



RAPPORT LNR 4732-2003

Metaller og PAH i fisk og
innsjøsedimenter
nedstrøms Hardeland
kraftverk i
Etnevassdraget

Resultater fra høsten 2001

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 2001	Løpenr. (for bestilling) 4732-2003	Dato 14.03.03
	Prosjektnr. Undernr. O-20193	Sider Pris 19
Forfatter(e) Hobæk, Anders	Fagområde Miljøgifter ferskvann	Distribusjon
	Geografisk område Hordaland	Trykket NIVA

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

Sammendrag

Etter en akutt forurensningsepisode i Etnevassdraget våren 2000 overvåkes innhold av miljøgifter (metaller og PAH-metabolitter) i fisk. Det er også tatt prøver av innsjøsediment for å kartlegge spredning av partikkelbundne miljøgifter i vassdraget. Her rapporteres resultater fra prøvetaking i 2001.

Analysen av sediment fra Litledalsvatn (nedstrøms Hardelandsvatn hvor utslippet skjedde) viste tydelig økning i mengder av bly, sink og PAH-forbindelser. Forurensningsnivået for metallene vurderes som moderat, og for PAH-forbindelser som markert.

Innholdet av metaller i filet av aure var lavt i hele vassdraget, men viste likevel forhøyet nivå av bly i fisk fra Hardelandsvatn og noe forhøyet nivå av sink i fisk fra Litledalsvatn og Sørrelva. Sammenlignet med 2000 hadde nivået av bly sunket, mens nivået av sink hadde steget noe (på de to nederste stasjonene). Nivået av PAH-metabolitter var klart forhøyet i Hardelandsvatn, noe forhøyet i Sørrelva, men likt med referansenivået i Litledalsvatn. I forhold til målinger fra 2000 var mengden PAH-metabolitter økt i Hardelandsvatn og Sørrelva, og redusert i Litledalsvatn. Sjøaure fanget i Litledalsvatn hadde et noe høyere nivå av PAH-metabolitter enn stasjonær aure, men nivået var betydelig lavere enn i 2000.

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



Anders Hobæk
Prosjektleder



Anne Lyche Solheim
Forskningsleder



Nils Roar Sæltun
Forskningsssjef

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

Resultater fra høsten 2001

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 andre års prøvetaking. Hovedvekten i prosjektet er lagt på miljøgifter i fisk, men ved andre års undersøkelser ble det også tatt sedimentprøver i Litledalsvatnet.

Feltarbeidet ble utført 25 - 26. september 2001 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.

Bergen, mars 2002

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 Litledalsvatn	9
2.3 Miljøgifter i fisk	9
3. Resultater	11
3.1 Miljøgifter i sediment i Litledalsvatn	11
3.2 Miljøgifter i fisk	13
4. Diskusjon og vurdering	16
5. Henvisninger	17
Vedlegg A. Sedimentanalyser	18
Vedlegg B. Analyser på fisk	19

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 fra andre års undersøkelser, basert på materiale innsamlet i vassdraget i september 2001. I tillegg til fiskeundersøkelser ble det også tatt prøver av sediment i Litledalsvatnet. Hensikten med dette var å undersøke om partikkelbundet forurensning hadde spredd seg nedenfor Hardelandsvatn.

Analysen av sediment fra Litledalsvatn viste et tydelig påslag av bly og sink i sedimentets yngste lag sammenlignet med eldre sediment. For bly og sink kan det øverste sedimentlaget karakteriseres som Moderat forurenset (SFTs tilstandsklasse II). For krom og nikkel fant vi ikke anrikning i sedimentene. PAH-forbindelser viste imidlertid en markert anrikning i de yngste sedimentene i Litledalsvatn. Det foreligger ikke klassifiseringskriterier for PAH i ferskvann, men sammenlignet med kriterier for fjorder og kystfarvann tilsvarer nivået i Litledalsvatn tilstandsklasse III (Markert forurenset). PAH-mengdene tilsvarer et nivå vi ofte finner i innsjøer i tettbygde og trafikkerte strøk. Resultatene indikerer klart at forurensning har blitt spredd nedover i vassdraget, som forventet.

Fiskeundersøkelsene omfattet målinger av de aktuelle metallene i fiskekjøtt (filet), og av metabolitter (nedbrytningsprodukter) av PAH i fiskens galle. 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 også ble analysert på sjøaure i tillegg til stasjonær aure. I Sørrelva ble det fanget ungfisk av aure. Innholdet av metaller i fiskekjøtt var generelt lavt. I forhold til referansenivået i Hjørnåsvatn fant vi likevel 11 ganger mer bly i fisk fra Hardelandsvatn, mens fisk fanget lengre ned i vassdraget ikke viste forhøyede konsentrasjoner. For sink fant vi en svak anrikning (opp til 1,7 ganger referansenivå) nedenfor Hardelandsvatnet. For krom og nikkel var nivået lavt hos fisk fra alle stasjoner.

Mengden PAH-metabolitter i galle fra stasjonær aure lå 13 ganger høyere i Hardelandsvatn enn i Hjørnåsvatn. Også i ungfisk fra Sørrelva var nivået forhøyet (vel 7 ganger høyere), mens aure i Litledalsvatn synes upåvirket. Sammenlignet med målinger fra 2000 hadde mengden PAH-metabolitter økt i Hardelandsvatn og i Sørrelva, men sunket i Litledalsvatn. Også i sjøaure fra Litledalsvatn fant vi lavere verdier enn i 2000, men høyere enn i stasjonær aure fra den samme innsjøen.

Overvåkingen har vist at miljøgiftene fra utslippet i 2000 er spredd nedover vassdraget, og at noen av komponentene fortsatt er tilstede i næringsnett. Dette gjelder særlig bly og PAH-forbindelser. Forurensningsnivået må totalt sett vurderes som moderat. De biologiske effektene av PAH for fisken er usikre.

Summary

Title: Metal and PAH concentrations in lake sediments and fish below Hardeland hydroelectric power station in the Etne River: Results from September 2001.

Year: 2003

Author: Hobæk, Anders

Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN No.: ISBN 82-577-4404-2

Lake Hardelandsvatn was exposed to an acute pollution incident during spring 2000, which released considerable amounts of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) and heavy metals into the Etne river system. A surveillance program was established 2000-2002 following the incident. This report provides the results of the second year of surveillance. In autumn 2000, variable amounts of PAH compounds and metals were detected in the lake sediments of Lake Hardelandsvatn. The short retention time of this lake suggested that pollutants would be transported downstream, and accumulation in the larger Lake Litledalsvatn situated downstream could be expected.

A sediment core from Lake Litledalsvatn taken in 2001 confirmed downstream spreading of lead, zinc and PAH compounds. Recent sediments were enriched in these substances compared with older sediments. The level of metal pollution is considered as moderate, while PAH levels seem to depart markedly from reference conditions.

Analysis of metal contents in fish muscle tissue revealed a clearly elevated level of lead in brown trout from Lake Hardelandsvatn, but not in fish caught downstream. For zinc, we found slightly elevated levels in muscle tissue of trout caught at the two downstream stations (Lake Litledalsvatn and river Sjørelva below). At the two latter stations, we observed an increase in the zinc levels from 2000 to 2001.

We analysed four PAH metabolites in bile from brown trout. Only two of them were detected. The highest level (13 times above reference level) was recorded in Lake Hardelandsvatn, while in the downstream lake the level was close to the reference level. In river Sjørelva still further downstream, the level was again somewhat elevated. For the two stations with elevated metabolite levels, we observed an increase from 2000 to 2001. The opposite was the case in Lake Litledalsvatn, where metabolite levels were higher in 2000.

The surveillance has shown that pollutants released in 2000 have been spread downstream, and that some of the compounds (particularly lead and PAH) are still present in the food web, including resident brown trout. Nonetheless, the level of pollution is moderate.

1. Innledning

Et arbeidsuhell våren 2000 ved Hardeland Kraftverk i Etne, Hordaland, førte til at malingrester inneholdende flere miljøgifter ble ført ut i Litledalsvassdraget (Sørelva), 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 videre 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 spredt over et større område i Hardelandsvatnet enn forventet, trolig pga. sterk vannstrøm ved utløpet av kraftstasjonen 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.

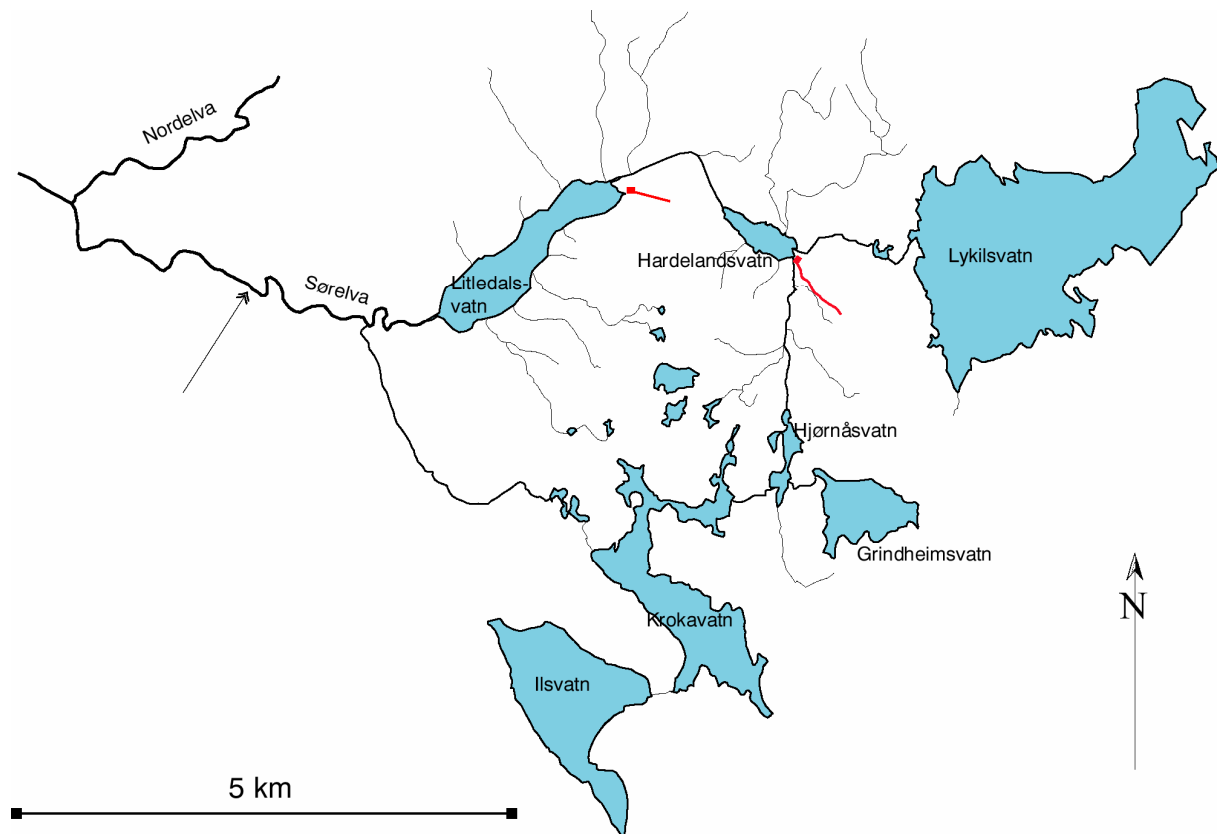
Overvåkingsprogrammet for perioden 2000-2002 utføres av NIVA. Dette inkluderer prøvetaking av fisk på flere stasjoner i vassdraget hver høst. De første prøvene i programmet ble tatt høsten 2000 (Hobæk 2001). Undersøkelsene høsten 2000 påviste svært variable mengder miljøgifter i sediment i Hardelandsvatn. Innholdet av metaller i filet fra aure var ubetydelig høyere i de påvirkede delene av vassdraget sammenlignet med referansestasjonen. PAH-metabolitter i galle fra aure lå høyere i Hardelandsvatn og Litledalsvatn enn i Hjørnåsvatn (referanse), mens aureunger fra Sørelva hadde PAH-metabolitter på samme nivå som referansen. Røye fra Litledalsvatn hadde samme nivå av PAH-metabolitter som aure, mens sjøaure hadde over dobbelt så høyt nivå.

Her rapporteres resultatene av prøvetaking høsten 2001. I tillegg til undersøkelser av fisk, ble det også tatt prøver av sediment i Litledalsvatn for å undersøke om forurensningen har spredt seg nedover i vassdraget etter at massene ble spylt ut i Hardelandsvatn.

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 25-26 september 2001. Innsjønumrene er løpenummer i NVEs 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 Litledalsvatn

Sedimentprøvene ble tatt 26.09.01 på 22 m dyp. Stasjonen var midt ute på den øvre halvdel av innsjøen. Det ble benyttet en sediment-corer, som tar opp en propp av sedimentet fra dets overflate ned til 20 – 30 cm, avhengig av sedimentets fasthet. I Litledalsvatnet var proppen ca 20 cm lang. Det ble tatt ut tre delprøver (horisontale snitt) fra proppen: 0-1 cm (det yngste sedimentet); 1-2 cm, og 18-19 cm. Det dypeste sedimentet er langt eldre og tjener som referanse eller sammenligningsgrunnlag for å vurdere innholdet av miljøgifter i de øverste og yngste sedimentlagene.

Analyser ble utført ved NIVAs laboratorium i Oslo. Det ble analysert for de komponenter som tidligere var påvist: PAH (23 komponenter), 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). Tapt 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 ble utført etter NIVAs metode H 2-3 (Ekstraksjon og opparbeiding av PAH i sedimenter). Prøvene ble tilsatt indre standarder og PAH ekstrahert i Soxhlet med diklormetan. Ekstraktet gjennomgikk så ulike renseprosesser for å fjerne forstyrrende stoffer. Til slutt ble ekstraktet analysert med GC/FID eller GC/MSD. PAH ble identifisert med FID ut fra retensjonstider og med MSD ut fra retensjonstider og forbindelsenes molekylioner. Kvantifisering ble utført ved hjelp av de tilsatte indre standarder.

2.3 Miljøgifter i fisk

Det ble fisket med 3 garn i Hardelandsvatn og 7 garn i Litledalsvatn. Garna ble satt enkeltvis fra land. I referanselokaliteten Hjørnåsvatnet ble det satt to garn. Garna sto ute fra 25. til 26. september. I Sørrelva nedenfor utløpet av Litledalsvatn (ved Rygjabø) ble det både 25. og 26. september fisket med elektrisk fiskeapparat. 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. Fra Litledalsvatn ble det tatt galleprøver av 4 sjøaure. Det ble ikke fanget noe røye i Litledalsvatn i 2001.

Tabell 2. Fangster i Litledalsvassdraget 25-26. september 2001. 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		Laks	
		Fangst	Prøver	Fangst	Prøver	Fangst	Prøver
Hjørnåsvatn	2	28	10				
Hardelandsvatn	3	53	10				
Litledalsvatn	7	35	10	5	4 ¹		
Sørelva (el. fiske)	-	10	10			4	

¹ bare prøve av galle er analysert

Den stasjonære fisken var småfallen i alle vatna, og de fleste aurene var under 25 cm lange (Tabell 3). Snittlengden hos aure det ble tatt prøver av lå mellom 20 og 23 cm i de tre innsjøene. Sjøaurene fra Litledalsvatn var langt større fisk (33,5 - 56,0 cm lengde). Fisken som ble fanget på Sørelva kan være avkom av både sjøaure og stasjonær aure. Dette var naturlig nok mindre fisk (middel lengde 9,9 cm). I Sørelva ble det også fanget noen få ungfisk av laks, men det ble ikke tatt prøver av disse.

En oversikt over den analyserte fiskens størrelse er vist i Tabell 3. Den frosne fisken ble oppbevart i dypfryser til utskjæring av fileten. Dette ble utført ved NIVAs Vestlandsavdeling. Under ukontaminerte (rene) forhold ble det dissekert ut skinn- og beinfrie prøver av skjellett-muskulaturen (muskelfilet) fra hver fisk. Blandprøvene besto av jevnstore vevsprøver (4-5 g) fra hvert individ, og ble lagret på glødede glass forseglet med glødet aluminiumsfolie. Ungfsken fra Sørelva var så små at filetene fra de enkelte fisk bare var 2,5 g i snitt. Alle prøvene ble oppbevart nedfrosset ved -20 °C inntil de ble sendt laboratoriet for analyse. I Tabell 3 er det også angitt samlet prøvestørrelse for hver blandprøve av fileten til metallanalyser. For PAH analyser ble all galleblære som var i galleblærene tatt ut. Blandprøver fra 10 fisk pr stasjon ble laget i felt. Prøvene ble oppbevart nedfrosset ved -80 °C inntil de ble sendt laboratoriet for analyse.

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

Stasjon	Art	N	Lengde (cm)	Prøvestørrelse (g)
Hjørnåsvatn	Aure	10	18,2 – 26,5	52,3
Hardelandsvatn	Aure	10	19,2 – 24,5	59,0
Litledalsvatn	Aure	10	17,9 – 27,0	52,8
Sørelva	Aure	10	6,2 – 12,6	25,2

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.

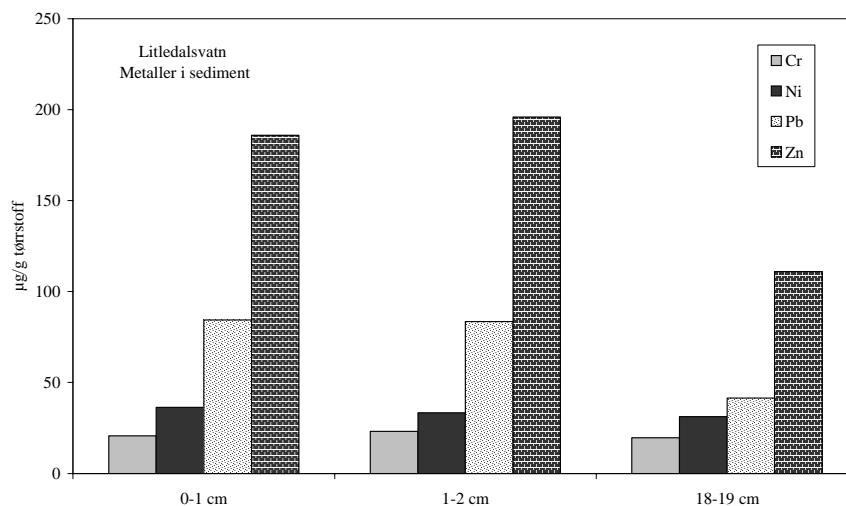
Galleprøvene ble analysert for PAH-metabolittene 2-OH-naftalen, 3-OH-benzo(a)pyren, 1-OH-pyren, og 1-OH-fenantren etter at gallen var spaltet enzymatisk. Proteinene i prøvene ble felt med en alkohol, og det ble analysert direkte på supernatanten (den overliggende væsken) ved hjelp av HPLC fluorescence-deteksjon.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

Det ble analysert 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 Litledalsvatn

Sedimentet fra Litledalsvatn hadde et forholdsvis lavt innhold av organisk materiale (10,8-14,3%). Innhold av metaller i sedimentprøvene er vist i Figur 2. Måleverdier og tilstandsklassifisering (SFT 1997a) for de fire stasjonene er vist i Tabell 4. Det nyeste sedimentet (nivåene 0-1 og 1-2 cm i sedimentet) skilte seg fra det dypere nivået med høyere nivå av bly og sink.



Figur 2. Innholdet av metallene krom, nikkel, bly og sink i sedimentprøver fra Litledalsvatn i september 2001.

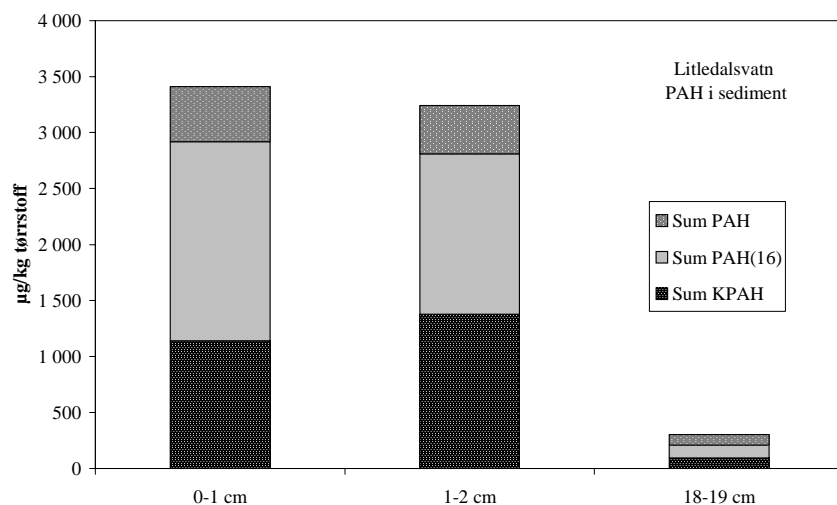
Konsentrasjonen av metaller var lav i sedimentene, selv om det var markert forskjell mellom eldre og yngre lag. I forhold til SFTs tilstandskriterer viste sink og bly verdier tilsvarende tilstandsklasse II (moderat forurenset) mot klasse I i referansesedimentet (Tabell 4). For bly fant vi omtrent dobbelt så høye verdier i de øverste sedimentlagene som i det dypere referansenivået. Sink lå ca. 1,7 ganger så høyt som referansenivået, mens for nikkel (tilstandsklasse I i alle lag) og krom (ingen kriterier gitt for klassifisering) var forskjellen ubetydelig.

Tabell 4. Metallinnhold i sediment fra Litledalsvatn i september 2001. Analysene er utført på sediment fra tre nivåer i sedimentet. Tilstandsklassene fra I-V kan beskrives som hhv. lite, moderat, markert, sterkt, og meget sterkt forurenset (SFT 1997a). For krom (Cr) foreligger det ikke kriterier for klassifisering

Nivå (cm)	Ni		Pb		Zn		Cr
	µg/g TS	Klasse	µg/g TS	Klasse	µg/g TS	Klasse	µg/g TS
0-1	36,4	I	84,5	II	186	II	20,7
1-2	33,3	I	83,5	II	196	II	23,2
18-19	31,3	I	41,5	I	111	I	19,7

Innholdet av PAH i sedimentene er vist i Figur 3. For PAH var forskjellen mellom de øvre og dypere lag i sedimentet svært tydelig. For totalt PAH (uten perylen) var konsentrasjonen i yngste lag ca 11 ganger konsentrasjonen i eldste lag. Det synes derfor klart at en del av PAHene fra episoden i 2000 er blitt spredd nedover i vassdraget, og en del av disse har akkumulert i Litledalsvatn. Totalmengden PAH i Litledalsvatnets yngste sediment lå på ca. ¼ av den høyeste målingen fra sediment i Harde-landsvatn i 2000, men målingene herfra var svært variable (Hobæk 2001).

Det foreligger ikke kriterier for klassifisering av PAH i sedimenter i ferskvann, men hvis vi sammenligner med kriteriene for fjorder og kystfarvann (SFT (1997b), vil resultatene for de øverste sedimentlagene vurderes til klasse III (markert forurenset). Innholdet av alle målte komponenter er vist i Vedleggstabell 1.



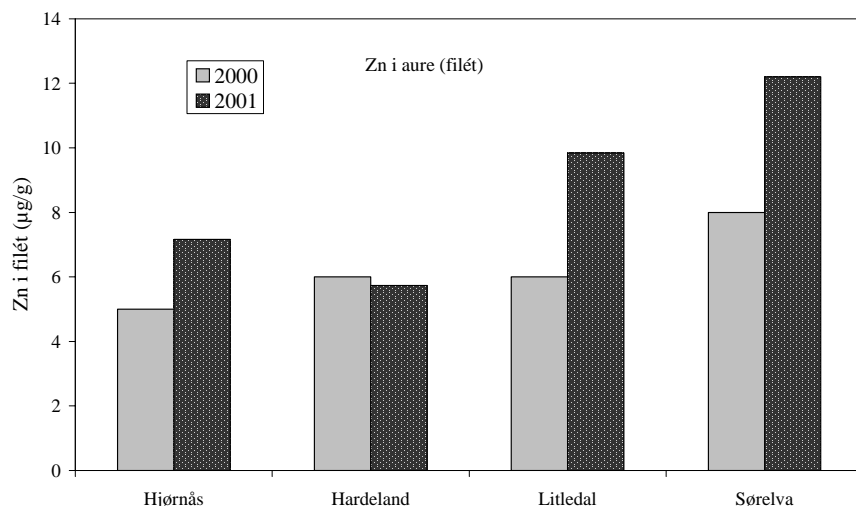
Figur 3. PAH i sediment fra Litledalsvatn september 2001. Den mørkeste delen av søylene viser andelen av kreftfremkallende PAH-forbindelser (KPAH), mens den lys grå delen av søylene viser summen av 16 PAH-forbindelser som vanligvis analyseres. Hele søylen viser summen av alle PAH-forbindelser som er analysert (perylen er ikke inkludert).

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 3. Blant KPAHer er det i SFTs kriterier for tilstandsklassifisering i fjorder og kystfarvann gitt særskilte kriterier for klassifisering basert bare på benzo(a)pyren. Innholdet av denne forbindelsen i de øverste sedimenlagene lå rundt 200 µg/kg, som er grensen mellom klasse III og IV (sterkt forurenset).

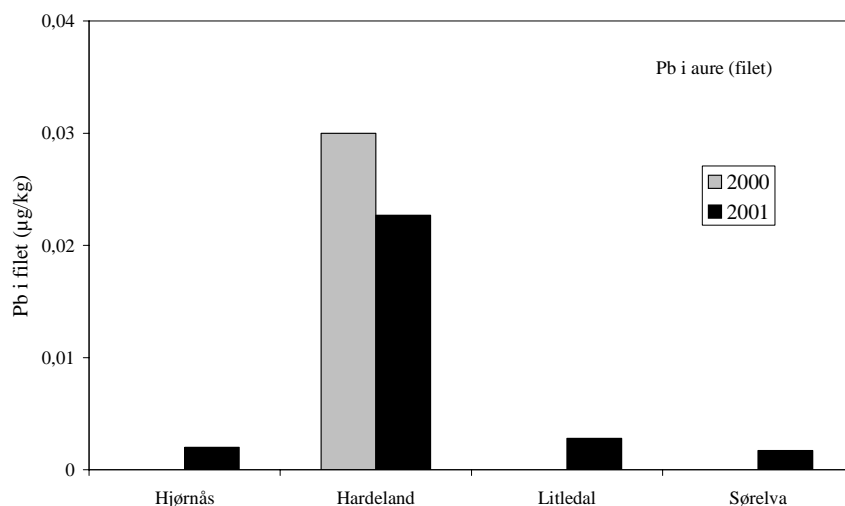
Perylen er ikke medregnet i summene av PAH, fordi denne komponenten synes å opptre som et naturlig nedbrytningsprodukt i innsjøsedimenter (Rognerud m.fl. 1997a). Mengden perylen var høy i det eldste sedimentet og i sjiktet 1-2 cm, men lav i det yngste sedimentet (Vedleggstabell 1).

3.2 Miljøgifter i fisk

Måleresultater er samlet i Vedleggstabellene 2 og 3. Innholdet av metaller i fiskefilet var generelt lavt. For nikkel og krom var det ingen forskjell mellom referansestasjonen on vassdraget nedenfor. For sink så vi en svak tendens til økning i vassdraget nedenfor Hardelandsvatn (Figur 4), og en svak økning i sinkmengden fra 2000 til 2001. Dette gjaldt også i referanselokaliteten. Forskjellene er små og nivået lavt. Vi ikke kan se bort fra naturlig variasjon som hovedårsak til de observerte små forskjellene, så disse behøver ikke ha med forurensningsepisoden å gjøre.



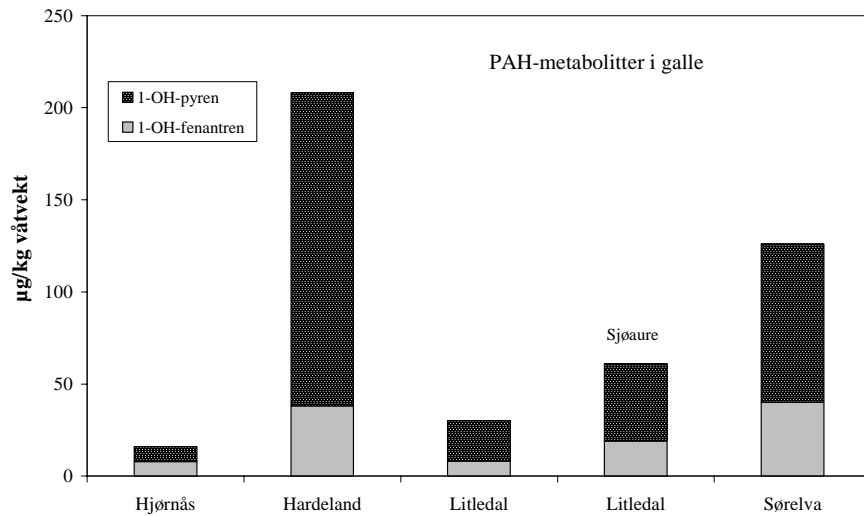
Figur 4. Målinger av sink (Zn) i filet av aure i Litledalsvassdraget i 2001 og 2000. Analysene er gjort på blandprøver av filet fra 10 fisk på hver stasjon.



Figur 5. Målinger av bly (Pb) i filet av aure i Litledalsvassdraget i 2001 og 2000. Analysene er gjort på blandprøver av filet fra 10 fisk på hver stasjon. I 2000 lå måleverdiene under deteksjonsgrensen i tre av innsjøene, og det er derfor ikke plottet verdier for disse.

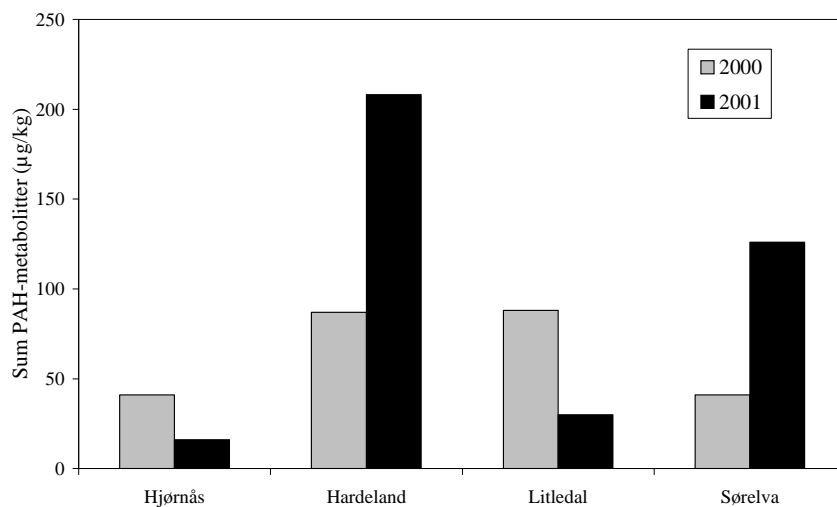
For bly var forholdene annerledes (Figur 5). Både i 2000 og 2001 fant vi her et klart forhøyet nivå i fisk fra Hardelandsvatn. Derimot lå verdiene i Litledalsvatn og Sørrelva på samme nivå som i Hjørnåsvatn i 2001, og under deteksjonsgrensen i 2000. Det ser derfor ut til at bly har blitt tatt opp i fiskens næringsnett i Hardelandsvatn, men ikke lenger ned i vassdraget.

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. Måleresultater er vist i Figur 6 og i Vedleggstabell 3.



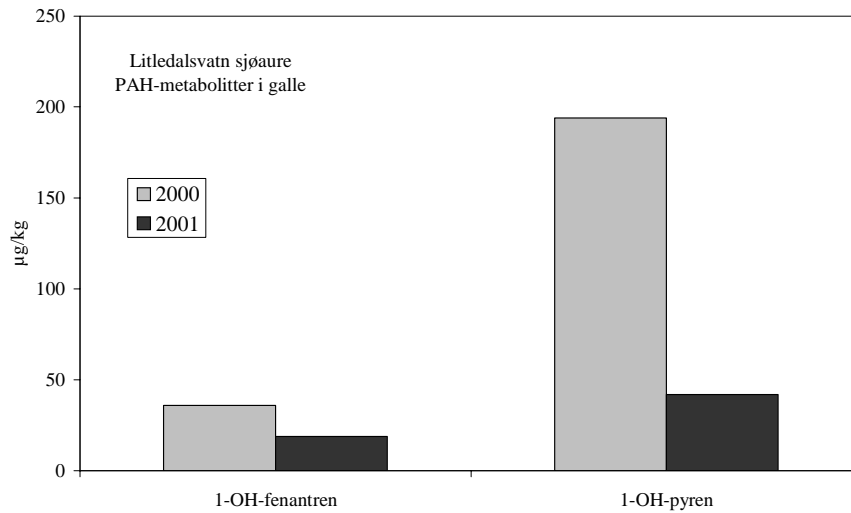
Figur 6. Innhold av PAH-metabolittene 1-OH-pyren og 1-OH-fenantren i gallevæske fra aure fanget i Hjørnåsvatn (referansestasjon), Hardelandsvatn, Litledalsvatn og Sjørelva i september 2001.

Innholdet av begge metabolitter, men spesielt 1-OH-pyren, lå klart høyere i Hardelandsvatn og i Sjørelva enn i referanseområdet. Sammenlignet med målingene fra 2000 (Figur 7) fant vi en økning i mengden PAH-metabolitter hos aure i Hardelandsvatn og i Sjørelva. Derimot var nivået hos aure i Litledalsvatn lavere i 2001 enn i 2000. I denne innsjøen var mengden metabolitter i 2001 på nivå med referansestasjonen, mens Hardelandsvatn og Sjørelva lå høyere. Basert både på referansemålingene i Hjørnåsvatn og annet erfaringsmateriale (Kaste m.fl. 2001) synes den stasjonære auren i Litledalsvatn å ha falt tilbake på et normal nivå av PAH eksponering, mens effekter av PAH-eksponering er tydelige både ovenfor og nedenfor Litledalsvatn.



Figur 7. Mengden PAH-metabolitter (1-OH-pyren og 1-OH-fenantren) i gallevæske hos aure målt på fire stasjoner i Litledalsvassdraget i 2000 og 2001.

I Litledalsvatn ble målinger også utført på sjøaure. Resultatene av disse målingene er vist i Figur 8, sammenlignet med resultatene fra 2000. Nivået av PAH-metabolitter var fortsatt høyere i sjøaure enn i stasjonær aure, men det høye nivået fra 2000 fant vi ikke igjen i 2001. PAH-metabolitter i sjøauren reflekterer eksponering for PAH-forurensning i sjøen, og kan ikke knyttes til forurensning i vassdraget.



Figur 8. Innhold av PAH-metabolittene 1-OH-pyren og 1-OH-fenantren i gallevæske fra sjøaure fanget i Litledalsvatn i september 2001.

4. Diskusjon og vurdering

Vi fant forhøyete konsentrasjoner av sink, bly og særlig PAH i sedimenter fra Litledalsvatn, og har dermed verifisert antagelsen om at forurensningen er spredt nedover i vassdraget. Siden Litledalsvatn er et større basseng enn Hardelandsvatn vil trolig en vesentlig del av partiklene transportert gjennom kraftverket og elva sedimentere her. Selv om utslagene på målingene var klare, må det presiseres at forurensningsnivået for metallene var lavt, og for PAH moderat. Vi finner tilsvarende PAH-nivå i innsjøer i tettbygde strøk (se f. eks. Hobæk 1998), mens det i innsjøer påvirket av industri er påvist opp til 25.000 µg/kg PAH i sedimentene (Kaste m. fl. 2001). Den høyeste PAH-verdi målt i Litledalsvassdraget var 15.000 µg/kg (Hardelandsvatn i 2000; Hobæk 2001). Imidlertid var nivået i Hardelandsvatn vesentlig lavere på fire andre stasjoner i bassenget (Hobæk 2001), og den høyeste målingen er derfor ikke representativ. Fra Litledalsvatn har vi bare måling fra én stasjon, men denne kan antas å være representativ for innsjøen siden vi her har mer normale sedimentasjonsforhold og prøven er tatt i det dypeste området hvor akkumulering av sediment skjer.

Effektene av PAH i økosystemet er lite kjent. PAH-metabolittene som er påvist i fisk i vassdraget indikerer en merkbar påvirkning på stasjonær fisk i Hardelandsvatn og Sørrelva. Årsaken til et lavere nivå i det mellomliggende Litledalsvatn er uklar. Forholdet kan tenkes å henge sammen med fiskens næringsvalg. Hardelandsvatnet er preget av stor gjennomstrømming, har grovt bunnsubstrat og svært lite organisk materiale. Dette kan bety at bunndyra har felles trekk med rennende vanns fauna, mens Litledalsvatn kan ha et bunndyrsamfunn mer typisk for innsjøer. Opptak av PAH gjennom næringsnett vil være helt avhengig av hvilke næringsdyr som dominerer i fiskens diett. Vi har imidlertid ingen data på bunndyr fra disse stasjonene, og fiskens mageinnhold er heller ikke undersøkt.

Av metallene vi har målt i fiskekjøtt er det bare bly som viser en klar økning som kan settes i direkte forbindelse med utslippet av blåsesand i 2000, og dette gjelder bare i Hardelandsvatnet. Noen metaller som kvikksølv akkumulerer i fiskekjøtt over tid (såkalt biomagnifisering, se Fjeld 1999, Kaste m.fl. 2001), men dette gjelder ikke for bly som evt. kan akkumulere i fiskens skjelett istedet. Dersom tilgjengeligheten av bly i fiskens næringsnett reduseres over tid, kan vi forvente at mengden i fiskekjøtt også vil avta. Videre overvåking vil kunne gi svar på om og eventuelt hvor fort dette vil skje.

Resultatene så langt i overvåkingsprogrammet har vist at forurensning er spredt nedover i vassdraget, og at noen av komponentene finnes igjen i stasjonær fisk. Forurensningsnivået synes imidlertid moderat. Videre overvåking kan gi et interessant tidsbilde av miljøgiftenes tilgjengelighet i økosystemet.

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.
- Hobæk, A. 2001. Metaller og PAH i fisk og innsjøsedimenter nedstrøms Hardeland kraftverk i Etnevassdraget. Resultater fra høsten 2000. NIVA-rapport Lnr. 4403-2001. 20 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 på 22 m dyp i Litledalsvatn september 2001. I de nederste radene er de organiske stoffene summert til disykliske komponenter, ekte PAHer (perylene ikke medregnet), sum 16 PAHer som er vanlige å analysere (disse er angitt med uthevet betegnelse), og potensielt kreftfremkallende PAHer (KPAH). De sistnevnte er markert med stjerne.

	For- kortelse	Enhet	Nivå i sediment		
			0-1 cm	1-2 cm	18-19 cm
Gløderest		g/kg TS	857	872	892
Organisk innhold		%	14,3	12,8	10,8
Krom	Cr	µg/kg TS	20,7	23,2	19,7
Nikkel	Ni	µg/kg TS	36,4	33,3	31,3
Bly	Pb	µg/kg TS	84,5	83,5	41,5
Sink	Zn	µg/kg TS	186	196	111
Naftalen		µg/kg TS	38	32	8
2-Metylnaftalen		µg/kg TS	74	46	27
1-Metylnaftalen		µg/kg TS	50	30	17
Bifenyl		µg/kg TS	-	-	-
2,6-Dimetylnaftalen		µg/kg TS	92	36	23
Acenaftylen		µg/kg TS	23	19	<5
Acenaften		µg/kg TS	31	9	<5
2,3,5-Trimetylnaftalen		µg/kg TS	25	20	12
Fluoren		µg/kg TS	36	28	14
Fenantren		µg/kg TS	327	194	34
Antracen		µg/kg TS	58	44	<5
1-Metylfenantren		µg/kg TS	56	37	<5
Fluoranten		µg/kg TS	449	303	15
Pyren		µg/kg TS	382	263	12
Benzo(a)antracen *		µg/kg TS	193	171	10
Chrysen + trifenylen		µg/kg TS	273	279	14
Benzo(b + j,k)fluoranten *		µg/kg TS	527	705	35
Benzo(e)pyren		µg/kg TS	194	265	15
Benzo(a)pyren *		µg/kg TS	212	184	24
Perylen		µg/kg TS	288	1 926	2 075
Indeno(123cd)pyren *		µg/kg TS	169	280	26
Dibenzo(a,c/a,h)antracen *		µg/kg TS	38	38	<5
Benzo(ghi)perylene		µg/kg TS	162	260	17
Sum disykliske		µg/kg TS	333	192	87
Sum ekte PAHer (minus perylen)		µg/kg TS	3 409	3 243	303
Sum 16 PAHer		µg/kg TS	2 918	2 809	209
Sum KPAHer		µg/kg TS	1 139	1 378	95

Vedlegg B. Analyser på fisk

Vedleggstabell 2. Analyseresultater for innhold av metaller i fiskefilet fra fisk fanget i Litledalsvassdraget 25-26 september 2001. Analysene er gjort på blandprøver av 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	0,039	0,006	0,0020	7,16
Hardelandsvatn	Aure	0,041	0,008	0,0227	5,73
Litledalsvatn	Aure	0,055	0,009	0,0028	9,84
Sørelva	Aure	0,058	0,010	0,0017	12,2

Vedleggstabell 3. Analyseresultater for innhold av PAH-metabolitter i fisk fanget i Litledalsvassdraget 25-26 september 2001. Analysene er gjort på blandprøver fra 10 fisk fra hver stasjon. For sjøaure besto blandprøven av galle fra 4 fisk. En oversikt over fiskens størrelse er gitt i rapportens Tabell 3. Innholdet av metabolitter er oppgitt som µg pr. kg. "i.d" indikerer at forbindelsen ikke er detektert i prøven.

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	i.d.	7,9	8,1	i.d.
Hardelandsvatn, aure	i.d.	38	170	i.d.
Litledalsvatn, aure	i.d.	8,0	22	i.d.
Litledalsvatn, stor sjøaure	i.d.	19	42	i.d.
Sørelva, aure	i.d.	40	86	i.d.