

NIVA



RAPPORT LNR 3369-95

Igangkjøring av Hekni Kraftverk

2. Eksponering av bleke for partikulært materiale fra kraftverkstunnelen



Overst: Bleke 24 cm. Byglandsfjord.
Nederst: Orret 24 cm. Byglandsfjord.

NIVA - RAPPORT

Norsk institutt for vannforskning



NIVA

Prosjektnr.: O-95008	Undernr.:
Løpenr.: 3369-95	Begr. distrib.:

Hovedkontor Postboks 173, Kjelsås 0411 Oslo Telefon (47) 22 18 51 00 Telefax (47) 22 18 52 00	Sørlandsavdelingen Televeien 1 4890 Grimstad Telefon (47) 37 04 30 33 Telefax (47) 37 04 45 13	Østlandsavdelingen Rute 866 2312 Ottestad Telefon (47) 62 57 64 00 Telefax (47) 62 57 66 53	Vestlandsavdelingen Thormøhlensgt 55 5008 Bergen Telefon (47) 55 32 56 40 Telefax (47) 55 32 88 33	Akvaplan-NIVA A/S Søndre Tollbugate 3 9000 Tromsø Telefon (47) 77 68 52 80 Telefax (47) 77 68 05 09
--	---	--	---	--

Rapportens tittel: Igangkjøring av Hekni Kraftverk. II. Eksponering av bleke for partikulært materiale fra kraftverkstunnelen.	Dato: 30.11.95	Trykket: NIVA 1995
	Faggruppe: Vassdragsregulering	
Forfatter(e): Magne Grande Sigbjørn Andersen Vilhelm Bjerknes Agnar Kvellestad (Statens veterinære laboratorietjeneste, Veterinærinstituttet)	Geografisk område: Aust-Agder	
	Antall sider: 20	Opplag:

Oppdragsgiver: Aust Agder Kraftverk	Oppdragsg. ref.: Per Juell Larsen
--	--------------------------------------

Ekstrakt: <p>Det er foretatt en eksponering av egg og yngel av bleke (ferskvannslaks) fra Byglandsfjord i vann fra Otra tilsatt forskjellige konsentrasjoner av steinstøv fra Hekni kraftverkstunnel. Eksponeringen ble vesentlig utført i plastkar ved Syrtveit fiskeanlegg i Evje i et tidsrom av 4 uker i perioden 26. april - 24. mai 1995. Det ble tilsatt steinstøv i konsentrasjoner fra 40-200 mg/l. Tilsetningen medførte en økning i pH og innhold av kalsium i vannet. Eksponeringen medførte ingen dødelighet eller adferdsendringer. Undersøkelse av gjellene viste at råvannkvaliteten var slik at jern, og trolig også aluminium, medførte gjelleforandringer av skadelig karakter. Tilsetning av slam bedret vannkvaliteten og reduserte dermed omfanget av nevnte forandringer.</p>

4 emneord, norske

1. Tunnelsprenning
2. Suspenderte partikler
3. Bleke
4. Laboratorietester

4 emneord, engelske

1. Tunnel blasting
2. Suspended particles
3. Landlocked salmon
4. Laboratory tests

Prosjektleder

Vilhelm Bjerknes

For administrasjonen

Dag Berge

ISBN 82-577-2899-3

O-95008

Igangkjøring av Hekni Kraftverk

2. Eksponering av bleke for partikulært materiale fra kraftverkstunnelen

Oslo, 30. november 1995

Saksbehandler: Vilhelm Bjerknes

Medarbeidere: Sigbjørn Andersen
Magne Grande
Agnar Kvellestad
Geir Solberg
Dag Uleberg

Forord

Aust-Agder Kraftverk og Vestfold Kraftselskap har bygget Hekni Kraftverk, som skal settes i drift høsten 1995. Kraftverket utnytter fallet i Otra mellom Straume og Valle kommune og Langeid i Bygland kommune. I tilløps- og avløpstunnelene ligger det igjen rester av utsprengt masse, for en stor del finpartikulært materiale, som vil bli vasket ut i forbindelse med igangkjøringsprogrammet for kraftverket.

I et møte i Grimstad 25. januar 1995 mellom Fylkesmannens Miljøvernavdeling i Aust-Agder, Aust-Agder Kraftverk og NIVA, ble NIVA bedt om å levere et forslag til undersøkelser av mulige skader fra uorganiske partikler på fisk og bunndyr i vassdraget nedstrøms Langeid, samt et program for overvåking av vannkvalitet og fisk under oppstartingen av kraftverket. Det er særlig den truede Byglandsfjordbleken (ferskvannslaks) man ønsker ivaretatt gjennom slike undersøkelser.

I programforslag fra NIVA levert 3. februar 1995 foreslås trinnvise undersøkelser i 4 faser:

Fase 1: Karakterisering av partikler.

Fortynnings- og spredningsestimater av partikulært materiale.

Foreløpig vurdering av skadevirkninger.

Fase 2: Eksperimentell eksponering av fisk for suspendert materiale fra kraftverkstunnelen.

Fase 3: Forundersøkelse i vassdraget og overvåking av vannkvalitet og fisk under igangkjøringen av Hekni Kraftverk.

Fase 4: Etterundersøkelse av biologiske effekter.

I prosjektbeskrivelsen som er levert Aust-Agder Kraftverk, er de ulike delprosjektene grovt skissert. Det forutsettes at den endelige formulering av det enkelte delprosjekt skal bygge på resultatene av foregående delprosjekt.

Aust-Agder Kraftverk v/Per Juell Larsen er oppdragsgiver for prosjektet. Prosjektleder ved NIVA har vært Vilhelm Bjercknes. I forprosjektfase II, som presenteres her, har Vilhelm Bjercknes, Sigbjørn Andersen, Magne Grande fra NIVA, og Agnar Kvellestad, Statens veterinære laboratorietjeneste, planlagt og fastsatt det eksperimentelle opplegget. Sigbjørn Andersen har i samarbeid med Geir Solberg og Dag Uleberg ved Syrtveit fiskeanlegg montert det anvendte forsøksanlegg. Den praktiske gjennomføring er, bortsett fra et mindre orienterende forsøk ved NIVA, utført av Geir Solberg og Dag Uleberg ved Syrtveit fiskeanlegg. Agnar Kvellestad har foretatt undersøkelse av gjeller fra fisk. Magne Grande, Agnar Kvellestad og Vilhelm Bjercknes har utarbeidet den foreliggende rapport.

Bergen i november 1995

Vilhelm Bjercknes
Vilhelm Bjercknes

Innhold

Forord	1
Sammendrag	4
1. Innledning.....	5
2. Beskrivelse av forsøksopplegg og metoder	6
3. Resultater.....	7
3.1 Fysisk/kjemiske forhold	7
3.2 Dødelighet og utvikling av rogn og yngel	11
3.3 Histologisk undersøkelse av gjeller.....	13
4. Diskusjon og konklusjon	14
5. Referanser.....	16
Vedlegg	17

Sammendrag

Det er foretatt en eksponering av egg og yngel av bleke (ferskvannslaks) fra Byglandsfjord i ubehandlet vann fra Otra tilsatt forskjellige konsentrasjoner av steinstøv fra Hekni kraftverkstunnel. Eksponeringen ble vesentlig utført i plastkar ved Syrtveit fiskeanlegg i Evje i et tidsrom av 4 uker i perioden 26. april - 24. mai 1995. Det ble tilsatt steinstøv i konsentrasjoner fra 40-200 mg/l. Tilsetningen medførte en økning i pH og innhold av kalsium i vannet. Eksponeringen medførte ingen dødelighet eller adferdsendringer. Histologisk undersøkelse av gjellene viste forandringer av skadelig karakter med akkumulering av jern, og trolig også aluminium. Disse forandringene var størst i kontrollgruppen med ubehandlet vann uten steinstøv og minst i gruppen eksponert for 200 mg steinstøv.

1. Innledning

I fase 1 av denne undersøkelsen ble foretatt kornfordelingsanalyse og undersøkelser av bergarts-sammensetning og mineralinnhold i partikler fra støvprøver i tunnelen til Hekni kraftverk (Skoglund 1994, Bjerknes og medarb. 1995). Videre ble det utført beregninger av konsentrasjoner av ulike partikkelfraksjoner i Otra og Byglandsfjord ved to alternative strømhastigheter. Det ble også samlet inn opplysninger over hvilke effekter suspenderte partikler kan ha på livet i vann. Resultatene er presentert i en rapport (Bjerknes og medarb. 1995).

Konklusjonene i denne rapporten var at konsentrasjonene ville bli lave i de viktige vassdragsavsnittene for bleke og at en under normale forhold ikke kunne forvente skadevirkninger. Det ble likevel besluttet å gjennomføre noen enkle eksponeringsforsøk med bleke (ferskvannslaks) fra Byglandsfjord ved Syrtveit fiskeanlegg i Evje. Fordelen var at en her kunne utføre forsøkene med den aktuelle fiskeart i vann fra Otra.

2. Beskrivelse av forsøksopplegg og metoder

Et innledende forsøk ble utført i NIVAs laboratorium med laks i et 28 l plexiglass-sylinder med omrøring av en propell ved bunnen. Røreverket ble drevet av en overvanns elektrisk motor. Kontakt mellom fisk og røreverk ble unngått ved å plassere en rist ca 5 cm over bunnen (Hessen, 1992). Det ble benyttet 3 laks (0+) fra Sandvikselva med vekt ca 2.5 g. Det ble benyttet 23 l laboratorievann (Maridalsvannet) tilsatt 1.8 g steinstøv, dvs. ca 80 mg/l fra Heknitunnelen. Temperaturen under forsøkene var $10 \pm 0.8^{\circ}\text{C}$. Vannet ble ikke luftet. Forsøket pågikk i 28 dager fra 16. februar til 16. mars og fisken ble ikke fóret i denne perioden. Etter forsøket ble det fra fisken tatt ut gjeller for histologisk undersøkelse ved Veterinærinstituttet.

Forsøkene i Syrtveit fiskeanlegg ble utført i 4 sorte plastdunker med 80 l vann, samt i 2 plexiglass-sylindere som beskrevet ovenfor. I hver av plastdunkene ble vannet holdt i bevegelse ved hjelp av en sirkulasjonspumpe med kapasitet 2280 liter i timen. Vannet ble spylt ut mot sentrum av karenes bunn for å holde steinstøvet mest mulig i suspensjon. Testkarene ble delvis neddykket i gjennomstrømmende vann fra elva (Otra) for kjøling. Temperaturen, oksygen og pH ble målt daglig.

I tre av plastdunkene ble tilstatt tunnelstøv til konsentrasjoner 200, 80 og 40 mg/l, den fjerde var uten steinstøv og tjente som referanse. Vannet og steinstøvet ble skiftet ut en gang pr. døgn, dvs. et så kalt semistatisk system. Oksygen, temperatur og pH ble registrert i nylagede testløsninger etter ett døgn. Forut for forsøket gikk all forsøksfisken i vann fra Otra tilsatt NaOH med heving av pH til 6.5. Under forsøket ble det brukt ubehandlet vann fra Otra.

I hvert av plastkarene ble satt ut 25 årsyngel av bleke fra Syrtveit fiskeanlegg i størrelser på ca 6.5-11 cm og vekter på ca 1-12 g ved forsøkets start. Disse hadde ikke vært fóret på 2 døgn før forsøkstart og holdt under observasjon for å plukke ut eventuelle fisk med unormale reaksjoner eller tegn til sykdom. Fisken ble eksponert i 4 uker (26. april -24. mai) og etter hver uke ble det tatt ut 5 fisk for undersøkelse av gjeller. Etter eksponeringstidens slutt ble de resterende fisk holdt i rent vann i 4 uker (24. mai -28. juni) for observasjon. Under forsøksperioden ble fisken holdt under daglig observasjon og eventuell dødelighet, adferdsendringer etc. notert. Fisken ble ikke fóret under hele forsøket.

Ved forsøksstart og hver uke ble det tatt vannprøver for fysisk/kjemiske analyser. Fisk som ble tatt ut for gjelleundersøkelser ble bedøvet i chlorbutanol og målt og veiet. Før uttak av gjeller ble fisken bløgget ved å skjære av halen. Gjeller for histologisk undersøkelse ble tatt ut og fiksert i 10% fosfat-buffret formalin. Ved Veterinærinstituttet ble det støpt i parafin, og det ble skåret snitt som ble farget med en standard hematoksylin og eosin metode. Snitt fra enkelte gjeller ble i tillegg farget med ferro-heksacyanid, som gir Perls Berlinerblåttreaksjon i tilfelle treverdige jern er til stede i vevet. Snittene fra gjellene ble undersøkt i lysmikroskop. Først ble det undersøkt hvilke forandringer som var de gjennomgående, og deretter ble disse graderte som ikke påvist, sparsomme, moderate eller uttalte.

I hvert kar ble det lagt ned 2 rognbokser, hver med 12 kamre - tilsammen 24 stk. rogn. I de to plexiglass-sylindrene, med 200 mg steinstøv/l, ble det lagt ned 2 rognbokser av samme type som i plastkarene. I tillegg ble det her lagt ned en fransk Viberteske med 20 rogn. Denne esken er konstruert slik at yngelen kan slippe ut etterhvert som plommesekken brukes opp.

Rogna ble observert daglig og eventuell død rogn eller yngel registrert. Vannet ble her ikke skiftet i forsøksperioden.

3. Resultater

3.1 Fysisk/kjemiske forhold

Testkarene ble tilsatt steinstøv i mengder på 16, 6.4 og 3.2 g som skulle gi 200, 80 og 40 mg/l i 80 l kar. Hensikten med vannsirkulajonen var å holde mest mulig av slammet i suspensjon. I rapporten fra fase 1 er gitt en beskrivelse av steinstøvet kornfordeling, morfologi og bergartssammensetning (Bjerknes og medarb. 1995). Denne viser at en del av støvet er grovt og dermed får høy synkehastighet. I tabell 1 er vist konsentrasjonene av tørrstoff i vannprøver fra karene etter ett døgn, dvs. ved skift av løsning. En må da anta at en har den maksimale sedimentasjon, dvs. minst konsentrasjon av suspendert materiale i karene.

Tabell 1. Konsentrasjon av suspenderte partikler som tørrstoff og gløderest samt turbiditet i vannprøver fra testkarene ca 24 timer etter dosering.

Dato 1995	Dosert mg/l	Turbiditet FTU	Tørrstoff mg/l	Gløderest mg/l
04.05	200	5.0	16.4	15.0
18.05	"	4.6	12.6	12.1
24.05	"	1.9	4.2	4.0
04.05	80	3.0	4.6	3.4
18.05		20	5.2	4.2
24.05		1.2	0.8	<0.2
05.05	40	1.7	4.4	3.1
12.05		1.2	2.9	1.9
18.05		1.7	2.6	1.4
24.05		2.2	1.9	0.7
04.05	0 (kontr.)	0.30 <0.30	1.5 <1.5	<0.2
12.05	"	0.92	1.4	0.71
18.05	"	0.43	0.47	<0.2
24.05	"	0.39	1.2	<0.2

Tabellen viser at den vesentlige delen av støvet sedimenterer og blir liggende på bunn og vegger til tross for sterk omrøring. Vannprøver fra karet med 200 mg/l dosert steinstøv viser f.eks. at det etter 24 timer bare er fra 12-4 mg/l i suspensjon til tross for sterk omrøring.

Fra plexiglass-sylindrene er ikke tatt vannprøver, men det antas at en vesentlig større del av partikkelmassene her blir holdt i suspensjon på grunn av den sterke oppdriften fra propellen.

I tabell 2 er oppført kjemiske data for forsøksvannet ved to tidspunkter samt vann fra karet tilsatt den høyeste støvkonsentrasjon (200 mg/l) ved et tidspunkt. Resultatene viser at forsøksvannet er svakt surt, har et lavt innhold av uorganiske komponenter som f.eks. Ca og Mg samt løste organiske stoffer.

Tabell 2. Fysisk/kjemiske data av vannprøver tatt fra forsøkskar med (200 mg/l) støvtilsetning og uten (kontroll).

Parameter	Prøve Dato	Kontroll		Steinstøv 200 mg/l 4/5
		4/5	24/5	
pH		6.03	5.96	6.52
Kond.	mS/m	1.75	1.63	2.31
Alk	m.mol/l	0.054	0.048	0.104
Cl	mg/l	2.2	2.1	2.5
SO ₄	mg/l	1.9	1.8	2.0
NO ₃ -N	µg/l N	139	145	165
Tot.N/L	µg/l N	450	320	545
Ca	mg/l	0.84	0.83	2.0
Mg	mg/l	0.22	0.22	0.46
Na	mg/l	1.35	1.30	1.56
K	mg/l	0.24	0.20	0.38
Al/R	µg/l	49	50	28
Al/L	µg/l	28	30	25
TOC	mg/l C	1.4	1.4	
TOC/DC	mg/l			1.9

Tilsetning av steinstøv forårsaker en økning av pH, alkalitet, samt innhold av uorganiske stoffer som f.eks. Ca (0.84 → 2.0 mg Ca/l).

I forsøksperioden ble det daglig målt temperatur, oksygen og pH i forsøkskarene. Resultatene av temperaturmålingene er fremstilt i fig. 1. Temperaturen varierte stort sett i området 5-8 °C i plastdunkene, mens den lå fra 4.6-6.7 i plexiglass-sylindrene. Som det fremgår av figuren var det noe spredning i temperaturene mellom de forskjellige dunkene. Forskjellen var imidlertid ikke så stor (maks. 3.1 °C) at det kan tenkes å ha hatt noen innflytelse på resultatene av betydning. Stort sett var temperaturen i kar 3 (40 mg tunnelstøv) litt høyere enn de øvrige. Temperaturen i de to plexiglass-sylindrene var praktisk talt identiske og avvek maksimalt 0.6 °C.

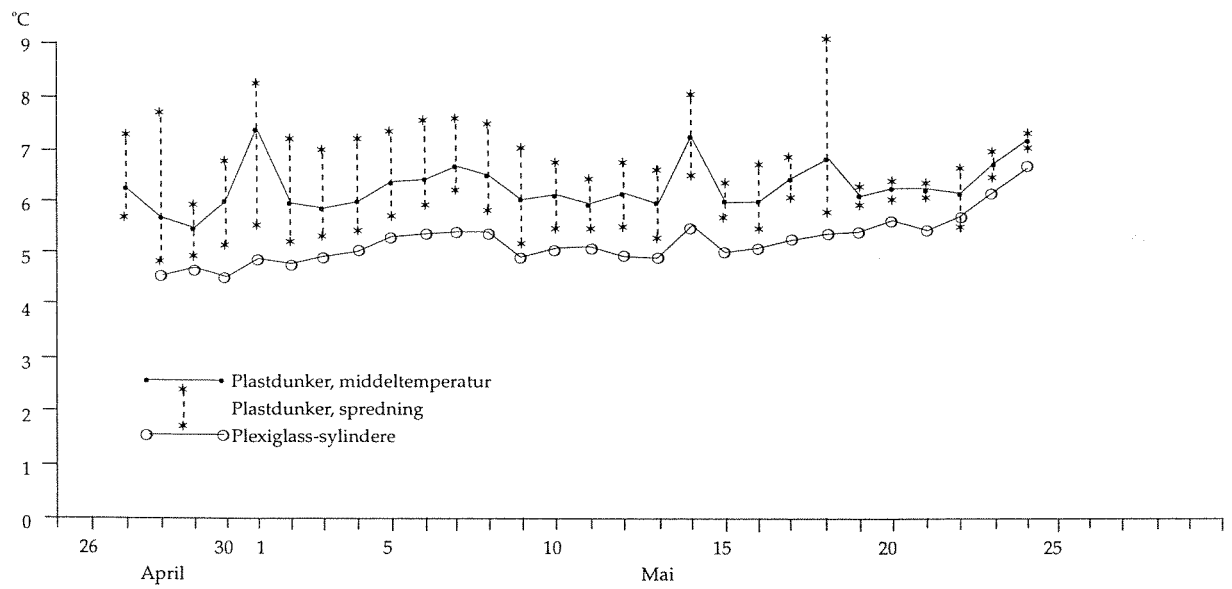


Fig. 1. Temperatur i forsøkskarene under eksponeringsperiodene.

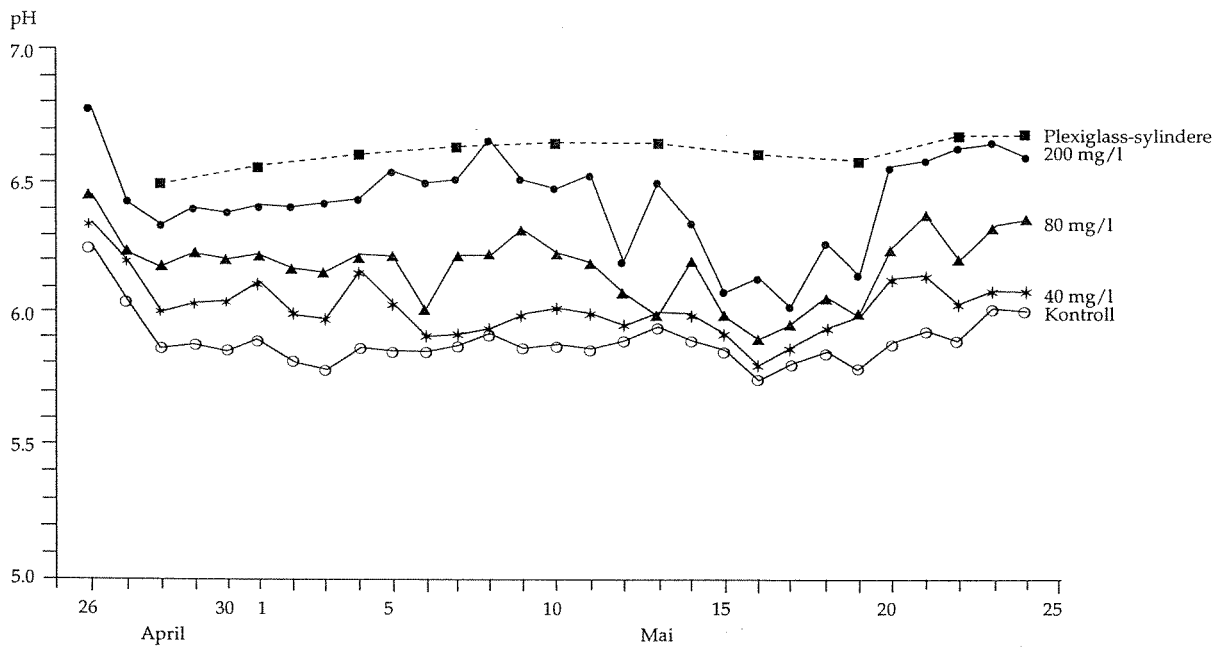


Fig. 2. pH i plastdunker og plexiglass-sylindere.

Oksygeninnholdet varierte under hele eksponeringsperioden stort sett mellom 80-90 % metning eller ca. 9-11 mg O₂/l i plastdunkene. Laveste målte verdi var 69 % metning (8.9 mg/l) i kar 2 ved en anledning (28/4). I plexiglass-sylindrene lå metningen stort sett mellom 95-100 %, dvs. 11.5-12.5 mg O₂/l. Forskjellen mellom de enkelte kar i hver serie var liten (0-10 %) og ikke systematisk). EIFAC angir at stabile konsentrasjoner over 7 mg O₂/l ikke vil ha noen negative effekter overfor fisk under ellers normale forhold (Alabaster and Lloyd, 1982).

I fig. 2 er gitt en oversikt over pH i plastdunkene og plexiglass-sylindrene under eksponeringen. Det fremgår her at støvtilsetningen medførte økning i pH fra omlag 0.2-0.6 pH enheter i plastdunkene. I dunkene med 200 mg/l tunnelstøv varierte pH mellom ca. 6.8 og 6.0, mens kontrollvannet hadde pH-verdier mellom ca. 6.25 og 5.75. I de to plexiglass-sylindrene som begge hadde 200 mg/l støv, var pH jevnt høyere enn i plastdunkene. Dette skyldes bl.a. at vannet her ikke ble skiftet og at omrøringen var noe bedre.

I rent kjemisk henseende synes støvtilsetningen å ha en positiv effekt ved å heve pH og øke konsentrasjonen av viktige stoffer som kalsium, magnesium etc. Dette har en viss betydning fordi vannet i Otra er surt og har et lavt innhold av disse stoffene.

3.2 Dødelighet og utvikling av rogn og yngel

Det ble ikke registrert dødelighet eller adferdsendringer blant lakseungene i det innledende forsøk utført ved NIVA. Heller ikke i forsøket ved Syrtveit oppsto dødelighet blant laksungene i plastdunkene med støvtilsetning eller uten. Fisken viste tilsynelatende normal adferd. På fisk som ble tatt ut etter 2 ukers eksponering, og som det ble undersøkt gjeller fra, ble det imidlertid iaktatt at gjellene var noe mer slimete på fisken i dunkene med 200 og 80 mg/l enn i 40 mg/l og kontrolldunken.

Fisken ble ikke fóret og det har derfor mindre interesse å se på eventuelle vektforandringer under eksponeringsperioden. Vekttap kan allikevel ha en viss sammenheng med graden av stresspåvirkning.

I fig. 3 er vist middelverdier for kondisjonsfaktorene ($K = \text{vekt(g)} \cdot 100 / \text{lengde(cm)}^3$) for de fem fisk som hver uke ble tatt ut for (histologisk) undersøkelse av gjellene. De viser en synkende tendens gjennom hele perioden, men det er ikke signifikante forskjeller mellom de ulike grupper. Kondisjonsfaktoren ligger lavest i kontrollgruppen både etter 1 og 4 ukers eksponering.

Roggen som ble lagt inn i plastdunkene ved forsøksstart 26. april klekket allerede i løpet av 2 dager i forsøket. Yngelen overlevde hele eksponeringsperioden praktisk talt uten dødelighet i samtlige konsentrasjoner. Etter 19 døgn døde en yngel i dunken med 200 mg/l tunnelstøv. I plexiglass-sylindrene med 200 mg/l oppsto ingen dødelighet.

Forsøkene viste så langt at det ikke kunne påvises negative effekter av tunnelstøvet i form av dødelighet eller endret adferd i løpet av forsøksperioden, hverken på rogn, yngel eller større laksunger.

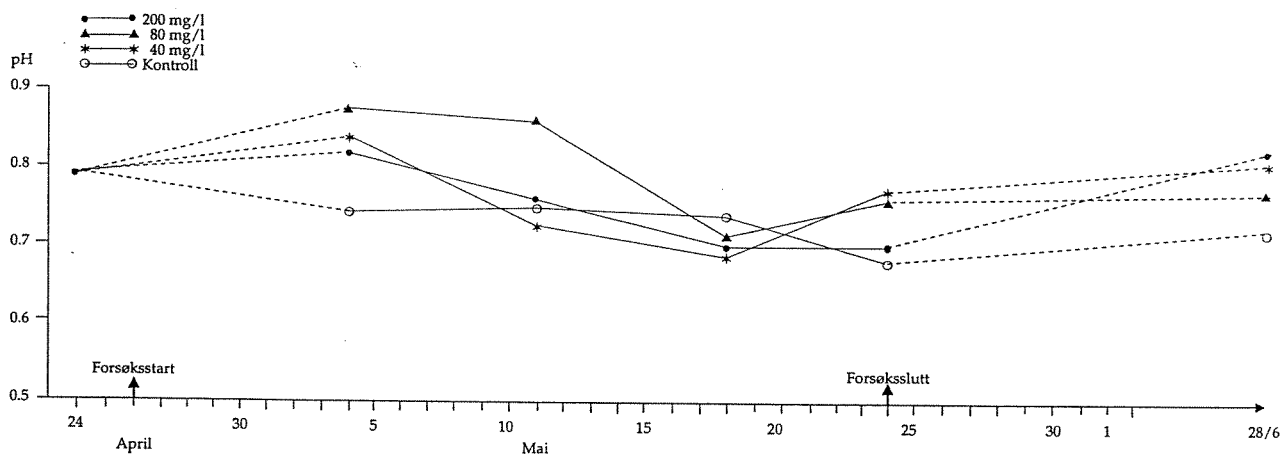


Fig. 3. Kondisjonsfaktorer for bleke tatt ut for analyse av gjelleprøver ved ulike eksponeringsperioder

3.3 Histologisk undersøkelse av gjeller

I det innledende forsøket utført ved NIVA ble det ikke funnet histologiske forandringer hverken i kontroll eller eksponert gruppe. Forandringer som ble funnet å være gjennomgående i forsøket ved Syrtveit, og som ble graderte, er følgende:

- adhesjoner (sammenloddning av den ytterste delen av gjellenes sekundærblader)
- fortykkelse av epitelet (fortykkelse på grunn av flere og/eller større epitelceller)
- nekrose (død) av epitelceller
- brune masser i epitelet
- materialavleiringer på epiteloverflaten (dvs. på gjelleoverflaten).

Se Vedlegg 1: "Histologisk undersøkelse av gjeller "

Etter 8 dagers eksponering viste kontrollfiskens gjeller sparsomme til moderate forandringer i form av materialavleiringer på overflaten, forekomst av brune masser i epitelet og fortykkelse av epitelet. Nevnte avleiringer og masser inneholdt treverdige jern.

Nevnte forandringer var mindre på den eksponerte fisken, og minst på den som var eksponert for 200 mg/l.

Etter 15 dagers eksponering var alle ovenfor nevnte forandringer til stede på fisk i alle grupper, men i minst grad i gruppen eksponert for 200 mg/l, som skilte seg fra de andre gruppene. I tillegg var det på dette tidspunktet nekrose av epitelceller, men i minst grad i 200 mg/l-gruppen.

Forandringene var igjen noe mindre omfattende etter 22 og 28 dagers eksponering. Etter 35 dagers restitusjon var det lite forandringer å se på gjellene fra fisk i alle gruppene.

4. Diskusjon og konklusjon

Forsøkene viste ingen negative resultater av partikkeleksponering overfor overlevning eller adferd. Ved gjelleundersøkelsene ble det påvist jern både på gjelleoverflaten og inne i vevet. Det ble ikke undersøkt for aluminium, men begge metallene kan forekomme sammen og samtidig med nevnte vevsforandringer hos fisk som i lengre tid har gått i vann med suboptimal pH (Kvallestad et al., 1995). De relativt større gjelleforandringene i de eksponerte gruppene etter 15 dager og utover, forekommer samtidig med en lavere pH i vannet.

Dersom vannkvalitetsbedringen som ble observert i slutten av mai, også var til stede utover i juni, kan det forklare de sparsomme forandringene som ble funnet på fisk som gikk på restitusjon i 35 dager.

Vannkvaliteten er slik at jern, og trolig også aluminium, medfører gjelleforandringer av skadelig karakter. Tilsetning av støv bedrer vannkvaliteten og reduserer dermed omfanget av nevnte forandringer.

Forsøket er utført med en vannkvalitet som gjør det vanskelig å studere eventuelle (direkte) effekter som steinstøvet måtte ha på gjellene.

Steinstøvet ble tilsatt i mengder som langt vil overskride det en kan forvente i Otra eller Byglandsfjord ved åpningen av kraftverkstunnelen ved Hekni. Den høyeste tilsatte mengde i forsøket var 200 µg/l, mens en ved en vannføring på 100 m³/sek kan forvente maksimalt ca 35 mg/l i Otra. En vesentlig del av partiklene sedimenterte til tross for sterk omrøring i karene. Dette vil også skje i vassdraget avhengig av strøm og bunnforhold. Tidsrommet for maksimal konsentrasjon i Otra er ca 5.5 timer (Bjerknes og medarb. 1995). Hele igangkjøringsprogrammet har imidlertid en varighet av ca 55 døgn. I forsøket ble fisken eksponert i 4 uker, noe som skulle være tilstrekkelig for å konstatere eventuelle skadevirkninger.

Forsøkene ble utført med bleke, fordi dette er en særlig verneverdig fisk i Otravassdraget og fordi laks er mer følsom enn ørret overfor de fleste typer av forurensninger.

Bjerknes og medarb. (1995) har gitt en oversikt over effekter av suspenderte partikler overfor fisk og dette skal derfor ikke gjentas her. Det skal imidlertid nevnes at Hessen (1992) ut fra sine undersøkelser konkluderte med at ørret kan tåle en betydelig akutt partikkeleksponering (~1000 mg/l) uten at økt dødelighet inntreffer. EIFAC (Den europeiske innenlandsfiskekommisjonen) foreslår følgende gradering av grenseverdier for effekter på ferskvannsfiske ved langtidseksponering for suspenderte partikler (Alabaster & Lloyd, 1980):

< 25 mg/l:	Ingen skadelige effekter
25-80 mg/l:	Godt til middels godt fiske. Noe redusert avkastning
80-400 mg/l:	Betydelig redusert avkastning
> 400 mg/l:	Meget dårlig fiske, sterkt redusert avkastning

Som konklusjon må en kunne fastslå at hverken forsøksresultatene eller tidligere undersøkelser tyder på at det vil oppstå vesentlige skader overfor fiskebestand eller fiske på grunn av utspyling av steinstøv ved igangkjøring av Hekni kraftverk.

Kontrollgruppen, som gikk på ubehandlet vann fra Otra, fikk de største gjelleforandringene, mens gruppen som gikk på høyest partikkelkonsentrasjon (200 mg/l) fikk minst forandringer. Ut fra de kjemiske vannanalysene kunne en forvente dette resultatet. Tilsetningen av steinstøv medfører en økning av pH, alkalitet, økt konsentrasjon av kalsium og magnesium og en reduksjon i

konsentrasjonen av labilt aluminium. Dette representerer en kvalitetsmessig forbedring, og dermed skjerming mot forsuringsskader av gjellene. Lav pH og lave konsentrasjoner av bl.a. kalsium og magnesium i ubehandlet Otravann gjør at slike skader, med påfølgende osmoregulatoriske problemer kan forventes (Rosseland & Staurnes 1994).

Generelt tyder resultatene av forsøket på at tilsetning av steinstøv i moderate konsentrasjoner (opp til 200 mg/l) til surt vann har en skjermende og skadereduserende effekt på fisken. Mulige skadelige effekter av nydannete, skarpkantete partikler på gjelleepitelet er av underordnet betydning ved de støvkonsentrasjoner vi opererer med her.

5. Referanser

- Alabaster, J.S. & Lloyd, R. (eds.) 1982. *Water Quality Criteria for Freshwater Fish*. Butterworths. London, 361 pp.
- Bjerknes, V., Tjomsland, T. & Rye, N. 1995. Igangkjøring av Hekni Kraftverk. I Konsekvensanalyse av partikkelforurensning. NIVA-rapport, O-95008 (l.nr. 3228), 29 s.
- Hessen, D.O. 1992. Uorganiske partikler i vann; effekter på fisk og dyreplankton. NIVA-rapport O-89179 (l.nr. 2787), 39 s.
- Kvellestad, A., Kroglund, F., Larsen, B.M., Staurnes, M. og Stølen, S. 1995: Histopathological and physiological effects on Atlantic salmon (*Salmo salar*) smolts in acid and limed river water. Abstract., 426 s. *Acid Reign '95. 5th International Conference on Acidic Deposition. Gothenburg, Sweden, 26-30 June 1995.*
- Rosseland, B.O. & Staurnes, M. 1994. Physiological Mechanisms for Toxic Effects and Resistance to Acid Water: An Ecophysiological Approach. In: C.E.W. Steinberg & R.F. Wright (eds.): *Acidification of Freshwater Ecosystems. Implications for the Future*, pp. 277-246. Chichester: John Wiley & Sons Ltd.
- Skoglund, M. 1994. Sedimentutspyling i forbindelse med igangkjøringsprogrammet for Hekni kraftstasjon, Versjon 2. SINTEF notat, prosjektnr. 605503, 12 s.

Vedlegg

Vedlegg 1. Observasjoner av gjelleprøver.

HISTOLOGISK UNDERSØKELSE AV GJELLER

Dato for prøveut-tak i 95	Tid fra forsøksstart, dager	Ekspone- ringstid, dager	Restitusjons- tid, dager	Slam, mg/L	Merkning ved Syttveit	Grup- pe nr.	SVL j.nr. 95/09/ nr.	SVL laks nr.	Ad- hes- joner	For- tyk- kelse	Nekr. epitel- celler	Brune masser i epitel	Mat. på overfl. fil epitel	Jern- farg- ing	Resultat av farging for jern	SVL laks nr.
04.05.	8	8	0	200	1.A.Nr.1.H	1	652	11			(x)	x		Ja	Brune masser er positive	11
04.05.	8	8	0	200	1.Nr.2.H	1	652	12				x				12
04.05.	8	8	0	200	1.Nr.3.H	1	652	13				x				13
04.05.	8	8	0	200	1.Nr.4.H	1	652	14				x				14
04.05.	8	8	0	200	1.Nr.5.H	1	652	15				x				15
04.05.	8	8	0	80	2.Nr.7.H	2	652	21		x		x				21
04.05.	8	8	0	80	2.Nr.6.H	2	652	28				x				28
04.05.	8	8	0	80	2.Nr.9.H	2	652	35				x				35
04.05.	8	8	0	80	2.Nr.10.H	2	652	36		(x)						36
04.05.	8	8	0	40	3.Nr.14.H	3	652	23				x	xxx			23
04.05.	8	8	0	40	3.Nr.13.H	3	652	30								30
04.05.	8	8	0	40	3.Nr.11.H	3	652	31				x				31
04.05.	8	8	0	40	3.Nr.12.H	3	652	34		x		x	xx			34
04.05.	8	8	0	40	3.Nr.15.H	3	652	38			x	xx	x			38
04.05.	8	8	0	0	4.Nr.16.H	4	652	1		x		(x)		Ja	Brune masser og materiale	1
04.05.	8	8	0	0	4.Nr.17.H	4	652	2		xx	(x)	xx		Ja	på overflaten er positive	2
04.05.	8	8	0	0	4.Nr.18.H	4	652	3		x	x	x		Ja		3
04.05.	8	8	0	0	4.Nr.19.H	4	652	4		x		(x)	x			4
04.05.	8	8	0	0	4.Nr.20.H	4	652	5		x		x	xx			5
11.05.	15	15	0	200	1.Nr.21.H	1	652	16				(x)				16
11.05.	15	15	0	200	1.Nr.22.H	1	652	17		x	(x)	x				17
11.05.	15	15	0	200	1.Nr.23.H	1	652	18								18
11.05.	15	15	0	200	1.Nr.24.H	1	652	19				x				19
11.05.	15	15	0	200	1.Nr.25.H	1	652	20		x		x				20
11.05.	15	15	0	80	2.Nr.30.H	2	652	22		xx						22
11.05.	15	15	0	80	2.Nr.29.H	2	652	24	xx		x	xx	xxx			24
11.05.	15	15	0	80	2.Nr.27.H	2	652	26				(x)	x			26
11.05.	15	15	0	80	2.Nr.28.H	2	652	27		x	x	x	xxx			27
11.05.	15	15	0	80	2.Nr.26.H	2	652	29				x	xxx			29
11.05.	15	15	0	40	3.Nr.34.H	3	652	25		x	x	xx	x			25
11.05.	15	15	0	40	3.Nr.31.H	3	652	32		xx	x	xx	x			32
11.05.	15	15	0	40	3.Nr.35.H	3	652	33			x	xx	xx			33
11.05.	15	15	0	40	3.Nr.33.H	3	652	37			xx	x	xx			37
11.05.	15	15	0	40	3.Nr.35.H	3	652	39		x	x	xx	xx			39
11.05.	15	15	0	40	3.Nr.32.H	3	652	40		x	x	x	x			40
11.05.	15	15	0	0	4.Nr.36.H	4	652	6		x	x	x	xx			6
11.05.	15	15	0	0	4.Nr.37.H	4	652	7	x		x	x	xx			7
11.05.	15	15	0	0	4.Nr.38.H	4	652	8			x	xx	x			8
11.05.	15	15	0	0	4.Nr.39.H	4	652	9		(x)	x	xx	x			9
11.05.	15	15	0	0	4.Nr.40.H	4	652	10		xx	x	x	x			10

Vedlegg 1 (forts.)

18.05.	22	22	0	200	41GR1H	1	749	5	x	x?		5
18.05.	22	22	0	200	42.Gr.1.H	1	749	15	x	x		15
18.05.	22	22	0	200	44.Gr.1.H	1	749	26		x		26
18.05.	22	22	0	200	43.Gr.1.H	1	749	29	xx			29
18.05.	22	22	0	200	45.Gr.1.H	1	749	31	x			31
18.05.	22	22	0	80	49G2H	2	749	1	x	x		1
18.05.	22	22	0	80	46.Gr.2.H	2	749	7	xx	x		7
18.05.	22	22	0	80	47.Gr.2.H	2	749	24	xx	xx		24
18.05.	22	22	0	80	50.Gr.2.H	2	749	35	xx		Ja	35
18.05.	22	22	0	80	48.Gr.2.H	2	749	36				36
18.05.	22	22	0	40	54.Gr.3.H	3	749	17	x	xx		17
18.05.	22	22	0	40	55.Gr.3.H	3	749	18	x	xx		18
18.05.	22	22	0	40	51.Gr.3.H	3	749	20		xx		20
18.05.	22	22	0	40	53.Gr.3.H	3	749	27	x	xx		27
18.05.	22	22	0	40	52.Gr.3.H	3	749	32			Ja	32
18.05.	22	22	0	0	60.Gr.4.H	4	749	2		x?		2
18.05.	22	22	0	0	56.Gr.4.H	4	749	13	xx	x		13
18.05.	22	22	0	0	57.Gr.4.H	4	749	14	xx	x		14
18.05.	22	22	0	0	58.Gr.4.H	4	749	16		x		16
18.05.	22	22	0	0	59.Gr.4.H	4	749	34	xx	xx		34
24.05.	28	28	0	200	NR.61.GR.1.H	1	749	9	x	xx	Ja	9
24.05.	28	28	0	200	NR.63.GR.1.H	1	749	11		x	Ja	11
24.05.	28	28	0	200	NR.64.GR.1.H	1	749	25	x	x		25
24.05.	28	28	0	200	NR.65.GR.1.H	1	749	33	x	(x)		33
24.05.	28	28	0	200	NR.62.GR.1.H	1	749	38				38
24.05.	28	28	0	80	Nr67GR2H	2	749	6	x	(x)?		6
24.05.	28	28	0	80	NR.70.GR.2.H	2	749	10	x	x		10
24.05.	28	28	0	80	NR.72.GR.2.H	2	749	12		xx	Ja	12
24.05.	28	28	0	80	NR.68.Gr.2.H	2	749	19		x		19
24.05.	28	28	0	80	NR.66.GR.2.H	2	749	40		xx		40
24.05.	28	28	0	40	Nr74GR3H	3	749	3	x	x		3
24.05.	28	28	0	40	Nr73GR3H	3	749	4	x	xx		4
24.05.	28	28	0	40	NR.75.GR.3.H	3	749	21	x	xx	Ja	21
24.05.	28	28	0	40	NR.69.GR.3.H	3	749	22		x		22
24.05.	28	28	0	40	NR.71.GR.3.H	3	749	23		xx		23
24.05.	28	28	0	0	NR.80.GR.4.H	4	749	8	x	xxx	Ja	8
24.05.	28	28	0	0	NR.78.GR.4.H	4	749	28	xx	xx	Ja	28
24.05.	28	28	0	0	NR.76.GR.4.H	4	749	30	xx	xx		30
24.05.	28	28	0	0	79.GR.4.H	4	749	37	x			37
24.05.	28	28	0	0	NR.77.GR.4.H	4	749	39	x	x		39
28.06.	63	35	35	200+0	Gr.1.Nr.83.H	1	924	1				1
28.06.	63	35	35	200+0	Gr.1.Nr.82.H	1	924	8				8
28.06.	63	35	35	200+0	Gr.1.Nr.81.H	1	924	16				16
28.06.	63	35	35	80+0	Gr.2.Nr.86.H	2	924	4	x			4

28.06.	63	28	35	80+0	Gr.2.Nr.85.H	2	924	6								6
28.06.	63	28	35	80+0	Gr.2.Nr.84.H	2	924	11			x?					11
28.06.	63	28	35	80+0	Gr.2.Nr.87.H	2	924	12			x?					12
28.06.	63	28	35	40+0	Gr.3.Nr.90.H	3	924	3								3
28.06.	63	28	35	40+0	Gr.3.Nr.91.H	3	924	5			x?					5
28.06.	63	28	35	40+0	Gr.3.Nr.92.H	3	924	7								7
28.06.	63	28	35	40+0	Gr.3.Nr.89.H	3	924	10								10
28.06.	63	28	35	40+0	Gr.3.Nr.93.H	3	924	13			x?					13
28.06.	63	28	35	0+0	Gr.4.Nr.95.H	4	924	2								2
28.06.	63	28	35	0+0	Gr.4.Nr.97.H	4	924	9				x				9
28.06.	63	28	35	0+0	Gr.4.Nr.94.H	4	924	14								14
28.06.	63	28	35	0+0	Gr.4.Nr.96.H	4	924	15								15

FORKLARING TIL TABELL:

Tabellen viser eksponeringstider, restitusjonstider, mengde slam og resultat av histologisk undersøkelse av gjeller. Resultatene er enten angitt som forandring ikke påvist (ingen markering i rute), eller når forandringer er påviste, er disse karakteriserte som usikre (x?), meget sparsomme ((x)), sparsomme (x), moderate (xx) eller uttalle (xxx).

Norsk institutt for vannforskning

Postboks 173 Kjelsås
0411 Oslo

Telefon: 22 18 51 00
Telefax: 22 18 52 00

Ved bestilling av rapporten,
oppgi løpenummer 3369-95.

ISBN 82-577-2899-3