

RAPPORT LNR 4403-2001

Metaller og PAH
i fisk og innsjø-
sedimenter nedstrøms
Hardeland kraftverk
i Etnevassdraget.

Resultater fra høsten 2000

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
5005 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 Metaller og PAH i fisk og innsjøsedimenter nedstrøms Hardeland kraftverk i Etnevassdraget. Resultater fra høsten 2000	Løpenr. (for bestilling) 4403-2001	Dato 14.08.01
	Prosjektnr. Udernr. O-20193	Sider Pris 20
Forfatter(e) Hobæk, Anders	Fagområde Miljøgifter ferskvann	Distribusjon
	Geografisk område Hordaland	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) Haugaland kraft AS	Oppdragsreferanse 216/00
--	-----------------------------

Sammendrag

Konsentrasjoner av krom, nikkel, bly, sink og polysykliske aromatiske hydrokarboner (PAH) ble målt i sedimentprøver fra Hardelandsvatn i Etnevassdraget. Stedet ble utsatt for akutt forurensning våren 2000 etter et arbeidsuhell. Videre ble det tatt prøver av fisk fra flere stasjoner i vassdraget ovenfor og nedenfor utslippsstedet for å dokumentere nivået av de aktuelle tungmetaller i fiskekjøtt og av PAH-metabolitter i galle

Resultatene viste konsentrasjoner av bly og PAH tilsvarende hhv. tilstandsklasse III og IV i sediment i Hardelandsvatn, men konsentrasjonene varierte betydelig mellom stasjonene. Dette hang sammen med stor variasjon i sedimentets organiske innhold. Konsentrasjonene av metaller i fiskekjøtt var lave og på nivå med referansemålingene. For PAH-metabolitter fant vi høyere konsentrasjoner i stasjonær fisk fra innsjøene nedenfor utslippsstedet (Hardelandsvatn og Litledalsvatn) enn i fisk fra Sørrelva lenger ned og fra referansestasjonen oppstrøms utslippet. I sjøaure ble det likevel påvist høyere nivå av PAH-metabolitter enn i stasjonær fisk. Det antas at dette skyldes eksponering for forurensning i sjøen snarere enn i vassdraget.

Det er ikke påvist konsentrasjoner av miljøgifter som tilsier kostholdsrad for konsum av fisk fra vassdraget. Måleprogrammet for fisk fortsetter til og med 2002.

Fire norske emneord	Fire engelske emneord
1. Vassdrag	1. Freshwater
2. Miljøgifter	2. Environmental toxins
3. Fisk	3. Fish
4. Sediment	4. Sediments

Anders Hobæk
Prosjektleder

Anne Lyche Solheim
Forskningsleder

Nils Roar Sælthun
Forskningsjef

ISBN 82-577-4045-4

**Metaller og PAH i fisk og innsjøsedimenter
nedstrøms Hardeland kraftverk i Etnevasdraget.**

Resultater fra høsten 2000

Forord

Dette prosjektet overvåker miljøgifter i fisk etter at malingrester fra rørgaten til Hardeland kraftverk ved et arbeidsuhell ble ført ut i Litledalsvassdraget i Etne i mars 2000. Prosjektet har lagt opp til målinger over tre år, og her rapporteres resultatene av første års prøvetaking. Hovedvekten i prosjektet er lagt på miljøgifter i fisk, men ved første befaring ble det også tatt sedimentprøver i Hardelandsvatnet.

Feltarbeidet ble utført 17 - 18. oktober 2000 av Åse Åtland og Arild Sunnfjord, begge fra NIVA Vestlandsavdelingen. Vi takker grunneierne og de ansatte ved Hardeland kraftverk ved Rudolf Adolfsen for velvillig bistand ved garnfisket. Takk også til forskningsleder Sigurd Rognerud, NIVAs Østlandsavdeling, for konstruktive forslag til rapporten.

Bergen, 14. august 2001

Anders Hobæk

Innhold

Sammendrag	5
Summary	6
1. Innledning	7
2. Materiale og metoder	8
2.1 Områdebeskrivelse	8
2.2 Miljøgifter i sediment i Hardelandsvatn	9
2.3 Miljøgifter i fisk	10
3. Resultater	12
3.1 Miljøgifter i sediment i Hardelandsvatn	12
3.2 Miljøgifter i fisk	14
4. Diskusjon og vurdering	16
5. Henvisninger	18
Vedlegg A. Sedimentanalyser	19
Vedlegg B. Analyser på fisk	20

Sammendrag

Ved et uhell under sandblåsing av rørgaten til Hardeland kraftverk i Etnevassdraget, Hordaland, ble blåsesand iblandet malingrester ført ut i vassdraget. Malingrestene inneholdt tungmetallene nikkel, krom, bly og sink, i tillegg til tjærestoffer i gruppen polysykliske aromatiske hydrokarboner (PAH). For å vurdere mulige effekter av forurensningene på liv i vassdraget gjennomføres et overvåkingsprogram av fiskebestandene over perioden 2000-2002. Her rapporteres resultatene av første års undersøkelser, basert på materiale innsamlet i vassdraget i oktober 2000. Ved prosjektets oppstart ble det også tatt prøver av sediment på ulike stasjoner i Hardelandsvatnet. Hensikten med dette var å undersøke hvordan de forurensede massene hadde fordelt seg i magasinet.

Innholdet av tungmetaller og PAH i sedimentprøvene viste en svært ujevn fordeling i Hardelandsvatn. Sedimentet inneholdt forholdsvis lite organisk materiale, og konsentrasjonene av metaller og PAH varierte sammen med organisk innhold i sedimentene. Konsentrasjonen av bly i sedimentene tilsvarte tilstandsklasse III i SFTs klassifikasjonssystem ("markert forurenset"). For nikkel indikerte alle sedimentprøvene tilstandsklasse II ("moderat forurenset"), og for sink klasse I ("ubetydelig forurenset"). Også verdiene for krom lå lavt sammenlignet med andre norske innsjøer, men for dette metallet foreligger det ikke kriterier for tilstandsklassifisering. Stasjonen som var mest forurenset av metaller hadde også det høyeste innhold av PAH. For PAH-komponentene foreligger det ikke kriterier for klassifisering i ferskvann. Dersom måleresultatene sammenlignes med kriteriene for fjorder og kystfarvann, ligger nivået på den mest forurensede stasjonen i tilstandsklasse IV (sterkt forurenset).

Fiskeundersøkelsene omfattet målinger av de aktuelle metallene i fiskekjøtt (filet), og av metabolitter (nedbrytningsprodukter) av PAH i fiskens galle. Det ble tatt prøver på fire stasjoner. Fisk fra Hardelandsvatn, Litledalsvatn og Sørrelva nedstrøms Litledalsvatn ble undersøkt. I tillegg ble det fanget fisk i Hjørnåsvatn, som ligger ovenfor utslippsområdet og tjener som referanselokalitet. Aure var eneste fiskeslag på de to øvre stasjonene, mens det i Litledalsvatn ble fanget røye, stasjonær aure og noen sjøaurer. I Sørrelva ble det fanget ungfisk av aure. Innholdet av metaller i fiskekjøtt var lavt og lå på samme nivå som referansematerialet på alle stasjoner. I galleprøvene ble det påvist to metabolitter av PAH. Hos den stasjonære fisken lå nivået klart høyere i Hardelandsvatn og Litledalsvatn enn i Hjørnåsvatn og i Sørrelva. Høyest innhold av PAH-metabolitter ble imidlertid påvist i sjøaure fanget i Litledalsvatnet. Det synes lite trolig at dette representerer forurensning som fisken har fått i seg i vassdraget, men denne konklusjonen er usikker fordi vi ikke kan vite når denne fisken har gått opp fra sjøen.

De biologiske effektene av PAH for fisken er usikre. Siden hverken PAH eller de aktuelle tungmetallene akkumulerer i fiskekjøtt, tyder målingene så langt i programmet ikke på at det er noen fare forbundet med å spise fisk fra vassdraget.

Summary

Title: Metal and PAH concentrations in lake sediments and fish tissues below Hardeland hydroelectric power station in the Etne River: Results from October 2000.

Year: 2001

Author: Hobæk, Anders

Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN No.: ISBN 82-577-4045-4

The contents of four metals (lead, nickel, chromium, and zinc) and metabolites of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) were measured in recent sediments from Lake Hardelandsvatn in the Etne watershed, Hordaland county, Western Norway, in October 2000. The inlet to this lake had been exposed to an acute pollution incident the previous spring, and had carried particulate material containing the above compounds into the lake. Samples were also secured to examine the contents of the same metals in muscle tissue, and PAH metabolites in bile, from resident fish in the lakes and water course below. Fish from another lake above Lake Hardelandsvatn served as a reference. This report is the first part of a surveillance program 2000-2002 following the pollution incident.

Metals and PAH compounds were unevenly distributed in the sediments of Lake Hardelandsvatn, and were positively correlated with organic contents. We lack a local reference for comparing the levels of pollutants. Compared to general, national guidelines for expected levels of pollutants, lead levels corresponded to status class III (on a scale from I to V), with sediment contents of 80-188 µg per g dry substance. The status for the other metals was better (class I-II).

Metal contents in fish muscle (resident and anadromous brown trout, resident arctic charr) were low on all sampled stations, and comparable to the reference values. The contents of two PAH metabolites (particularly 1-OH pyrene) were about twice the reference concentrations in resident brown trout from Lake Hardelandsvatn and Lake Litledalsvatn below it, while young fish from the river further below had contents similar to the reference. In Lake Litledalsvatn, charr had metabolite levels comparable with resident trout. However, anadromous trout caught in this lake had substantially higher levels of the same metabolites, suggesting their exposure to PAH pollution during their sea run.

None of the pollutants are expected to accumulate in fish tissue, and there is so far no reason to refrain from consumption of fish from this watercourse.

1. Innledning

Et arbeidsuhell våren 2000 ved Hardeland Kraftverk i Etne, Hordaland, førte til at malingrester inneholdende flere miljøgifter ble ført ut i Litledalsvassdraget, som er en gren av Etnevassdraget. Et innleid entreprenørfirma drev sandblåsing av tre rørledninger som fører til kraftstasjonen. Som følge av mildvær og store nedbørmengder trengte vann inn i tunnelen 11-13 mars 2000. Dette førte blåsesand iblandet malingrester ut av tunnelen og ut i Kriteelva, og via denne videre ut i Hardelandsvatnet. Malingens innhold av giftige komponenter medførte en akutt forurensningssituasjon.

Etter inspeksjon 5. april 2000 gav Statens forurensingstilsyn (SFT) pålegg til Haugaland kraft AS om å gjennomføre tiltak for å hindre ytterligere forurensning, dessuten å utrede hvilken miljømessig risiko forurensningen representerte og om det var behov for å fjerne forurensningen. Det ble gjennomført en risiko- og tiltaksvurdering (ICG 2000), og senere en opprensingsaksjon 26 mai (Kriteelva) og 5-6 juni (Hardelandsvatn).

Det er anslått at mellom 20 og 30 tonn forurenset blåsesand ble ført ut i vassdraget. Analyser av blåsesanden utført av Miljø-Kjemi, Norsk Analysesenter for ICG viste at den var forurenset av metallene bly, krom, nikkel, og sink, og dessuten av tjærestoffer av typen polysykliske aromatiske hydrokarboner (PAH). Anslag for disse komponentene ligger på 100-150 kg bly; 30-40 kg krom, 70-90 kg nikkel, 150-200 kg sink, og 5-10 kg PAH (ICG 2000).

Under opprensingsaksjonen 5-6 juni 2000 ble Hardelandsvatnet tappet ned inntil 4,5 m. Det viste seg da at blåsesanden var spredd over et større område i Hardelandsvatnet enn forventet, trolig pga. sterk vannstrøm ved utløpet av turbinene og periodevis stor vannføring i Kriteelva. I løpet av aksjonen ble det tatt opp nokså beskjedne mengder forurenset blåsesand, anslagsvis 600-800 kg. Medregnet sanden som tidligere ble tatt opp fra Kriteelva er det fjernet ca. 2 tonn sand fra resipienten.

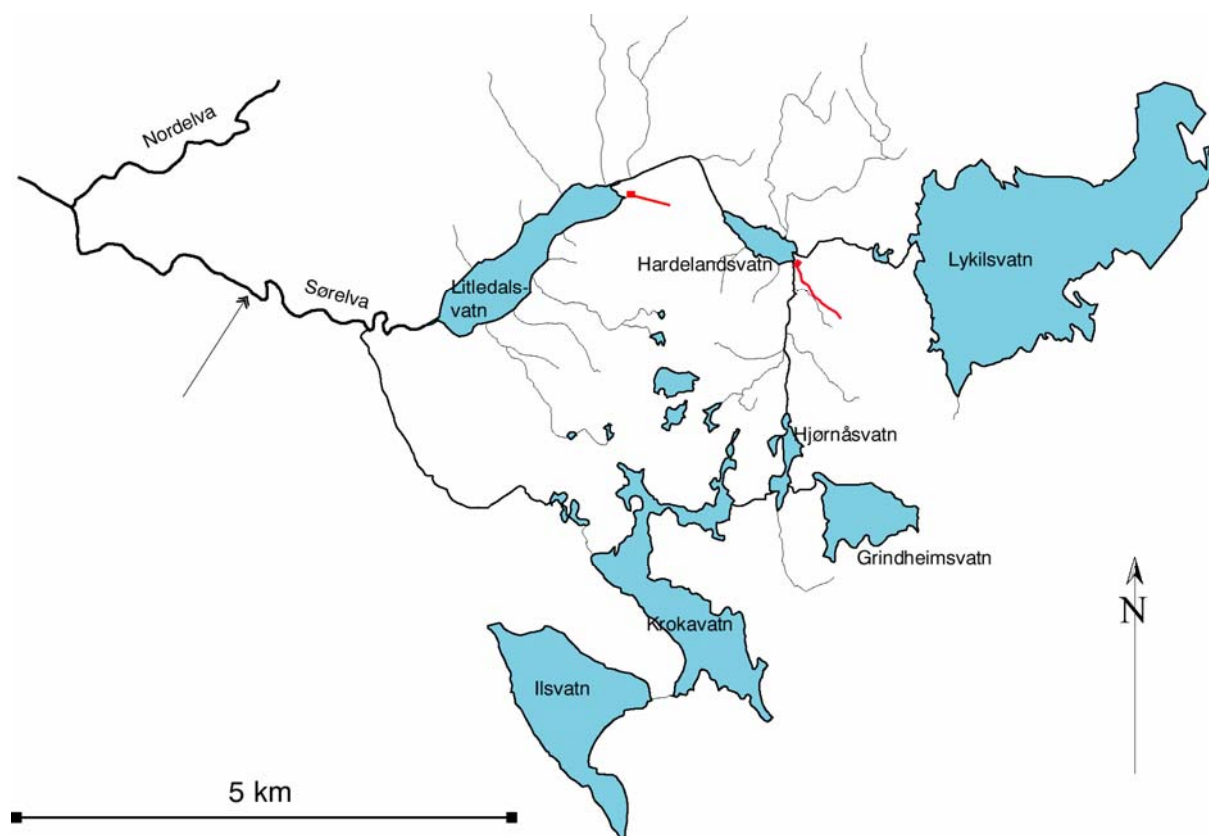
Etter opprensingen vurderte SFT de gjenværende mengder tungmetaller og tjærestoffer (PAH) til å representere en miljørisiko med fare for videre spredning av stoffene og opptak i næringskjeden. For å følge opp dette ble Haugaland kraft AS pålagt å gjennomføre et overvåkingsprogram for vassdraget.

Overvåkingsprogrammet for perioden 2000-2002 utføres av NIVA. Det er lagt opp til prøvetaking av fisk på flere stasjoner i vassdraget hver høst gjennom denne perioden. Her rapporteres resultatene av første prøvetaking høsten 2000. I tillegg til undersøkelser av fisk, ble det også tatt prøver av sediment i Hardelandsvatn for å slå fast om det meste av forurensningen befinner seg i den dypere del av magasinet som antatt.

2. Materiale og metoder

2.1 Områdebeskrivelse

Etnevassdraget består av to større grener, kalt Stordalsvassdraget og Litledalsvassdraget. Disse samles i hhv. Nordelva og Sørrelva, som møtes til Etneelva ca. 2,5 km ovenfor utløpet i Etnepollen. Hardlandsvatn (201 m o.h.) ligger i Litledalsvassdraget eller Sørrelva (Figur 1). Det har et areal på 0,17 km², og største kjente dyp er ca 17 m. Det finnes ikke dybdekart for innsjøen. Vassdraget er bygget ut for kraftproduksjon i de øvre delene, som har et betydelig nedbørfelt (621 km²). Hardland kraftstasjon tapper vann fra magasinet Lykilsvatn (626 m o.h.). Vann overføres også til denne kraftstasjonen fra feltet i sør med Ilsvatn, Krokavatn og Grindheimsvatn. Restvannføring fra deler av det store feltet når Hardlandsvatn gjennom Kriteelva og flere mindre bekker (Figur 1). Årlig middelavrenning fra Hardlandsvatn er ca. 175,3 mill. m³. En kort elv fører fra Hardlandsvatnet ned til Litledalsvatnet (71 m o.h.). Anadrom fisk (sjøaure) vandrer opp til denne innsjøen gjennom Sørrelva, men når ikke lenger opp i vassdraget.



Figur 1. Oversiktskart over Sørrelva (Litledalsvassdraget) ned til samtløp med Nordelva (Stordalsvassdraget). Kartet er skjematisk for store deler av feltet. Bare for Hardlandsvatn og Litledalsvatn er tilløpsbekker tegnet inn. Hovedmagasin for Hardland kraftstasjon er Lykilsvatnet. Kraftstasjoner og rørgater er vist i rødt. Fra Hardlandsvatn utnyttes også fallet til Litledalsvatn. Prøvetaking av fisk ble utført i Hjornåsvatn, Hardlandsvatn, Litledalsvatn og i Sørrelva (område markert med pil).

En oversikt over stasjoner for prøvetaking er vist i Tabell 1. Hardelandsvatn, Litledalsvatn og Sørrelva ble undersøkt med hensyn på miljøgifter i fisk. Som referansestasjon for fiskeundersøkelsene ble Hjørnåsvatn valgt. Dette er et lite vatn som ligger oppstrøms Hardelandsvatn med avrenning til Kriteelva (Figur 1).

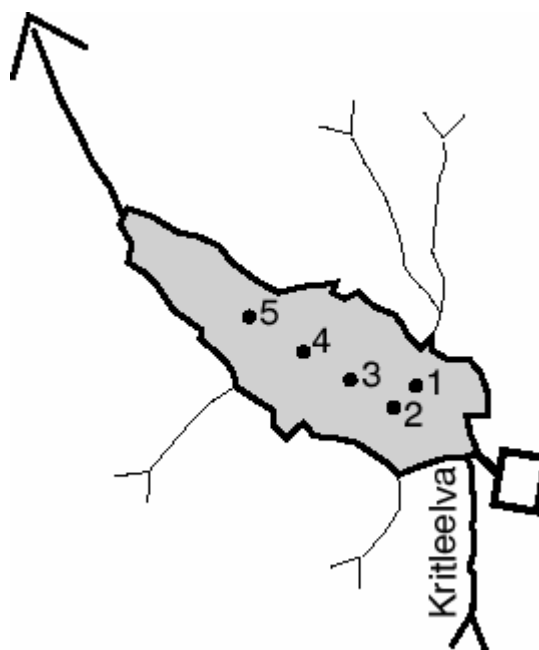
Tabell 1. Undersøkte stasjoner i Litledalsvassdraget 17-18 oktober 2000. Innsjønumrene er løpenummer i NVAs innsjødatabase, hvor informasjonen er hentet fra.

Stasjon	Innsjø nr.	UTM sone	UTM øst	UTM nord	Hoh.	Areal km ²	Omkrets km
Hjørnåsvatn	22375	32	336345	6614893	526	0,10	2,36
Hardelandsvatn	1472	32	336002	6617163	201	0,17	2,03
Litledalsvatn	1470	32	333595	6616996	71	0,88	5,52
Sørrelva	-	32	330850	6616750	ca. 50	-	-

2.2 Miljøgifter i sediment i Hardelandsvatn

Sedimentprøvene ble tatt 17.10.00. Det ble tatt fem prøver. Fire av disse ble tatt langs en linje fra kraftverket og Kriteelvas innløp mot utløpet av Hardelandsvatn (Figur 2). Første prøve ble tatt ca 150 m fra innløpet, og de tre neste med økende avstand fra innløpet. I tillegg ble det tatt en prøve fra en grunnere rygg parallelt med innløpsstrømmen ca. 150 m fra innløpet (Figur 2).

Forsøk på å bruke en vanlig sediment-corer mislyktes, da substratet i stor grad var grovkornet grus og sand. Dette skyldes trolig at gjennomstrømningen i Hardelandsvatnet er svært stor, og de lettere organiske partikler sedimenterer i mindre grad enn i større innsjøer. Isteden benyttet vi en Van Veen-grabb. Denne lukker inne de øverste 2-3 cm av sedimentet. Innholdet i grabben ble tømt over i en ren plastskål, og derfra ble det tatt delprøver til senere analyse. Det ble tatt to hogg med grabben på hver stasjon, og disse ble slått sammen før uttak av prøve. Ved denne metoden blir sedimentet blandet, og det var derfor ikke mulig å ta ut bare det øverste sedimentlaget. Prøvene ble oppbevart i forhåndsglødete glass i kjøleskap til analyse.



Figur 2. Stasjoner for prøvetaking av sediment i Hardelandsvatn 17.10.2000.

Dyp for prøvetaking:

- St. 1: 6 m
- St. 2: 12 m
- St. 3: 13 m
- St. 4: 11 m
- St. 5: 5 m

Analysene ble utført ved NIVAs laboratorium i Oslo. Det ble analysert for de komponenter som tidligere var påvist: PAH, bly, krom, nikkel, og sink. I tillegg ble det sedimentets tørrstoffinnhold og gløderest målt (NIVA metode B 3; tørrstoff ved 105 °C, gløderest ved 550 °C). Tapte vekt ved gløding gir et uttrykk for sedimentets innhold av organisk materiale.

For analyse av metaller ble sedimentene oppsluttet i salpetersyre. Sink ble deretter bestemt etter NIVA metode E 1 (atomabsorpsjon – atomisering i flamme), mens de tre øvrige metallene ble bestemt etter NIVA metode E 2-2 (grafittovn atomabsorpsjonsspektrometri).

PAH-analysene er utført etter NIVAs metode H 2-3 (Ekstraksjon og opparbeiding av PAH i sediment). Prøvene tilsettes indre standarder og PAH ekstraheres i Soxhlet med diklormetan. Ekstraktet gjennomgår så ulike renseprosesser for å fjerne forstyrrende stoffer. Til slutt analyseres ekstraktet med GC/FID eller GC/MSD. PAH identifiseres med FID ut fra retensjonstider og med MSD ut fra retensjonstider og forbindelsenes molekylioner. Kvantifisering utføres ved hjelp av de tilsatte indre standarder.

2.3 Miljøgifter i fisk

Det ble fisket med 5 garn i Hardelandsvatn og i Litledalsvatn. Garna ble satt enkeltvis fra land. I referanselokaliteten Hjørnåsvatnet ble det satt tre garn. Garna sto ute fra 17. til 18. oktober. I Sørrelva nedenfor utløpet av Litledalsvatn (ved Rygjabø) ble det fanget med elektrisk fiskeapparat til 10 fisker var fanget. Fangstresultater er vist i Tabell 2. Prøver av gallevæske ble tatt av fersk fisk vha. engangssprøyte med tynn kanyle og overført til små tuber (Eppendorf-rør). Blandprøver av galle fra inntil 10 fisk ble frosset på tørris umiddelbart. Inntil 10 fisk fra hver stasjon ble pakket individuelt i aluminiumsfolie, deretter i plastpose og frosset ned i felt. I Litledalsvatn ble det bare fanget 9 stasjonære aurer. I tillegg ble det tatt prøver av 9 røyer og 5 sjøaure fra denne innsjøen.

Tabell 2. Fangster i Litledalsvassdraget 17-18. oktober 2000. Det ble tatt prøver av fisk for analyse av metaller i muskel (filet) og PAH-metabolitter i galle. Prøvene er tatt som blandprøver, dvs. vev eller galle fra flere fisk er slått sammen i en prøve. Antall fisk som er med i blandprøvene er angitt.

Stasjon	Antall garn	Stasjonær aure		Sjøaure		Røye	
		Fangst	Prøver	Fangst	Prøver	Fangst	Prøver
Hjørnåsvatn	3	85	10				
Hardelandsvatn	5	138	10				
Litledalsvatn	5	9	9	5	5 ¹	9	9
Sørrelva (el. fiske)	-	10	10				

¹ bare prøve av galle er analysert

Den stasjonære fisken var småfallen i alle vatna, og de fleste aurene var under 25 cm lange. Auren i Litledalsvatn var noe større enn i vatna ovenfor. I Litledalsvatn var det også noen sjøaure i fangsten. Disse var naturlig nok langt større fisk (33,5 - 45,0 cm lengde). Fisken som ble fanget på Sørrelva kan være avkom av både sjøaure og stasjonær aure.

En oversikt over den analyserte fiskens lengde og vekt er vist i Tabell 3. Den frosne fisken ble oppbevart i dypfryser til utskjæring av fileten. Dette ble utført ved NIVAs Vestlandsavdeling. Under kontrollerte, ukontaminerte (rene) forhold ble det dissekert ut skinn- og beinfrie prøver av skjellettmuskulaturen (muskelfilet) fra hver fisk. Blandprøvene besto av jevnstore vevsprøver (4-5 g) fra hvert individ, og ble lagret på glødede glass forseglede med glødet aluminiumsfolie. Alle prøvene ble

oppbevart nedfrosset ved $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ inntil de ble sendt laboratoriet for analyse. I Tabell 3 er det oppgitt samlet prøvestørrelse for hver blandprøve av filet til metallanalyser. For PAH analyser ble all gallevæske som var i galleblærene tatt ut. Dette ble noen få milliliter til sammen for hver stasjon og fiskeslag. Galleprøvene ble tatt med rene engangssprøyter, og ble oppbevart i små plasttuber. Prøvene ble oppbevart nedfrosset ved $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ inntil de ble sendt laboratoriet for analyse.

Metallanalyser er utført ved NIVAs laboratorium i Oslo etter NIVA metode E 8-2, som omfatter analyse vha. ICPMS etter homogenisering og oppslutting i salpetersyre.

Tabell 3. Prøvetaking av filet for analyse av tungmetaller. Tabellen viser lengde og vekt (minimum og maksimum) for fisk som inngikk i hver blandprøve, og samlet mengde filet som ble analysert.

Stasjon	Art	N	Lengde (cm)	Vekt (g)	Prøvestørrelse (g)
Hjørnåsvatn	Aure	10	17,2 – 22,7	53,1 – 115,9	50,0
Hardelandsvatn	Aure	10	15,5 – 23,9	37,9 – 130,1	50,5
Litledalsvatn	Aure	9	17,5 – 26,7	54,6 – 210,3	44,3
Litledalsvatn	Røye	9	23,8 – 27,3	99,4 – 170,0	39,6
Sørelva	Aure	10	10,5 – 12,7	12,5 – 26,9	38,4

Galleprøvene ble analysert for PAH-metabolittene 2-OH-naftalen, 3-OH-benzo(a)pyren, 1-OH-pyren, og 1-OH-fenantren etter at gallen var spaltet enzymatisk. Proteinene i prøvene ble felt med en alkohol, og det ble analysert direkte på supernatanten (den overliggende væsken) ved hjelp av HPLC fluorescence-deteksjon. En PAH-forbindelse ble benyttet som indre standard. Analysene er utført ved NIVAs laboratorium i Oslo.

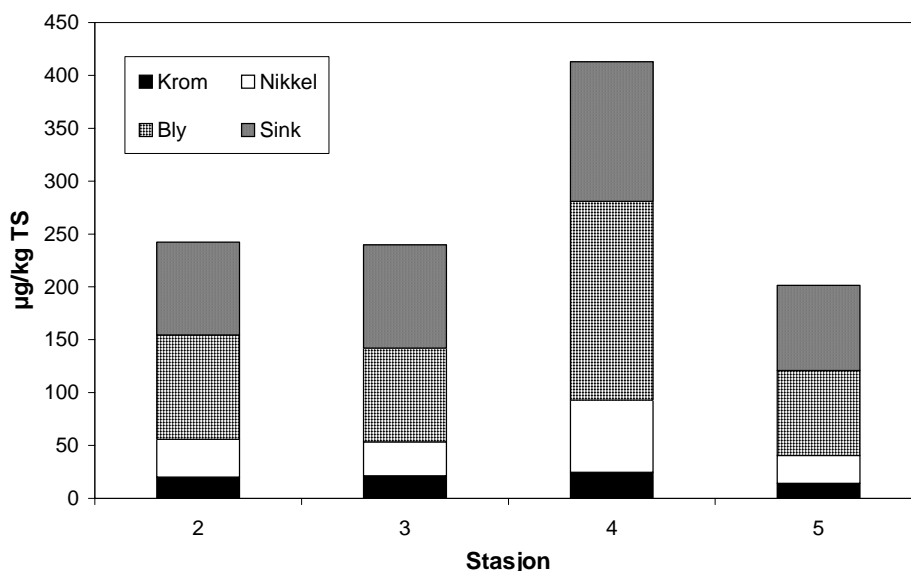
Det ble valgt å analysere for PAH-metabolitter i galle, da fisk er i stand til å nedbryte PAH slik at konsentrasjonene av PAH i muskelvev og organer oftest er svært lavt og ikke nødvendigvis står i noe direkte forhold til belastningen de er utsatt for.

3. Resultater

3.1 Miljøgifter i sediment i Hardelandsvatn

Sedimentet fra St. 1 skilte seg ut som nesten rent uorganisk (sand og grus) med bare 1,4 % organisk innhold, mens de fire øvrige prøver inneholdt mellom 12,3 og 21,4 % organisk materiale. Også disse verdiene er forholdsvis lave sammenlignet med andre innsjøer. Siden mange miljøgifter ofte er knyttet til organisk materiale i sedimentene, er organisk innhold viktig. Dette gjelder alle komponentene som er analysert i denne undersøkelsen. Prøven fra St. 1 ble ikke analysert pga. det lave organiske innholdet.

Innhold av metaller i sedimentprøvene er vist i Figur 3. Her skiller St. 4 seg ut med klart høyere innhold enn de øvrige. Måleverdier og tilstandsklassifisering (SFT 1997a) for de fire stasjonene er vist i Tabell 4.

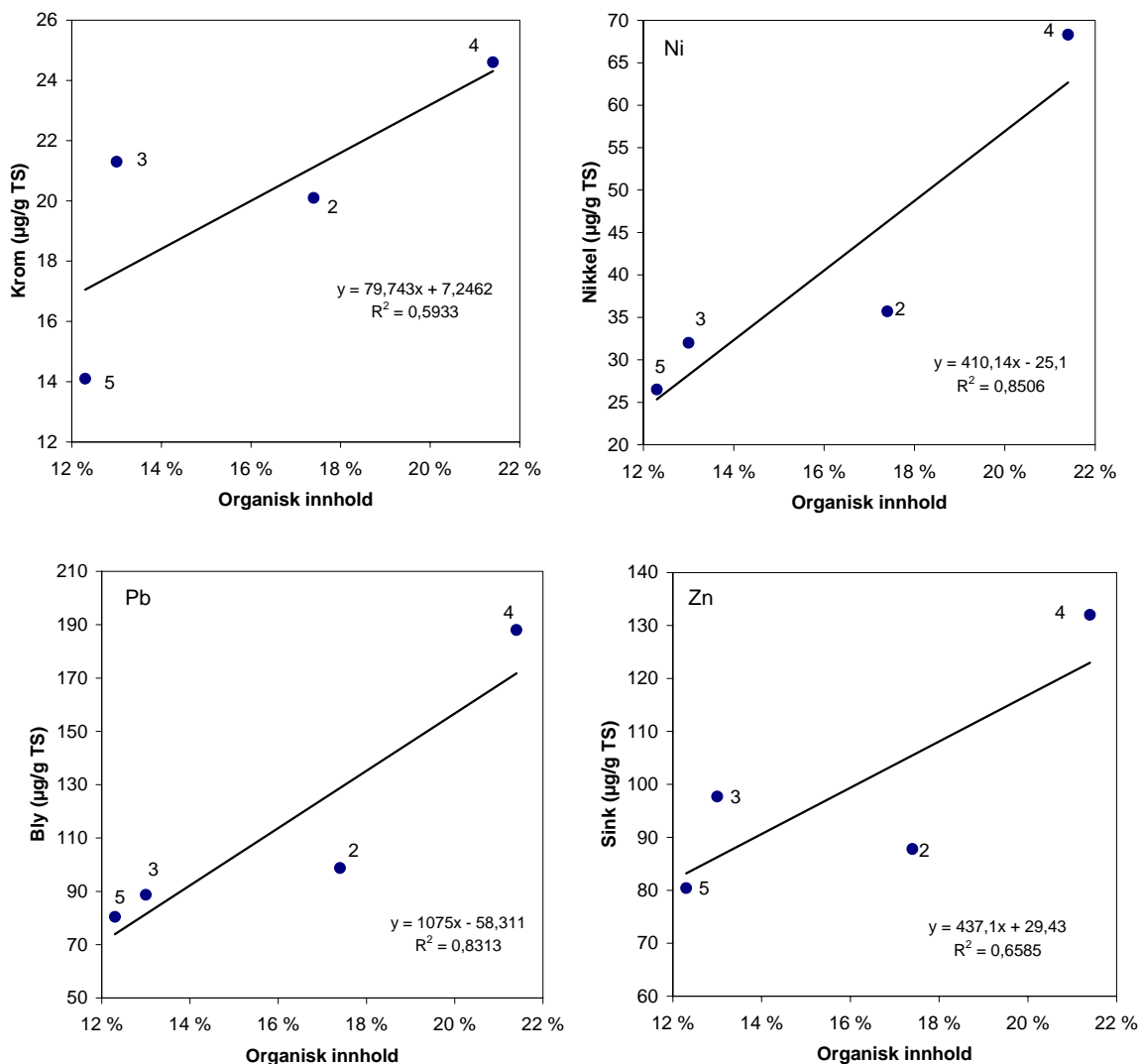


Figur 3. Innholdet av metallene krom, nikkel, bly og sink i sedimentprøver fra stasjon 2-5 i Hardelandsvatn i oktober 2000. Stasjonene er vist i Figur 2.

Av de målte metallene synes bly å representere den alvorligste forurensningen, med verdier for alle stasjoner i tilstandsklasse III (markert forurenset). Ut fra fordelingen på stasjonene synes metallene å ha spredd seg utover innsjøbunnen i Hardelandsvatnet, men mengden på den ytterste stasjonen (5) var noe lavere enn de øvrige (Tabell 4).

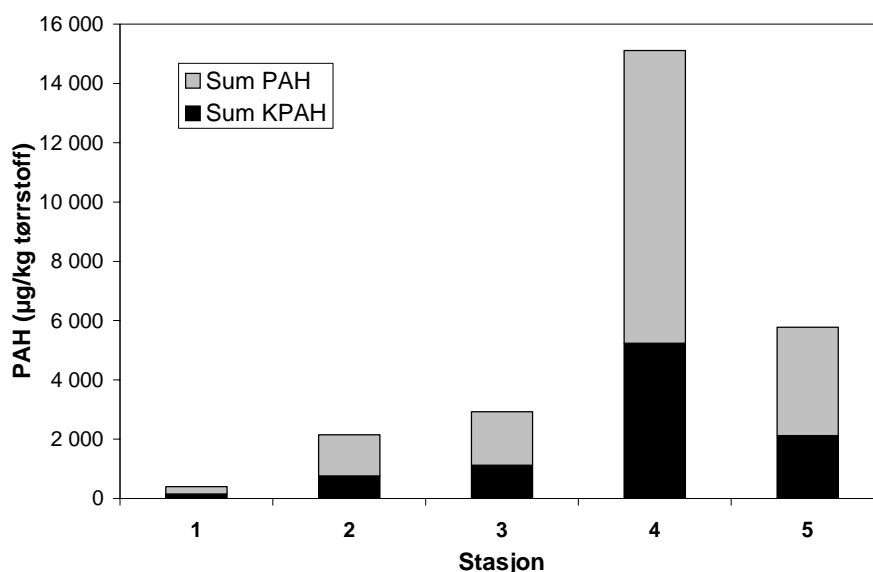
Tabell 4. Tilstandsklassifisering av metallinnhold i sediment fra fire stasjoner i Hardelandsvatn i oktober 2000. Stasjoner og prøvedyp er vist i Figur 2. Tilstandsklassene fra I-V kan beskrives som hhv. lite, moderat, markert, sterkt, og meget sterkt forurenset (SFT 1997a).

Stasjon	Ni		Pb		Zn	
	µg/g TS	Klasse	µg/g TS	Klasse	µg/g TS	Klasse
2	35,7	II	98,7	III	87,8	I
3	32,0	II	88,7	III	97,7	I
4	68,3	II	188	III	132	I
5	26,5	II	80,4	III	80,4	I



Figur 4. Sammenhengen mellom metaller og glødetap (GT) i sedimentet fra 4 stasjoner i Hardelandsvatn.

Innholdet av PAH i sedimentene er vist i Figur 5. For PAH var forskjellene mellom stasjoner langt mer markert enn for metallene. Igjen skiller St. 4 seg ut som klart mest forurenset. Det foreligger ikke noe system for klassifisering av PAH i ferskvann. Dersom vi sammenligner med kriteriene for fjorder og kystfarvann (SFT (1997b)), vil St. 4 vurderes til klasse IV (sterkt forurenset). St. 2, 3 og 5 faller i klasse III (markert forurenset), mens St. 1 faller i klasse II (moderat forurenset). Innholdet av alle målte komponenter er vist i Vedleggstabell 1.



Figur 5. PAH i sediment fra fem stasjoner i Hardelandsvatn oktober 2000. Stasjonene er vist i Figur 2. Den svarte delen av søylene viser andelen av kreftfremkallende PAH-forbindelser (KPAH), mens den grå delen av søylene viser summen av ekte PAH-forbindelser (minus perylen).

Ekte PAHer omfatter en rekke tri- til heksasykliske forbindelser. I tillegg er det analysert for en rekke disykliske beslektede komponenter (naftalener og bifenyler, jfr. Vedleggstabell 1), som ikke regnes med i SFT-kriteriene. Naftalener er derfor utelatt ved klassifiseringene nevnt ovenfor. Et mindre antall PAHer er kjent som potensielt kreftfremkallende, og benevnes gjerne KPAH. Andelen av disse er også vist i Figur 5. Blant KPAHer er i SFTs kriterier for tilstandsklassifisering i fjorder og kystfarvann gitt særskilte kriterier for klassifisering basert bare på benzo(a)pyren. Innholdet av denne forbindelsen på St. 4 (825 µg/kg) ville tilsi tilstandsklasse V (meget sterkt forurenset).

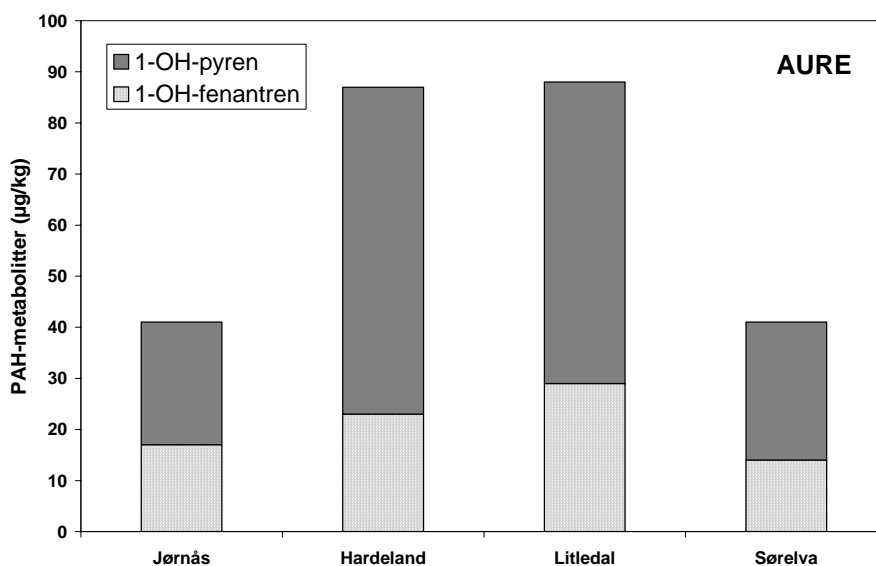
3.2 Miljøgifter i fisk

Alle måleresultater er samlet i Vedlegg B. Innholdet av metaller i fiskefilet var meget lavt på alle stasjonene (Tabell 5). For sink ser vi en svak tendens til økning nedover vassdraget, men for alle metallene lå innholdet meget nær målingene fra referansestasjonen.

Tabell 5. Innhold av metaller i µg/g våtvekt av metallene krom, nikkel, bly og sink i fiskefilet fra undersøkte stasjoner i Litledalsvassdraget oktober 2000.

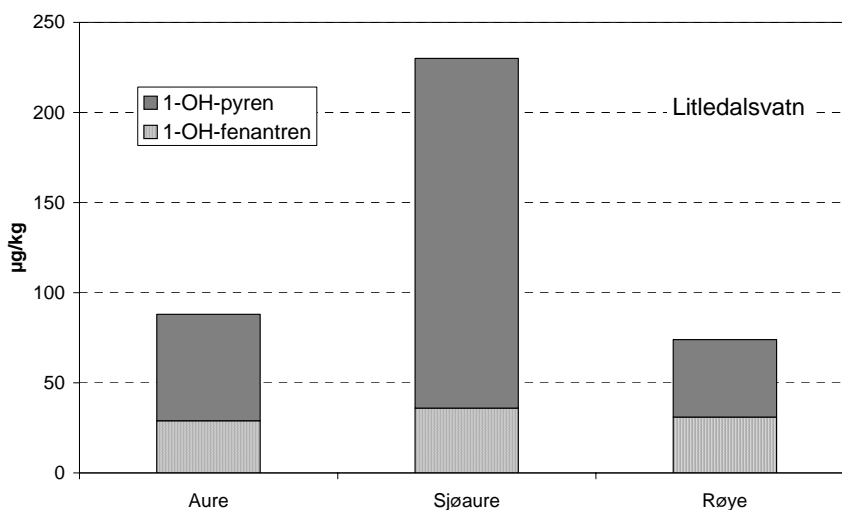
Stasjon	Fiskeslag	Krom	Nikkel	Bly	Sink
Hjørnåsvatn	Aure	0,09	<0,02	<0,02	5
Hardelandsvatn	Aure	0,1	0,04	0,03	6
Litledalsvatn	Aure	0,1	<0,02	<0,02	6
Litledalsvatn	Røye	0,1	0,02	<0,02	7
Sørelva	Aure	0,1	0,02	<0,02	8

Det ble målt innhold av 4 ulike PAH-metabolitter i galleprøvene. Av disse ble to forbindelser ikke påvist, dvs. de lå under deteksjonsgrensen på 10 µg/kg. 1-OH-pyren og 1-OH-fenantren ble imidlertid påvist. Innholdet i stasjonær aure er vist i Figur 6.



Figur 6. Innhold av PAH-metabolittene 1-OH-pyren og 1-OH-fenantren i gallevæske fra aure fanget i Hjørnåsvatn (referansestasjon), Hardelandsvatn, Litledalsvatn og Sørrelva i oktober 2000.

Innholdet av begge metabolitter, men spesielt 1-OH-pyren, lå klart høyere i Hardelandsvatn og Litledalsvatn enn i referanseområdet ovenfor og på den nederste stasjonen. I Litledalsvatn ble målingene utført på tre fiskeslag. Resultatene av disse målingene er vist i Figur 7. Disse målingene kan tyde på at sjøauren har vært eksponert for PAH-forurensning før de vandret opp til Litledalsvatn.



Figur 7. Innhold av PAH-metabolittene 1-OH-pyren og 1-OH-fenantren i gallevæske fra tre fiskeslag fanget i Litledalsvatn i oktober 2000.

4. Diskusjon og vurdering

Målingene av metaller og PAH i sedimenter i Hardelandsvatn viser klart at forurensningen er ujevnt fordelt. Alle forbindelsene viser sammenheng med organisk innhold i sedimentet. Generelt synes det organiske innholdet lavt, spesielt i de grunne områdene. Det synes som om organisk materiale i form av lette partikler i stor grad transporteres ut av innsjøen, trolig pga. den store gjennomstrømmingen av vann i bassenget. Det foreligger ikke noe dybdekart for innsjøen, og vi kjenner derfor ikke dens volum. Dersom vi antar et middeldyp på 10 m (trolig er det mindre), tilsvarer dette et innsjøvolum på 1,7 mill. m³. For mars 2000 er det oppgitt en midlere avtapping til Litledalen kraftverk på 13,2 m³/s (ICG 2000). Teoretisk oppholdstid i bassenget vil i så fall være ca. 1,5 døgn. Dette vil selvsagt variere med kjøring av kraftverkene, men tallene viser at gjennomstrømmingen i perioder kan være stor. Vi kan derfor ikke se bort fra spredning av organiske partikler til Litledalsvatnet nedenfor. Analyse av sedimentpropper fra denne innsjøen vil kunne avklare om spredning av miljøgiftene har vært betydelig, og vil samtidig kunne gi tall for bakgrunnsnivået av metaller og PAH i vassdraget ved å analysere eldre sediment. Siden Litledalsvatnet er et vesentlig større basseng vil trolig det meste av partikler som er spredd via kraftverket og elva sedimentere her.

Målinger av PAH i sedimenter fra andre innsjøer i Norge har vist verdier opp til 25 000 µg/kg (Rognerud m.fl. 1997a; Kaste m.fl. 2001), men de fleste innsjøer selv i urbane strøk har verdier under 5.000 µg/kg (se f. eks. Hobæk 1998). De fleste innsjøer med høyt PAH-innhold i sedimentet har imidlertid et vesentlig høyere organisk innhold enn tilfellet er i Hardelandsvatn. Sett i forhold til mengden organisk stoff må derfor PAH-innholdet på St. 4 betegnes som høyt. Imidlertid var både organisk innhold og PAH-mengden vesentlig lavere i sedimentprøvene fra de andre stasjonene. Dette gjør det vanskelig karakterisere forurensningsnivået i innsjøen, og å vurdere om PAH-mengdene kan få biologiske effekter. Generelt sett er kunnskap om effekter av PAH i økosystemet svært begrenset.

PAH-metabolittene indikerer en merkbar påvirkning av forurensninger på stasjonær fisk i Hardelandsvatn og Litledalsvatn. Innholdet i fisken fra Sørrelva lå imidlertid på nivå med referansestasjonen, og dette kan tyde på at forurensningen i alt vesentlig ikke har nådd nedstrøms Litledalsvatnet. PAH-forbindelsene vil kunne forsette å påvirke fisken over lengre tid enn én sesong, og fortsatt overvåking vil gi verdifulle data. Vi har begrenset sammenligningsgrunnlag for PAH-metabolitter, da det har vært gjort få slike undersøkelser i Norge. I innsjøer på Sørlandet som har vært eksponert for nedfall fra lokale industrikilder ble det imidlertid påvist verdier for 1-OH-pyren i galle opp til 380 µg/kg (Kaste m.fl. 2001), altså tydelig høyere enn i sjøauren fra Litledalsvatn. Også 1-OH-fenatren lå høyere i fisk på Sørlandet, og i tillegg ble det målt 2-OH-Naftalen opp til 300 µg/kg. Den samlede mengden PAH-metabolitter var derfor vesentlig større enn i noen av prøvene fra Litledalsvassdraget. I mindre eksponerte innsjøer på Sørlandet lå verdiene for alle PAH-metabolitter under 50 µg/kg (Kaste m. fl. 2001). Påvirkningen av fisken i Litledalsvassdraget fra utslippet i Hardelandsvatn synes derfor foreløpig å være moderat, selv om nivået av metabolitter i forhold til referansestasjonen var klart høyere.

Konsentrasjonene av metaller i sedimentene var relativt lave, selv om noen av dem lå høyere enn antatt bakgrunnsnivå etter SFT (1997a). Bly skiller seg ut med forholdsvis høyere konsentrasjoner i forhold til SFT-klassifiseringen enn de andre metallene. Verdiene for krom og sink lå forholdsvis lavt og på nivå med mange norske innsjøer som ikke er forurenset av lokale kilder. (Rognerud m. fl. 1997b). Siden vi mangler referansemålinger fra sedimenter i Hardelandsvatn eller nærliggende innsjøer, er det vanskelig å vite hvor mye av metallene som skrives seg fra episoden i 2000 i forhold til f. eks. atmosfæriske avsetninger av bly.

I fiskekjøtt var konsentrasjonene av metaller lave på alle stasjoner og fiskeslag. Det har imidlertid bare gått én vekstsesong siden utslippet fant sted, og transport gjennom næringskjeden kan ta lengre tid.

Det er derfor for tidlig å konkludere om effektene av tungmetallene. Det kan tenkes at det i løpet av lengre tid vil skje en akkumulering av metaller i fiskens næringsdyr, og effekten av dette vil ikke ha gjort seg fullt ut gjeldende enda. For noen miljøgifter som kvikksølv er det kjent at konsentrasjonen øker med fiskens størrelse (biomagnifisering, jfr. Fjeld 1999; Kaste m. fl. 2001). For de aktuelle metallene i Litledalsvassdraget venter vi imidlertid ikke noen slik effekt. Dersom akkumulering finner sted, vil dette skje i andre typer vev enn i muskel. F. eks. vil bly kunne anrikes i skjelett. Med de lave nivåene som er påvist i fisken, synes det derfor ikke å være noen fare med tanke på å spise fisk fra vassdraget.

En tilsvarende konklusjon må trekkes for PAH i fisk. Disse forbindelsene vil heller ikke akkumulere i fiskekjøttet. Det er imidlertid vanskeligere å konkludere sikkert om mulige effekter på fisken eller andre deler av næringskjeden.

Det relativt høye nivået av PAH-metabolitter i sjøaure fra Litledalsvatnet var uventet. Sannsynligvis skyldes dette at fisken har vært utsatt for forurensning i sjøen. Det meste av sjøauren går trolig opp i elva sent på sommeren og vil derfor ikke ha vært i vassdraget lenge før prøvetakingen. I tillegg har fisk på gytevandring vesentlig lavere næringsopptak enn normalt. Vi kan imidlertid ikke utelukke effekter av PAH i vassdraget på sjøauren, siden det er umulig å vite hvor lenge fisken har stått i Litledalsvatn. Analysen er gjort på én blandprøve fra fem fisk, og vi vet derfor heller ikke noe om hvordan mengden PAH-metabolitter varierer i sjøauren.

5. Henvisninger

- Fjeld, E. 1999. Miljøgifter i fisk fra Randsfjorden, 1998. Kvikksølv og klororganiske forbindelser. NIVA-rapport Lnr 4073. 29 s.
- Hobæk, A. 1998. Overvåking av ferskvannsresipienter i Bergen kommune: Miljøgifter i innsjøsedimenter og i avrenning fra avfallsdeponier. NIVA-rapport Lnr. 3793-98. 27 s.
- Inter Consult Group (ICG). 2000. Haugaland Kraft AS. Forurensning ved Hardeland Kraftstasjon, risiko- og tiltaksvurdering. Rapport datert 10.05.2000.
- Kaste, Ø., E. Fjeld & S. Rognerud. 2001. Miljøgifter i innsjøsedimenter og fisk i Agder. NIVA-rapport Lnr. 4334-2001. 52 s.
- Rognerud, S., E. Fjeld, & J.E. Løvik. 1997a. Miljøgifter i innsjøsedimenter. Delrapport 1. Organiske mikroforurensninger. Statlig program for forurensningsovervåkning, SFT, Rapport nr. 712/97. NIVA-rapport Lnr. 3699-97. 37 s. + vedlegg.
- Rognerud, S., E. Fjeld, J.E. Løvik & T. Skotvold. 1997b. Miljøgifter i innsjøsedimenter. Delrapport 2. Tungmetaller og andre sporelementer. Statlig program for forurensningsovervåkning, SFT, Rapport nr. 713/97. NIVA-rapport Lnr. 3880-97. 44 s. + vedlegg.
- Statens forurensningstilsyn. 1997a. Klassifisering av miljøkvalitet i ferskvann. SFT-veiledning 97:04. 31 s.
- Statens forurensningstilsyn. 1997b. Klassifisering av miljøkvalitet i fjorder og kystfarvann. SFT-veiledning 97:03. 36 s.

Vedlegg A. Sedimentanalyser

Vedleggstabell 1. Analyseresultater (metaller og sykliske aromatiske hydrokarboner) fra sedimenprøver tatt i Hardelandsvatn oktober 2000. Stasjoner for prøvetaking er vist i rapportens Figur 2. I de nederste radene er de organiske stoffene summert til disykliske, ekte PAHer (perylene ikke medregnet), og potensielt kreftfremkallende PAHer (KPAH). De sistnevnte er markert med stjerner.

Stasjon -> Dyp for prøvetaking ->	Enhet	St. 1 6 m	St. 2 12 m	St. 3 13 m	St. 4 11 m	St. 5 5 m
Gløderest	g/kg TS	986	826	870	786	877
Organisk innhold	%	1,4	17,4	13,0	21,4	12,3
Krom	µg/kg TS	-	20,1	21,3	24,6	14,1
Nikkel	µg/kg TS	-	35,7	32,0	68,3	26,5
Bly	µg/kg TS	-	98,7	88,7	188	80,4
Sink	µg/kg TS	-	87,8	97,7	132	80,4
Naftalen	µg/kg TS	4	30	31	199	78
2-Metylnaftalen	µg/kg TS	<1	10	8	32	14
1-Metylnaftalen	µg/kg TS	<1	12	9	35	14
Bifenyl	µg/kg TS	1	15	6	19	9
2,6-Dimetylnaftalen	µg/kg TS	<1	9	5	23	9
Acenaftylen	µg/kg TS	<1	4	4	20	6
Acenaften	µg/kg TS	2	22	23	133	40
2,3,5-Trimetylnaftalen	µg/kg TS	<1	3	3	9	4
Fluoren	µg/kg TS	<1	18	17	90	29
Fenantren	µg/kg TS	23	181	224	1 406	490
Antracen	µg/kg TS	7	42	42	191	61
1-Metylfenantren	µg/kg TS	2	32	26	157	52
Fluoranten	µg/kg TS	67	378	488	3 068	1 047
Pyren	µg/kg TS	50	360	397	2 430	830
Benzo(a)antracen *	µg/kg TS	31	198	223	1 482	433
Chrysen + trifenylen	µg/kg TS	49	172	273	1 168	512
Benzo(b + j,k)fluoranten *	µg/kg TS	77	296	487	1 894	881
Benzo(e)pyren	µg/kg TS	30	111	165	654	300
Benzo(a)pyren *	µg/kg TS	22	122	150	825	328
Perylen	µg/kg TS	7	46	45	173	88
Indeno(123cd)pyren *	µg/kg TS	16	111	199	761	367
Dibenzo(a,c/a,h)antracen *	µg/kg TS	3	31	60	277	113
Benzo(ghi)perylene	µg/kg TS	23	98	177	711	330
Sum disykliske	µg/kg TS	7	105	89	470	174
Sum ekte PAHer (minus perylen)	µg/kg TS	400	2 150	2 928	15 114	5 773
Sum KPAHer	µg/kg TS	149	758	1 119	5 239	2 122

Vedlegg B. Analyser på fisk

Vedleggstabell 2. Analyseresultater for innhold av metaller i fiskefilet fra fisk fanget i Litledalsvassdraget 17-18 oktober 2000. Analysene er gjort på blandprøver av 9-10 fisk fra hver stasjon. En oversikt over fiskens størrelse er gitt i rapportens Tabell 3. Innholdet av metaller er oppgitt som µg pr gram våtvekt filet.

Stasjon	Fiskeslag	Cr µg/g	Ni µg/g	Pb µg/g	Zn µg/g
Hjørnåsvatn	Aure	0,09	<0,02	<0,02	5
Hardelandsvatn	Aure	0,1	0,04	0,03	6
Litledalsvatn	Aure	0,1	<0,02	<0,02	6
Litledalsvatn	Røye	0,1	0,02	<0,02	7
Sørelva	Aure	0,1	0,02	<0,02	8

Vedleggstabell 3. Analyseresultater for innhold av PAH-metabolitter i fisk fanget i Litledalsvassdraget 17-18 oktober 2000. Analysene er gjort på blandprøver fra 9-10 fisk fra hver stasjon. For sjøaure besto blandprøven av galle fra 5 fisk. En oversikt over fiskens størrelse er gitt i rapportens Tabell 3. Innholdet av metabolitter er oppgitt som µg pr. kg. "n.d" indikerer at konsentrasjonen var lavere enn deteksjonsgrensen på 10 µg/kg.

Stasjon/fiskeslag	2-OH-naftalen µg/kg	1-OH-fenantren µg/kg	1-OH-pyren µg/kg	3-OH-B[a]P µg/kg
Hjørnåsvatn, aure	n.d.	17	24	n.d.
Hardelandsvatn, aure	n.d.	23	64	n.d.
Litledalsvatn, aure	n.d.	29	59	n.d.
Litledalsvatn, stor sjøaure	n.d.	36	194	n.d.
Litledalsvatn, røye	n.d.	31	43	n.d.
Sørelva, aure	n.d.	14	27	n.d.