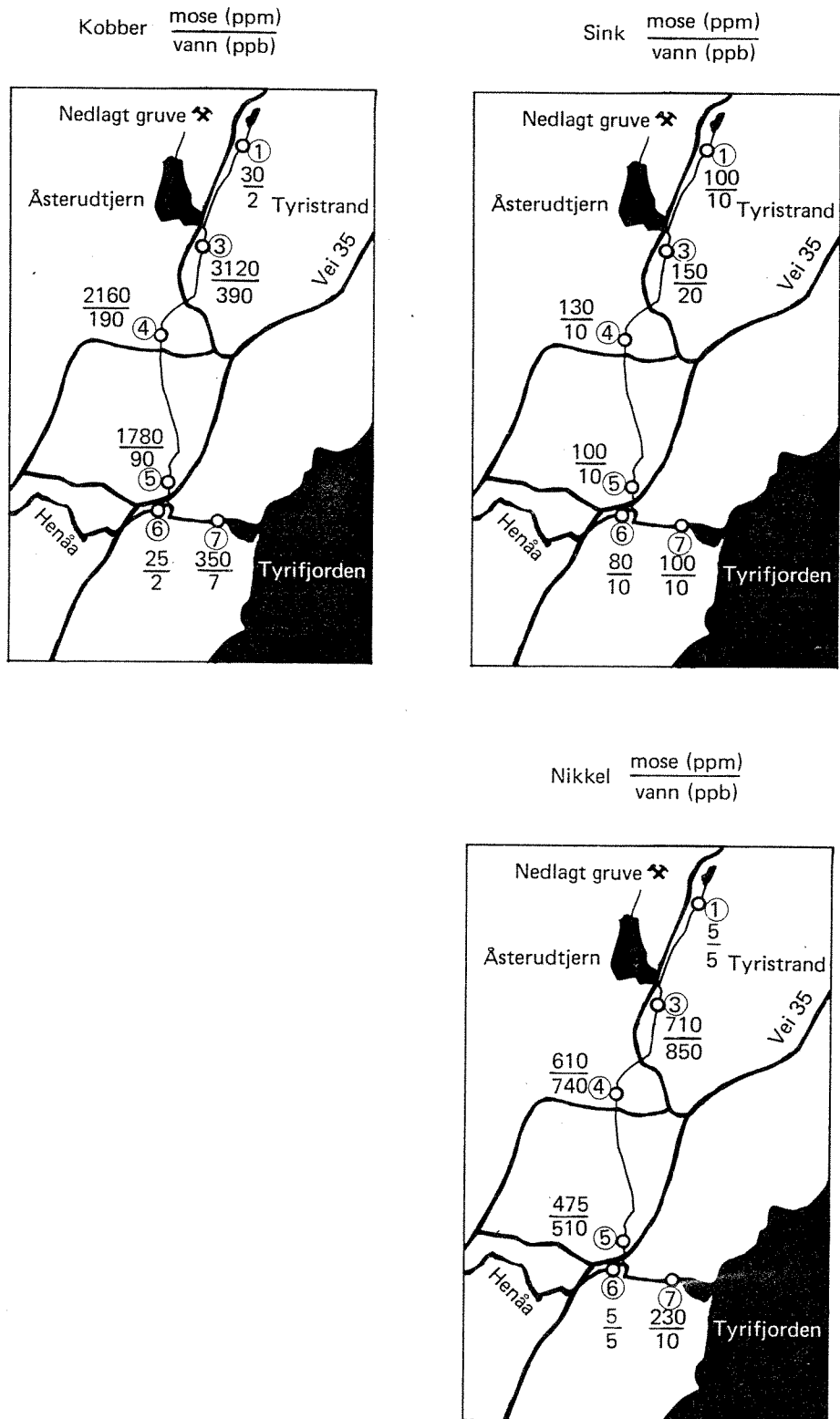


Fig. 6. Konsentrasjoner av kobber, sink og nikkel i *Fontinalis* og i vann, Åsterudtjern (Ringerike) 1981. Mosene var eksponert i 4 uker.

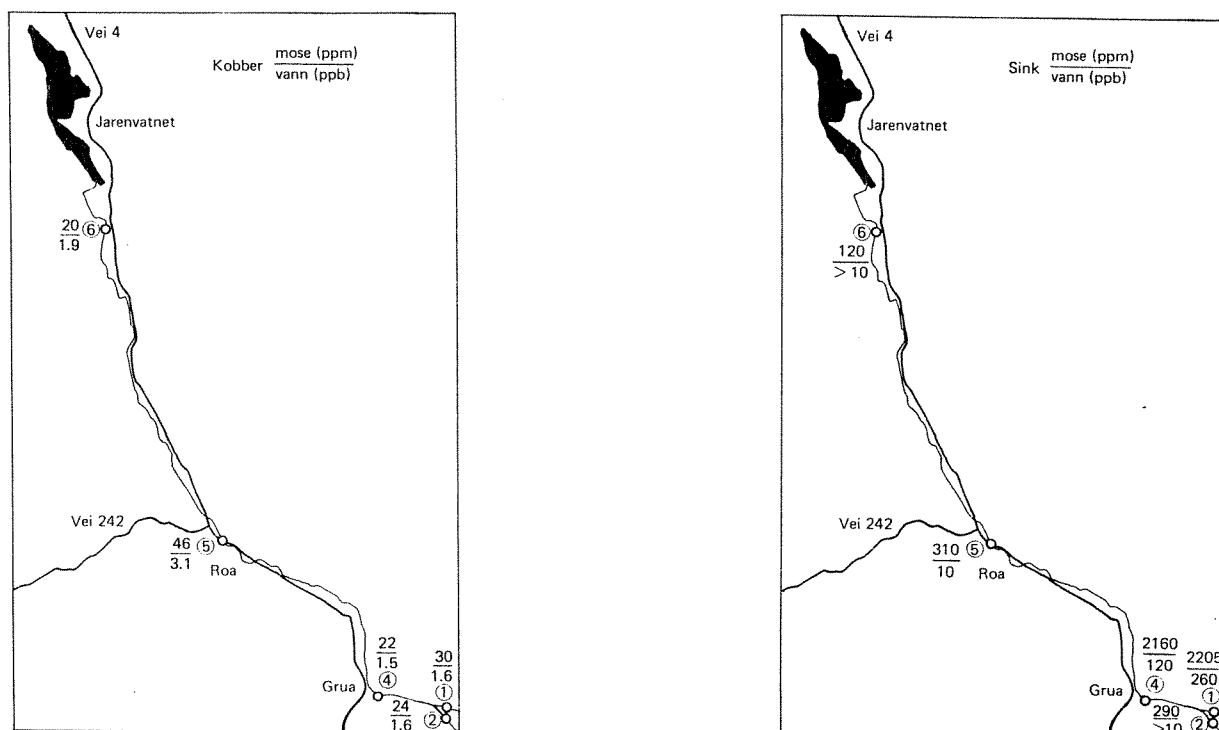


Fig. 7. Konsentrasjon av kobber og sink i *Fontinalis* og i vann, Grua 1981. Mosene var eksponert i 3 uker.

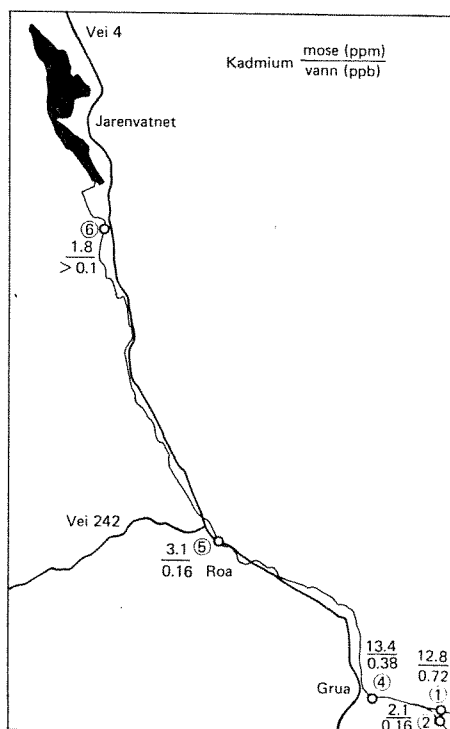


Fig. 8. Konsentrasjon av kadmium i *Fontinalis* og i vann, Grua 1981. Mosene var eksponert i 3 uker.

4.3 Utsettingsforsøk i Akerselva

Analyseresultatene er presentert i figurene 9 og 10 og i tabell 2.

Mosenes innhold av kobber lå på bakgrunnsnivået (15-25 ppm) ved de to øverste stasjonene. Nedenfor industriområdet, A3-A6, øker konsentrasjonene 15-25 ganger (figur 9).

Konsentrasjonene av sink var noe høyere enn bakgrunnsnivået (75-250 ppm) ved de to øverste stasjonene (figur 9). Konsentrasjonene var på de samme stasjonene 2-4 ganger høyere enn konsentrasjonen av "0-prøven" i Skarselva, Maridalen. Dette kan indikere at den øvre delen av Akerselva blir tilført sink. Nedenfor industriområdet øker konsentrasjonene 2-4 ganger sammenlignet med konsentrasjonene ved A2.

Mosenes innhold av bly ligger på bakgrunnsnivået (5-10 ppm) ved A1 og A2 (fig. 10), mens nedenfor industriområdet A3-A6 øker konsentrasjonene 3-4 ganger.

Konsentrasjonene av kadmium ligger på bakgrunnsnivået (0,1-0,5 ppm) eller noe høyere langs hele Akerselva.

Tabell 2. Metallkonsentrasjoner i moser. Akerselva 1980. Mosene var eksponert i 4 uker. Metallinnhold i µg/g tørrstoff (ppm).

	Kobber ppm	Sink ppm	Bly ppm	Kadmium ppm
A1 : 1	17	258	5,8	0,68
A1 : 2	17	(646)	7,6	(1,56)
A2 : 1	20	305	5,3	0,49
A2 : 2	20	343	6,4	0,54
A2 : 3	19	310	10,0	0,45
A3 : 1	335	993	22,1	0,27
A3 : 2	428	1364	25,3	0,30
A3 : 3	486	1021	40,5	0,13
A4 : 1	407	1091	19,6	0,49
A4 : 2	574	892	39,8	0,30
A5 : 1	300	1282	24,4	0,73
A6 : 1	299	1535	19,8	0,89
A6 : 2	247	738	18,1	0,49
A6 : 3	489	1354	42,7	0,45

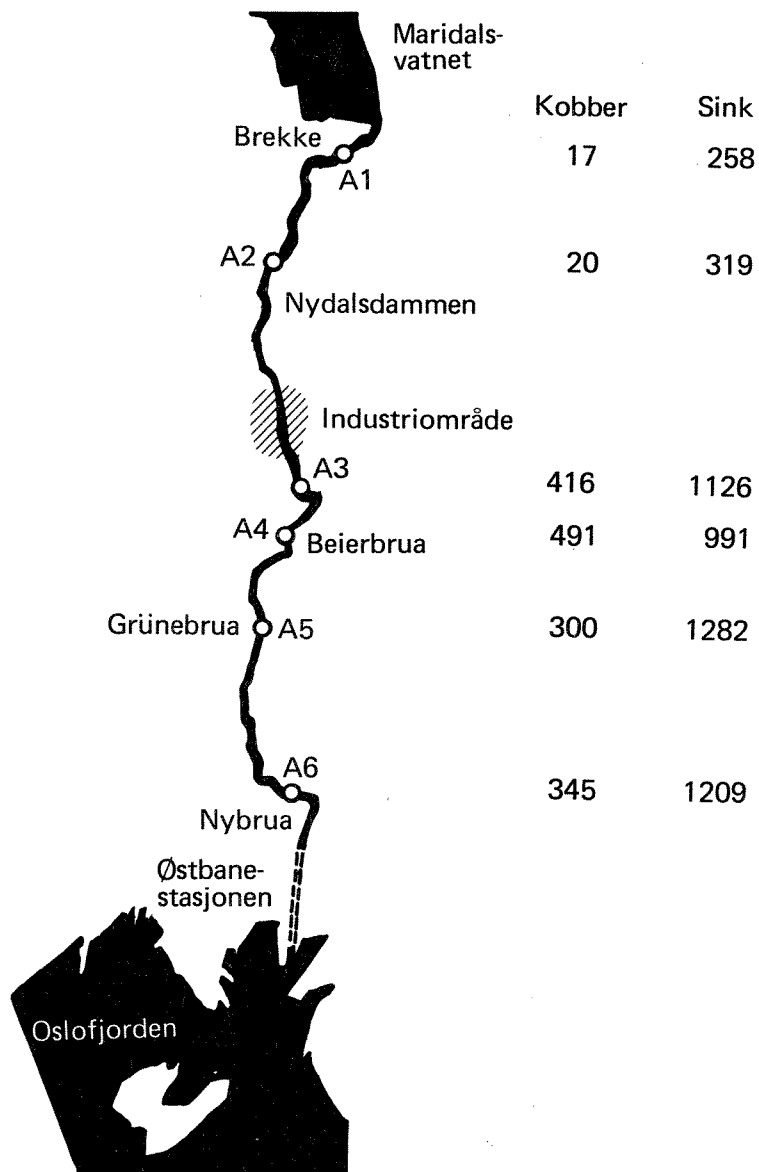


Fig. 9. Konsentrasjoner av kobber og sink i *Fontinalis*, Akersele 1980. Mosene var eksponert i 4 uker. Metallinnhold i $\mu\text{g/g}$ tørrstoff (ppm).

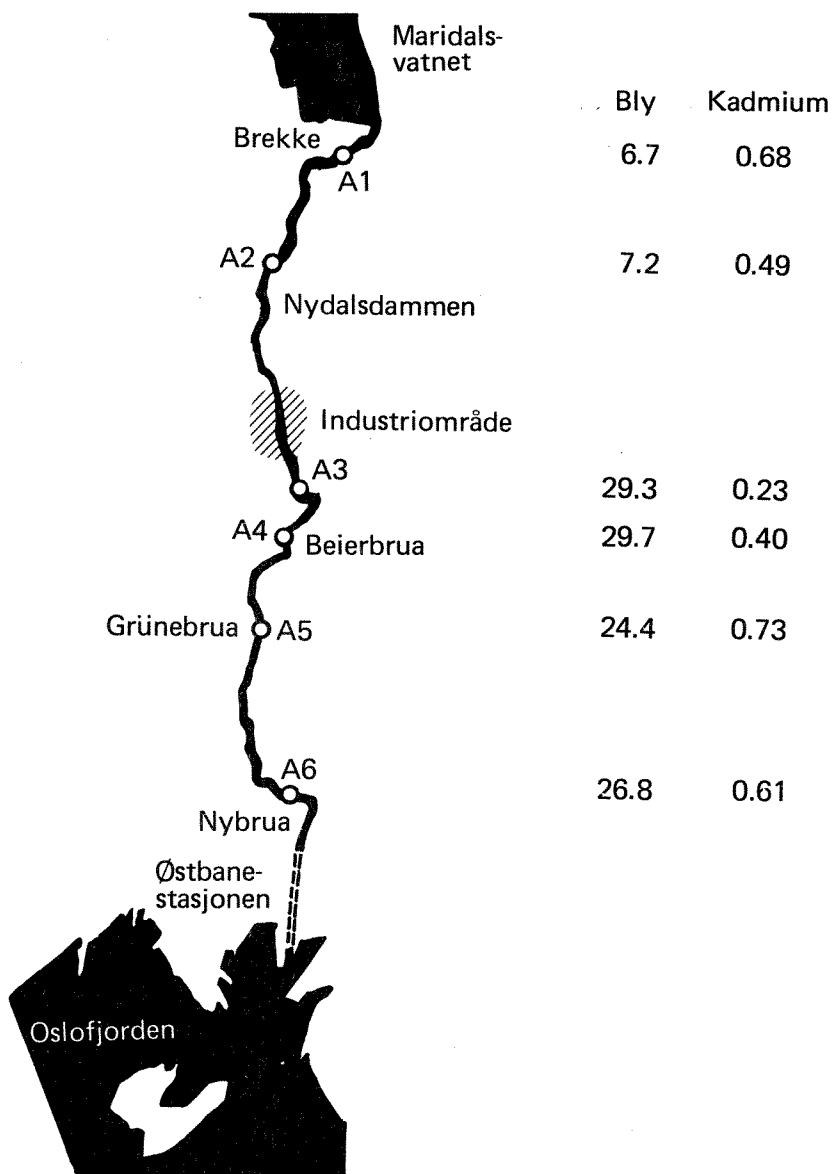


Fig. 10. Konsentrasjoner av bly og kadmium i *Fontinalis*, Akerselva 1980. Mosene var eksponert i 4 uker. Metallinnhold i $\mu\text{g/g}$ tørrstoff (ppm).

4.4 Utsettingsforsøk i Glåma

Analyseresultatene er presentert i tabellene 3 og 4.

Øvre deler av Glåma blir tilført tungmetaller fra gruvevirksomhet via elvene Orva og Håelva (figur 11). *Fontinalis* ble utplassert ovenfor Røros og på flere steder ned til Stai. På de fleste stasjoner ble både *F. antipyretica* og *F. dalecarlica* transplantert, tabell 3.

Mosenes innhold av kobber og sink ved referansestasjonene (Glåma oppstrøms Orva og Håelva oppstrøms Røros) lå på bakgrunnsnivået. Analyseresultatene fra Orva var bemerkelsesverdig lave. Det er ingen sikker forklaring på dette, men det kan ha sammenheng med at okerutfelling og nedslamming av mosene har hindret metallopptak.

Glåma nedstrøms Orva hadde meget høye konsentrasjoner særlig av kobber, men også sink. Håelva nedstrøms Røros hadde også forhøyede konsentrasjoner av kobber og sink, men meget lavere enn man burde forvente. Fra Røstefossen ned til Stai hadde Glåma forhøyede konsentrasjoner av kobber og sink. Bi-elva Folla tilfører Glåma en god del kobber og sink.

Konsentrasjonene av bly ligger på bakgrunnsnivået (5-10 ppm) langs hele vassdraget, bortsett fra i Orva og i Glåma nedstrøms Orva. Alle kadmium-verdiene ligger klart over bakgrunnsnivået. Dette kan skyldes kontaminering eller andre analysetekniske feil.

Sammenligningen mellom de to *Fontinalis*-artenes innhold av tungmetaller indikerer ingen større forskjell og ligger innenfor den spredning man kan få av parallellanalyser på samme arter.

I 1981 ble det også satt ut moser på samme stasjoner. I tillegg ble det ved eksponeringstidens slutt også analysert på vannprøver (tabell 4). Stort sett ga disse analyser samme bilde bortsett fra at Håelva denne gangen hadde meget høye konsentrasjoner av kobber og sink.

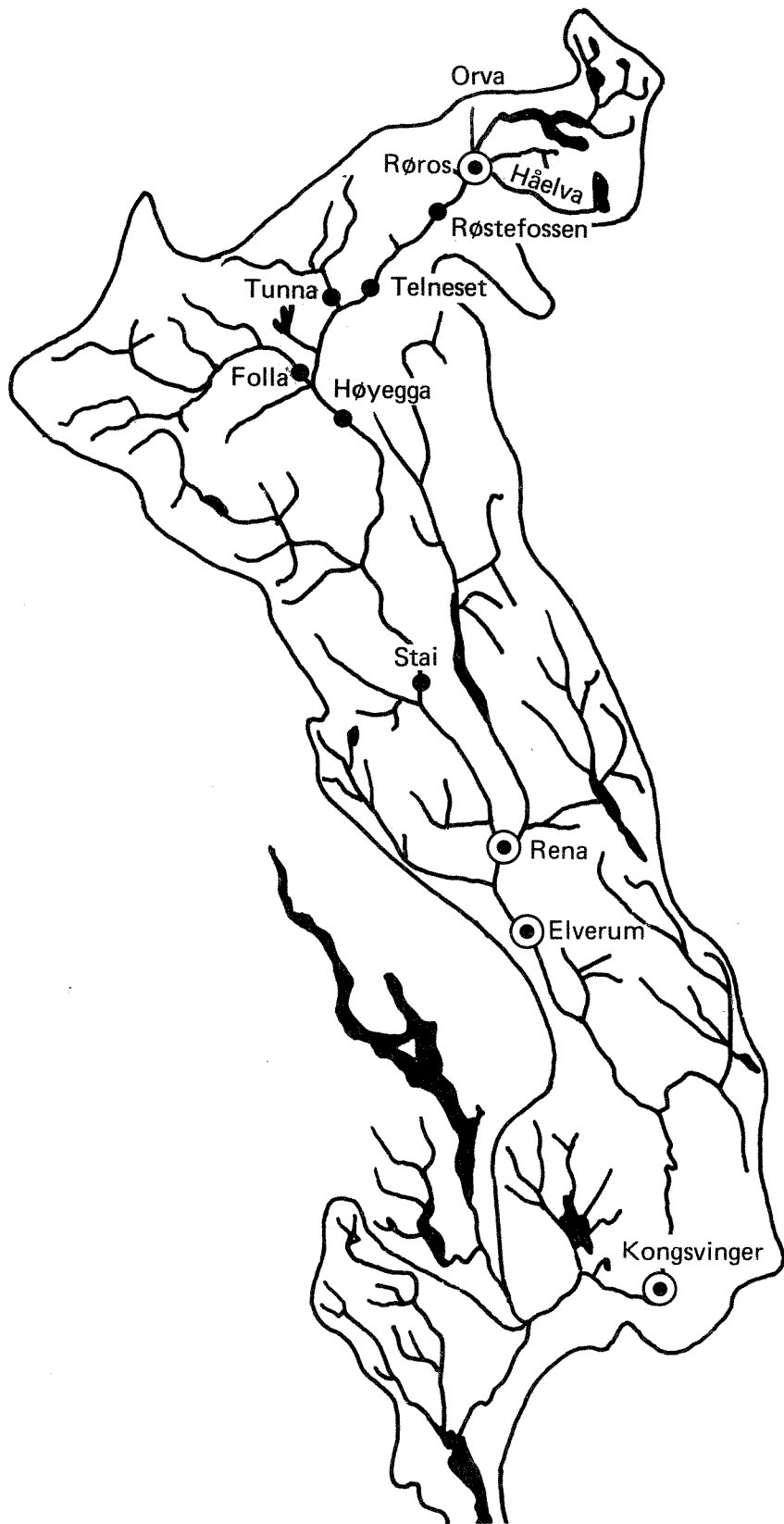


Fig. 11. Glåmavassdraget.

Tabell 3. Metallkonsentrasjoner i moser. Glåma 1980. Mosene var eksponert i 5 uker. Metallinnhold i µg/g tørrstoff (ppm).

1980		Kobber ppm	Sink ppm	Bly ppm	Kadmium ppm
Glåma oppstrøms Orva	(F.A.)	24	120	4,45	2,73
Glåma oppstrøms Orva	(F.D.)	26	180	3,21	1,71
Orva	(F.A.)	540	180	171	2,14
Orva	(F.D.)	440	240	94	1,88
Glåma nedstrøms Orva	(F.A.)	3470	1610	90	5,19
	(F.D.)	3890	1570	184	6,96
Håelva oppstr. Røros	F.A.	12	80	4,45	1,48
Håelva oppstr. Røros	F.D.	10	103	4,34	1,87
Håelva nedstr. Røros	F.A.	37	160	1,85	2,14
Håelva nedstr. Røros	F.D.	51	370	3,86	2,45
Røstefossen	F.A.	320	990	6,52	4,82
Røstefossen	F.D.	410	1470	9,40	7,52
Tolga	F.A.	240	1690	6,76	6,47
Tolga	F.D.	180	940	2,30	3,26
Telneset	F.A.	150	1000	7,14	5,64
	F.D.	150	930	5,17	5,37
Tunna	F.A.	22	63	2,74	166
	F.D.	18	200	178	158
Folla	F.A.	380	580	4,35	3,02
	F.D.	290	580	4,03	2,75
Høyegga	F.A.	250	1000	5,91	5,12
Stai	F.A.	180	450	4,30	4,02

F.A. = Fontinalis antipyretica

F.D. = Fontinalis dalecartica

Tabell 4. Metallkonsentrasjoner i moser og vann. Glåma 1981. Mosene var eksponert i 4 uker. Metallinnhold i moser $\mu\text{g/g}$ tørrstoff (ppm) og i vann mg/l (ppm).

	Kobber (ppm)		Sink (ppm)	
	moser	vann	moser	vann
Glåma oppstrøms Orva	25	0,005	150	0,012
Håelva oppstrøms Røros	11	0,004	92	0,010
Håelva nedstrøms Røros	1810	0.021	9000	0,093
Orva	490	0,204	210	1,388
Glåma nedstrøms Orva	3680	0,080	1590	0,045
Glåma Røstefossen	365	0,011	1230	0,042
Glåma Tolga	210	0,009	1285	0,043
Glåma Telneset	150	0,009	965	0,039
Glåma Høyegga	250	0,008	1000	0,035
Glåma Stai	90	0,006	450	0,020

5. SAMMENFATTENDE DISKUSJON OG FORSLAG TIL VIDERE ARBEID

I det foreliggende arbeid er det for alle prøveområders vedkommende dokumentert at observasjoner av metallinnhold i moser er anvendelig for:

- å oppdage metallforurensning
- å spore en kildes influensområde

Det er også kommet fram eksempler på at metallpåvirkning som ikke har vært påvist gjennom vannanalyser er sannsynliggjort ved moseobservasjonene. Både erfaringene fra påvirkede områder og data fra referanselokaliteter er i godt samsvar med det som er funnet ved undersøkelser i utlandet (se f.eks. Bengtsson og Lithner, 1981, Say og Whitton, 1983 og Wehr og Whitton, 1983a).

Fra materiale bearbeidet av Bengtsson og Lithner er det sannsynliggjort tilnærmet proporsjonalt metalloptak i mosene over 3 størrelsesområder i vannets metallinnhold. På basis av disse og andres erfaringer (se også Empain 1976a, b, Glooschenko og Capobianco 1978, Mouvet, 1980, Whitton, 1978, Say et al., 1981, Wehr og Whitton, 1983b), kan det uten videre fastslås at metoden er egnet til å overvåke moderat og sterkt metallbelastede vannforekomster. I Norge vil en slik overvåking være aktuell i forbindelse med eksisterende og tallrike gamle gruveanlegg, især ved iverksettelse av verne-tiltak. Imidlertid er det i denne forbindelse også aktuelt med videre studier. Disse bør først og fremst gå i to retninger:

- Undersøkelse av bakgrunnsnivåene i flere arter
- Studie av hastigheten som metaller opptas og avgis med i mosene, spesielt *Fontinalis antipyretica*, men også andre.

Hvis man vil bruke stedegne moser, må man ha kjennskap til flere arters naturlige metallkonsentrasjoner, fordi ingen enkel art kan ventes å forekomme på alle aktuelle steder. Det er også indikasjoner på at den vanlige elvemosen ikke er blant de arter som tåler de høyeste metallkonsentrasjoner, selv om den er ganske tolerant (Say og Whitton, 1983). Bakgrunnskonsentrasjonene kan også bli bedre definert enn det hittil har latt seg gjøre.

Hvis man bruker transplantering er det viktig å vite hvor lenge mosene trenger å stå ute. Bengtsson og Lithner (1981) refererer resultater (i hovedsak laboratorieforsøk) som tyder på så hurtige opptak (< 4 døgn til 50-100 % av det som oppnås med 1-4 uker) at det for mange formål synes nødvendig å ha mosene stående ute i flere uker. Dette har vært gjort for sikkerhets skyld ved undersøkelsen som her er presentert.

Også regionale undersøkelser vil allerede nå gi verdifulle data. Ved siden av den forvaltningsmessige verdien, vil de bl.a. kunne belyse ulike miljøfaktorerens betydning for bakgrunnsnivåene.

For opptak fra vann med høyt metallinnhold er det allerede påvist at pH spiller en fundamental rolle. Surt vann gir sterkt redusert anrikningsfaktor for sink og kobber, Bengtsson og Lithner (1981). De nevnte forfattere refererer også undersøkelser som har vist redusert metalloptak ved høyere kalsiumkonsentrasjoner enn 40 mg/l. Det synes også rimelig at vannets humusinnhold skal kunne ha innvirkning, men dette er foreløpig dårlig undersøkt.

Som man forstår av det som er nevnt ovenfor, kan det begrunnes en rekke forslag til eksperimentelle og andre studier med det formål å optimalisere teknikken med å måle mosers metallinnhold for overvåkingsformål. I denne forbindelse kan det også pekes på faktorer som lys og temperatur, forekomst av partikler og konsentrasjon av andre metaller. Tilfellet med de lave metallkonsentrasjonene i moser fra den sterkt forurensede Orva kan tyde på at utfelling i jernrikt vann og/eller partikkelnedslamming reduserer metalloptaket.

Foreløpig kan det for Norges synes mest aktuelt å få bragt på det rene det omtrentlige bakgrunnsnivået av metaller i et utvalg av aktuelle arter samt å se nærmere på betydningen av pH og humusinnhold. Begge deler kan kombineres med regionale undersøkelser som dekker et visst spekter av vannkvalitet. Ved slike undersøkelser får man også anledning til å jevnføre metallinnhold i ulike arter som vokser på samme sted, m.a.o. få et grunnlag som vil øke sammenlignbarheten mellom registreringer basert på forskjellige arter.

6. REFERANSER

- Arnesen, R.T., 1978: Undersøkelser av Folla. Observasjoner 1977. Norsk institutt for vannforskning, 0-120/64.
- Arnesen, R.T., 1969: Undersøkelser av Folla. Del 1. 1966 - august 1968. Norsk institutt for vannforskning, 0-120/64.
- Bengtsson, A. og Lithner, G., 1981: Vattenmossa (*Fontinalis*) som mätare på metallförorening. Statens naturvårdsverk PM 1391.
- Empain, A., 1976a: Estimation de la pollution par métaux lourds dans la Somme par l'analyse des bryophytes aquatiques. Bull fr. Pisciculture 260, 138-142.
- Glooschenko, W.A. og Capobianco, J.A., 1978: Metal content of *Sphagnum* mosses from two Northern Canadian bog ecosystems. Water, Air and Soil Pollution 10: 215-220.
- Harding, J.P.C. og Whitton, B.A., 1981: Accumulation of zinc, cadmium and lead by field populations of *Lemanea*. Water. res. 15, 301-319.
- Lye, K.A., 1968: Moseflora. Universitetsforlaget, Oslo, Norway.
- Mouvet, C., 1980: Pollution de l'Ambleve par les métaux lourds, en particulier le chrome dosage dans les eaux et les bryophytes aquatiques. Bull cent. bel. Etud Docum. Eaux 445. 33-527-538.
- Philips, D.J.H., 1977: The use of biological indicator organisms to monitor trace metal pollution in marine and estuarine environments - a review. Environ. Pollut. 13: 281-315.
- Say, P.J., Harding, J.P.C. & Whitton, B.A., 1981: Aquatic mosses as monitors of heavy metal contamination in the River Etherow, England. Envir. Pollut. Ser. B 2 295-307.

- Say, P.J. og Whitton, B.A., 1983: Accumulation of heavy metals by aquatic mosses. 1: *Fontinalis antipyretica* Hedw. Hydrobiologia 100, 245-260.
- Wehr, J.D. og Whitton, B.A., 1983a: Accumulation of heavy metals by aquatic mosses. 2: *Rhynchostegium riparioides*. Hydrobiologia 100, 261-284.
- Wehr, J.D. og Whitton, B.A., 1983b: Accumulation of heavy metals by aquatic mosses. 3: Seasonal changes. Hydrobiologia 100, 285-291.
- Whitton, B.A., 1978: Plants as indicator of river water quality. Kap. 5: Final Proc. of Symp. on Biological Indicators of Water Quality. University of Newcastle upon Tyne. 12-15th Sept. 1978. Vol. 1.

V E D L E G G

Tabell I. Metallkonsentrasjon i moser og vann, Åsterudtjern og Grua 1980.

Mosene var eksponert i 5 uker. Metallinnhold i moser µg/g tørrstoff (ppm) og i vann µg/l (ppb).

	Kobber		Sink		Kadmium		Nikkel		pH
	moser ppm	vann ppb	moser ppm	vann ppb	moser ppm	vann ppb	moser ppm	vann ppb	
Asterudtjern 1 ref.st.	25	1,8	200	10	0,8	>0,1	7	>5	6,8
2	3220	430	280	20	2,4	0,8	694	1130	4,9
3	3370	230	200	30	1,3	1,35	785	900	6,6
Grua									
1	30	1,2	1780	340	12,0	4	-	-	7,05
2 ref.st.	11	5,9	140	30	0,8	(13)	-	-	-
3	13	2,6	1090	200	6,2	3,4	-	-	6,6

Tabell II. Metallkonsentrasjoner i moser og vann, Åsterudtjern 1981.

Mosene var eksponert i 4 uker. Metallinnhold i moser µg/g tørrstoff (ppm) og i vann µg/l (ppb).

	Kobber		Sink		Nikkel		pH
	moser ppm	vann ppb	moser ppm	vann ppb	moser ppm	vann ppb	
Asterudtjern 1 ref.st.	30	2	100	10	5	5	6,8
3	3120	390	150	20	710	850	5,0
4	2160	190	130	10	610	740	5,5
5	1780	90	100	10	475	510	7,05
6 sideelv	25	2	80	10	5	5	7,0
7	350	7	100	10	230	10	7,0

Tabell III. Metallkonsentrasjoner i moser og i vann, Grua 1981

Mosene var eksponert i 3 uker.

Metallinnhold i mosene, µg/g tørrstoff (ppm) og i vann µg/l (ppb).

		Kobber		Sink		Kadmium	
		moser	vann	moser	vann	moser	vann
		ppm	ppb	ppm	ppb	ppm	ppb
Grua	1	27	1,6	2940	260	174	0,72
		34		1470		8,1	
	2 ref. st.	24	1,6	290	>10	2,1	0,16
	4	16	1,5	1050	120	7,2	0,38
		27		3270		19,6	
	5	48	3,1	360	10	3,4	0,16
		44		260		2,7	
	6	20	1,9	120	>10	1,8	>0,1

A P P E N D I K S

METODIKK

1. Prøvetaking og preparering

- A. Samle inn moser (moser som er fastsittende på steiner) fra et område med dokumentert lave bakgrunnskonsentrasjoner.
- B. Mosene bør om mulig blir transportert i "sitt" vann. Dette blir oftest vanskelig. Mosene bør da bli transportert svalt og fuktig.
- C. Innen mosene blir utplassert i vassdraget skal man ta en "0-prøve" for senere analyse. Man skal også plassere moser på en referanse-lokalitet i det aktuelle vassdraget.
- D. Eksponeringstiden må avgjøres fra tilfelle til tilfelle. I forbindelse med overvåking bør mosene ligge i vassdraget minst 2 uker, helst 4 uker.
- E. Etter eksponeringstidens slutt tar man opp mosen som skylles i vann. Klipp av de øverste 3-5 cm, toppskuddet. Dette innbefatter den yngste lysegrønne delen og noe av den mørkere, eldre delen. Ta ikke med bladløse partier av mosen.
- F. La mose materialet være drypptørt før det overføres til syrevaskede dramsglass (6 dr.). Passelig prøvemengde er ca. 20 g våtvekt.
- G. Dramsglassene bør fryses så raskt som mulig, helst i felt ved bruk av tørris. Prøvene fraktes til laboratoriet og lagres ned fryst inntil analyse.
- H. De dypfryste prøvene frysetørres natten over og kan deretter lagres ned fryst eller ved romtemperatur i en eksikator.

2. Oppslutning av moser for bestemmelse av tungmetaller

2.1 Kjemikalier og løsninger

A. Oppslutningsløsning (1+ 3 HNO₃)

HNO₃ (suprapur) 250 ml
Ionebyttet dest. vann til 1 liter

B. Vaskeløsning I (Deconex/EDTA-løsning)

Deconex 11 50 ml
Titriplex III (EDTA) C₁₀H₁₄N₂ Na₂ 2H₂O 10 g
Ionebyttet dest. vann til ca. 1 liter

C. Vaskeløsning II (0,1 N HNO₃)

HNO₃ (suprapur) 7 ml
Ionebyttet dest. vann til ca. 1 liter

2.2 Utstyr

- A. 20 ml dramsglass (6 dr.)
- B. 10 ml graderte sentrifugeglass med propp
- C. 2 ml fullpipetter (evt. automatpipette m/plastspisser)
- D. Heteblokk til 10 ml sentrifugerør
- E. Sentrifuge til 10 ml sentrifugerør

2.3 Vask av utstyr

Alt utstyr som kommer i kontakt med moser, løsninger etc. skal spesialvaskes med vaskeløsning I og II.

- A. Utstyret bløtlegges natten over i vaskeløsning I og skylles 3 ganger i ionebyttet destillert vann.
- B. Utstyret legges deretter natten over i vaskeløsning II, skylles 3 ganger i ionebyttet destillert vann og settes til tørking.

2.4 Oppslutning av prøven

- A. 50-200 mg frysetørret materiale veies inn i et spesialvasket sentrifugerør og tilsettes 2 ml av oppslutningsløsningen.
- B. Sentrifugerøret settes i heteblokken og oppsluttes ved 60 °C i 24 timer.
- C. Etter avkjøling fortynnes prøven til 10 ml med ionebyttet dest. vann som rystes godt og sentrifugeres ved 3000 rpm i 10 min.
- D. Prøven dekanteres eller pipetteres til spesialvaskede dramsglass eller helst analyseres direkte fra sentrifugeglassene for å unngå ytterligere kontaminering.

2.5 Blindprøvebestemmelse

På grunn av de store kontamineringsproblemene med tungmetaller bør det taes blindprøver av kjemikalier, ionebyttet dest. vann, utstyr etc. Dette bør gjøres før man starter oppslutningen av alle prøvene slik at eventuelle kontaminerte reagenser og løsninger kan byttes ut. Nye blindprøver taes også samtidig med prøvene.

2.6 Resultatberegning

Resultatene fra de oppsluttede prøvene (ekstraktene) angis i mg/l eller µg/l, avhengig av metallet. Dette regnes om til mg (µg) pr. innveid materiale:

$$\frac{\frac{\text{mg}}{\text{l}} \cdot \text{Ekstraktvolum (0,01 l)} \cdot 1000 \frac{\mu\text{g}}{\text{mg}}}{\text{Innveid (mg)}} = > \mu\text{g/mg}$$

$$\frac{\frac{\mu\text{g}}{\text{l}} \cdot \text{Ekstraktvolum (0,01 l)} \cdot 1000 \frac{\text{ng}}{\mu\text{g}}}{\text{Innveid (mg)}} = > \text{ng/mg}$$