

Gaute Kjærstad, Torstein Kristensen, Henning A. Urke,
Bjørn Borge Skei og Jo Vegar Arnekleiv

Metaller fra gruveavrenning og påvirkninger på bunndyr og fisk i Stjørdalsvassdraget

**NTNU Vitenskapsmuseet
naturhistorisk notat 2020-1**



NTNU Vitenskapsmuseet naturhistorisk notat 2020-1

Gaute Kjærstad, Torstein Kristensen, Henning A. Urke,
Bjørn Borge Skei og Jo Vegar Arnekleiv

**Metaller fra gruveavrenning og
påvirkninger på bunndyr og fisk i
Stjørdalsvassdraget**

NTNU Vitenskapsmuseet naturhistorisk notat

Dette er en elektronisk serie fra 2013 som erstatter tidligere Botanisk notat og Zoologisk notat. Serien er ikke periodisk, og antall nummer varierer per år. Notatserien benyttes til rapportering fra mindre prosjekter og utredninger, datadokumentasjon, statusrapporter, samt annet materiale som ikke har en endelig bearbeidelse.

Tidligere utgivelser: <http://www.ntnu.no/web/museum/publikasjoner>

Referanse

Kjærstad, G., Kristensen, T., Urke, H.A., Skei, B.B. & Arnekleiv, J.V. 2020. Metaller fra gruveavrenning og påvirkninger på bunndyr og fisk i Stjørdalsvassdraget – NTNU Vitenskapsmuseet naturhistorisk notat 2020-1: 1-22.

Trondheim, januar 2020

Utgiver

NTNU Vitenskapsmuseet
Institutt for naturhistorie
7491 Trondheim
Telefon: 73 59 22 80
e-post: post@vm.ntnu.no

Ansvarlig signatur

Hans K. Stenøien (instituttleder)

Publiseringstype

Digitalt dokument (pdf)

Forsidefoto

Mannlibekken. Foto: Henning A. Urke

www.ntnu.no/museum

ISBN 978-82-8322-226-5
ISSN 1894-0064

Sammendrag

Kjærstad, G., Kristensen, T., Urke, H.A., Skei, B.B. & Arnekleiv, J.V. 2020. Metaller fra gruveavrenning og påvirkninger på bunndyr og fisk i Stjørdalsvassdraget – NTNU Vitenskapsmuseet naturhistorisk notat 2020-1: 1-22.

Dette notatet oppsummerer dagens kunnskap om metaller i øvre del av Stjørdalsvassdraget med hovedfokus på påvirkninger på bunndyr og fisk. Det blir også pekt på kunnskapshull og mulige tiltak for å redusere metallbelastningen.

I Meråker har gruvedrift etter kismaterialer pågått over en periode på ca. 200 år fra begynnelsen av 1700-tallet, og fremdeles blir metallholdig vann tilført vassdraget fra gruveområdene. Konsentrasjonen av metaller er stedvis og tidvis så høy at det har klare negative konsekvenser for vannlevende organismer.

I sideelva Torsbjørka stammer de største forurensningskildene fra de to sidebekkene Skakkerbekken og Mannlibekken, som drenerer områder fra hhv. Torsbjørka og Mannfjell gruver. Gjennom kraftutbygginga fra 1990-tallet blir noe av vannet tatt inn i tunnel og overført til Dalåa. Dette har medført økt konsentrasjon av metaller nedstrøms inntaket, der begge de forurensende bekkene munner ut i Torsbjørka. I Gilsåa/Dalåa, der hovedkilden til metallforurensningen stammer fra Lillefjell gruve, er forurensningssituasjonen verst oppstrøms samløpet med Kvernskardelva. Kvernskardelva tilfører uforurenset vann og bidrar med en betydelig fortykning slik at metallkonsentrasjonen nedstrøms samløpet er betraktelig lavere. Om lag tre km nedstrøms samløpet overføres noe av vannet til Tevlamagasinet (Grønbergdammen) og derfra enten videre ned Tevla, pumpes opp i reguleringsmagasinet Fjergen, eller føres i tunnel ned til Meråker kraftverk og ut i Stjørdalselva.

Målinger viser at det kan være betydelige konsentrasjoner av metaller som kobber, sink, mangan, aluminium og jern i Stjørdalsvassdraget. Undersøkelser viser lavere tettheter enn forventet av bunndyr, ørret og utsatt laks i og/eller nedstrøms de gruveforurensede bekkene i Torsbjørka, noe som indikerer negativ effekt av metallforurensning. Også fisk satt i bur i samme område viser direkte dødelighet på ørret og laks (parr og smolt) som følge av høy metallbelastning. Lavere tettheter av bunndyr og ørret enn forventet, inkludert metallrelatert dødelighet av ørret i burforsøk, er også registrert i Gilsåa/Dalåa oppstrøms samløpet med Kvernskardelva. Det er også påvist høy konsentrasjon av metaller i anadrom del av Stjørdalselva, bl.a. høye kobberverdier på gjellelev hos laksesmolt. Smoltstadiet er spesielt sårbart for eksponering av metaller og kan medføre forstyrrelse av de fysiologiske prosessene knyttet til sjøvandring.

Metallforurensningen i Stjørdalsvassdraget er uoversiktlig. Vi vet for lite om konsentrasjonen av metaller i forbindelse med flomtopper, spesielt vårflom og eventuelle konsekvenser dette har for organismene i vassdraget, inkludert effekter på smolt og overlevelse under vandring til, og i havet. Vi har imidlertid nok kunnskap til å fastslå at metaller har en klar negativ effekt på fisk og bunndyr flere steder i vassdraget. Det bør derfor settes i verk tiltak for å redusere metallbelastningen, f.eks. kjemiske tiltak ved utplassering av doserere for å nøytralisere metaller i de mest forurensede bekkene, fysiske tiltak som tildekking av masser eller omlegging av bekkeløp i sidebekkene, eller hydrologiske tiltak ved bl.a. endring av minstevannføring. For å redusere metallbelastningen tilstrekkelig i de aktuelle vassdragene kan det tenkes at en løsning ikke er et enkelt tiltak alene, men en kombinasjon av flere tiltak. For å evaluere virkning av tiltak bør registreringer av kjemiske og biologiske parametere vurderes før, under og etter tiltakene.

Nøkkelord: kobber – metaller – gruveforurensning – Stjørdalsvassdraget – fisk – bunndyr

Gaute Kjærstad og Jo Vegar Arnekleiv, NTNU Vitenskapsmuseet, Institutt for naturhistorie, NO-7491 Trondheim

Torstein Kristensen, Nord universitet, Fakultet for biovitenskap og akvakultur, Universitetsalléen 11, NO-8026 Bodø

Henning A. Urke, INAQ, Brattørkaia 15B, NO-7010 Trondheim

Bjørn Borge Skei, Stjørdalsvassdraget vannområde, Stjørdal kommune, Pb. 133, Kjøpmannsgt. 9, NO-7501 Stjørdal

Innhold

Sammendrag	3
Forord	5
1 Innledning	6
2 Effekter av metaller fra gruveavrenning på smoltifisering og smoltoverlevelse.....	7
2.1 Korttidseksponering av laksesmolt for gruveavrenning i ionefattig vann fra Eira.....	7
2.2 Korttidseksponering av laksesmolt for gruveavrenning i ionerikt vann fra Kaldvella	9
2.3 Feltforsøk med eksponering av smolt i gruvepåvirket del av Stjørdalsvassdraget	10
3 Metaller i Stjørdalsvassdraget	14
3.1 Torsbjørka	15
3.2 Gilsåa/Dalåa.....	16
3.3 Stjørdalselva.....	17
4 Kunnskapshull og aktuelle tiltak	19
5 Referanser	21

Forord

Det finnes mye informasjon om problematikken relatert til avrenning av surt metallholdig vann fra eldre gruver i øvre del av Stjørdalsvassdraget, men mye av dette er lite tilgjengelig. Dette notatet sammenstiller publisert og upublisert informasjon, spesielt med henblikk på effekter av metaller på bunndyr og fisk.

Det rettes en takk til Marc Daverdin for utforming av kart over vassdragsreguleringer og gruver og til Rune Lilleløkken for informasjon om Stjørdalsvassdragets klekkeri. Prosjektet ble finansiert av Stjørdalsvassdraget vannområde med midler fra Miljødirektoratet.

Trondheim, 20.01.2020

Gaute Kjærstad

1 Innledning

Utvinning av metaller kan medføre økt avrenning av surt metallholdig vann fra gruveområder og påvirke vannkvaliteten i innsjøer, elver og bekker. Dette er spesielt aktuelt i områder med kismaterialer, der metaller frigjøres i forbindelse med utvikling av sure forbindelser. Eksempel på slike områder i Norge er øvre deler av Gaula- og Glommavassdraget, Orklavassdraget, øvre deler av Stjørdalsvassdraget, Namsenvassdraget og Sulitjelmavassdraget. De viktigste kildene til denne typen forurensning er avrenning fra gruverom (gruvevann), avrenning fra avfallsberg (bergvelter), deponert prosessavfall (nedmalt avfall fra opprydningsprosesser) og avrenning fra områder med røstestplasser og smeltehytter (Iversen mfl. 2003).

Avrenning av metallholdig vann fra gruveområder kan innvirke på vannlevende organismers fysiologi og overlevelse. Effekten vil imidlertid ikke bare avhenge av metallkonsentrasjonen, men også av den vannkjemiske sammensetningen, f.eks. forekomst av kalsium, organiske og uorganiske partikler, og hvilke arter som er til stede.

EUs vanndirektiv tar sikte på at forvaltningen av vannforekomstene skal skje etter de samme prinsipper over hele Europa. Vannforskriften gjennomfører vanndirektivet i norsk rett. Vannforskriften har som hovedformål å gi rammer for fastsettelse av miljømål som sikrer en mest mulig helhetlig beskyttelse og bærekraftig bruk av vannforekomstene, og legger derfor konkrete føringer på prosess og kriterier for forvaltning av vannressursene. Miljømålet for naturlige vannforekomster av overflatevann er at tilstanden ikke skal forringes, og at de skal ha minst god økologisk og kjemisk tilstand.

Kjemisk tilstand for overflatevann bestemmes på bakgrunn av konsentrasjoner av prioriterte stoffer målt i vann, sediment eller biota. I vannforskriften er det nå 45 stoffer og stoffgrupper som er definert som prioriterte stoffer og som utgjør en vesentlig risiko for eller via akvatisk vannmiljø, herunder metallene kadmium (Cd), bly (Pb), kvikksølv (Hg) og nikkel (Ni). I enkelte tilfeller er listen over prioriterte stoffer ikke tilstrekkelig for å beskrive miljøtilstanden i vannforekomster, da utslipp eller forekomst av andre stoffer utover de prioriterte kan være avgjørende for tilstanden.

Økologisk tilstand for overflatevann viser dagens miljøtilstand i vannforekomsten, med hensyn til artssammensetning, sammenheng og funksjon for økosystemet. I henhold til vannforskriftens vedlegg V skal forurensning fra andre stoffer enn de prioriterte, som er påvist tilført vannforekomsten i betydelige mengder inngå som kvalitetselement i klassifisering av økologisk tilstand. Disse stoffene omtales som vannregionspesifikke stoffer, herunder metallene kobber (Cu), sink (Zn), arsen (As) og krom (Cr). Disse klassifiseres ved bruk av grenseverdier på samme måte som for prioriterte stoffer, men inngår som et økologisk støtteelement i klassifisering av vannforekomster.

Det har vært gjennomført tiltak for å begrense avrenning av metaller ved f.eks. å overdekke velter med plastduk og morenemasse, lage dreneringsgrøfter rundt veltene, fjerne forurensende masser eller ved å bygge renseanlegg. Mange steder, som i øvre del av Gaula, har tiltakene fungert, slik at metallbelastningen har blitt redusert. Dette har medført forekomst av fisk på tidligere fisketomme områder, samt en økning i artsantall og tetthet av bunndyr (Arnekleiv & Størset 1995, Traaen 2002).

I Stjørdalsvassdraget er det gjennomført flere undersøkelser med fokus på effekter av metaller på fisk, bunndyr eller begroing (Reinertsen 1998, Iversen mfl. 1998). Det finnes også noe upublisert materiale. Hensikten med dette notatet er å gi en kunnskapsoppsummering basert på publiserte og upubliserte kilder om metallforurensning i øvre del av Stjørdalsvassdraget, spesielt med henblikk på effekter på fisk og bunndyr. Vi vil også peke på eventuelle kunnskapshull, samt hvilke tiltak som kan være aktuelle for å bedre vannkvaliteten.

2 Effekter av metaller fra gruveavrenning på smoltifisering og smoltoverlevelse

Det har lenge vært kjent at positivt ladde (frie) metallioner i vann kan reagere med og binde seg til negativt ladde seter på gjelleoverflaten. Bundet til gjelleoverflaten kan både oksygenopptak og sentrale enzymer i ionereguleringen hemmes. Denne kunnskapen kommer primært fra sur nedbørforskningen og mer spesifikt effekter av aluminium (Al) i Norge. Det er etablert at smoltstadiet er spesielt følsomt for eksponering (Kroglund mfl. 2007a), og at effekten av en subletal eksponering i ferskvann kan resultere i forsinket dødelighet i sjøen etter utvandring (Kroglund mfl. 2007b). Internasjonalt er det siden 1970-tallet publisert at lignende effekter kan observeres ved eksponering for flere vanlig forekommende metaller i gruveavrenning, mest spesifikt kobber (Cu).

Det finnes likevel langt mindre detaljert kunnskap om effekter av gruveavrenning på smoltifiseringsprosessen og eventuell forsinket dødelighet under vandring enn hva gjelder forsurening/aluminium. Forskning på effekter av gruveavrenning har hatt lavere prioritet enn mye annet relatert til villaks, og mye av kunnskapen presentert i det følgende er fremskaffet via prosjekter med annet hovedtema eller gjennom egeninnsats fra deltakende institusjoner. Dette arbeidet bærer derfor preg av å være pilotforsøk og ikke større forskningsprosjekter. Betydningen av gruveavrenning for ville laksebestander kan være undervurdert. Vitenskapelig råd for lakseforvaltning understreker metallpåvirkning som en signifikant påvirkning på produktiviteten i norske laksevasdrag i sin rapport nr. 10 (Anon. 2017). Sammen med lakseluspåvirkning var metaller (Cu og Ni) de eneste faktorene som ga signifikant reduksjon i produktiviteten i vassdragene (innsig). Her gjengis noen resultater fra feltforsøk med gruveavrenning på laksesmolt.

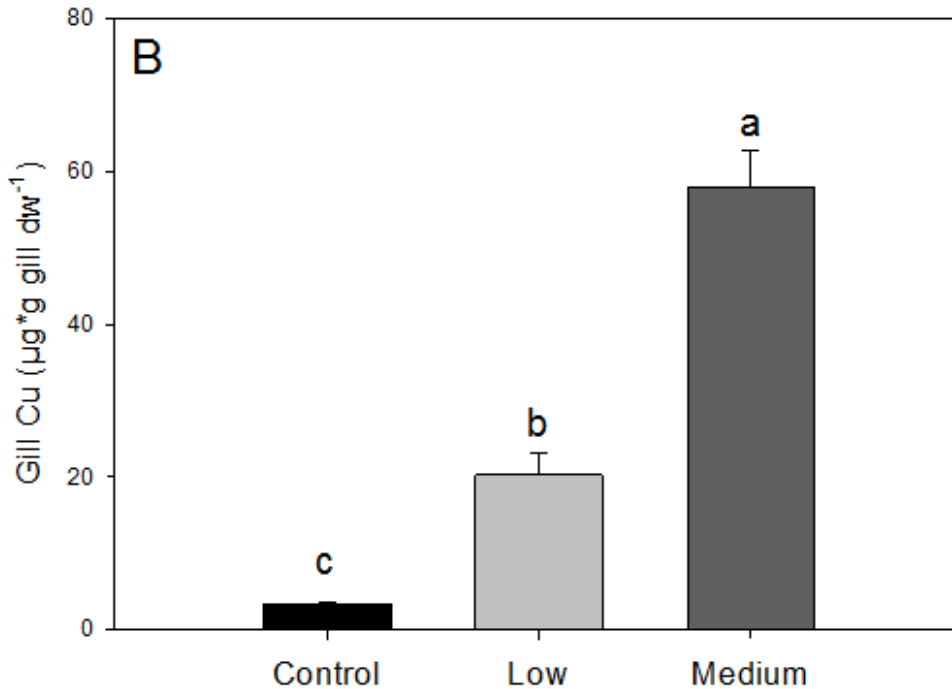
2.1 Korttidseksponering av laksesmolt for gruveavrenning i ionefattig vann fra Eira

I regi av SalPop-prosjektet (NFR 183992 2008-2011) ble det gjennomført pilotforsøk med eksponering for gruveavrenning på laksesmolt med Eira gruveavrenningsvann fra Løkken gruber.

Tabell 1. Vannkjemiske parametere i eksponeringsforsøk med laksesmolt. Data fra Kristensen mfl. upubl.

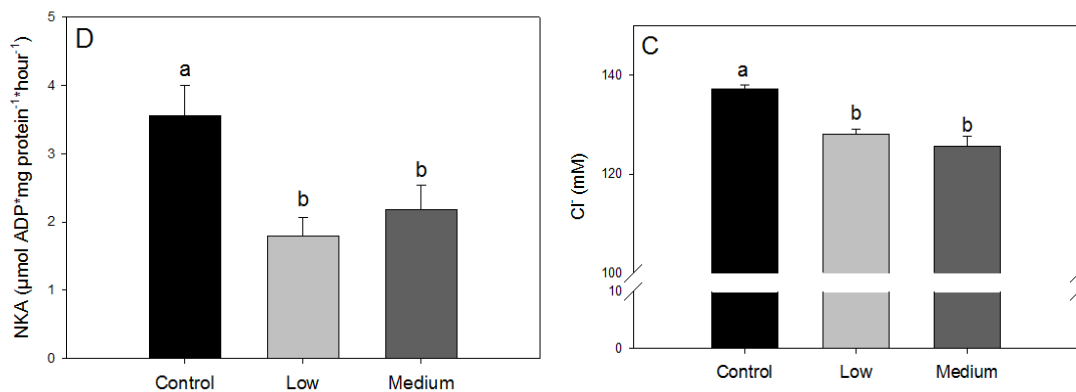
	Units	Control	Low	Medium	High	AMD
% AMD			0.004%±0.001	0.018%±0.004	0.064%±0.011	100%
pH		6.31 (6.2-6.5)	6.32 (6.3-6.3)	6.21 (6.2-6.3)	5.88 (5.8-5.9)	2.53
Cond	mS/m	2.09±0.23			2.55±0.05	393
ANC	µeqv L ⁻¹	43.8±6.8	42	36	20±11	
Alkalinity	mM	0.07±0.00			0.05±0	
Ca	mg L ⁻¹	1.20±0.08			1.28±0.03	166
Mg	mg L ⁻¹	0.33±0.02			0.41±0.01	124
Na	mg L ⁻¹	1.85±0.10			1.93±0.6	
K	mg L ⁻¹	0.29±0.01			0.29±0.01	
SO ₄	mg L ⁻¹	1.38±0.06			3.16±0.15	3100
Cl	mg L ⁻¹	3.32±0.54			3.40±0.25	
NO ₃	µg L ⁻¹	120±5			113±4	
TOC	mg L ⁻¹	0.25±0.09			0.23±0	
Tot-Al	mg L ⁻¹	7±2	15±7 (±8)	32±1 (±25)	91±3	131000
Cd	µg L ⁻¹	<1	<1	<1	<1	111
Co	µg L ⁻¹	<2	<2	<2	<2	1910
Cu	µg L ⁻¹	<2	2±0	7.8±0.2	28.0±1.4	45900
Fe	µg L ⁻¹	1.2±0.3	27.5±7.8	112.5±12.0	437.5±6.4	673000
Mn	µg L ⁻¹	0.4±0.0	0.7±0.1	1.2±0.0	3.3±0.0	4400
Ni	µg L ⁻¹	<0.4	<0.4	<0.4	<0.4	274
Pb	µg L ⁻¹	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	30
S	µg L ⁻¹	0.55±0.07	0.65±0.07	0.7±0.0	1.3±0.1	1220
Si	µg L ⁻¹	1.68±0.05	1.7±0.0	1.7±0.0	1.7±0.0	24.6
Zn	µg L ⁻¹	<2	3.5±0.7	9.4±3.7	51.8±44.9	27800

Smolt av Eira stamme ble eksponert i 48 timer for 3 ulike fortynninger av gruveavrenningsvann (% AMD i tabell 1). Resulterende vannkjemi medførte 100 % dødelighet i løpet av eksponeringsperioden ved «high» eksponering (28 µg Cu/l). Gjelleakkumulering av kobber (og andre metaller) var signifikant økt allerede ved «low» eksponering (2,0 µg Cu/l) og betydelig økt ved «medium» eksponering (7,8 µg Cu/l), se også figur 1.



Figur 1. Akkumulert kobber (Cu) på gjeller av laksesmolt eksponert for fortynnet gruveavrenning i ionefattig vann med lavt humusinnhold. Data fra Kristensen mfl. upubl.

Resulterende subletale effekter målt på fisken i gruppene «low» og «medium» var signifikant redusert Na⁺/K⁺-ATPase (NKA) aktivitet og ioneinnhold i blodplasma (plasma Cl⁻). Begge disse variablene indikerer problemer med ionebalansen mens fisken er i ferskvann, og mulig hemming av smoltfiseringsprosessen.



Figur 2. Enzymaktivitet av Na⁺/K⁺-ATPase (venstre), og plasma kloridinnhold (høyre). Verdier som gjennomsnitt ± SD. Data fra Kristensen mfl. upubl.

Samlet sett viste dette pilotforsøket betydelige subletale effekter av eksponering for gruveavrenning i et svært ionefattig råvann uten særlig innhold av organisk materiale (TOC) på smoltstadiet av atlantisk laks. Overlevelse i sjøfasen og adferdseffekter ble ikke evaluert for gruveavrenning, men senere forsøk med aluminium er publisert (Thorstad mfl. 2013).

2.2 Korttidseksponering av laksesmolt for gruveavrenning i ionerikt vann fra Kaldvella

Dette forsøket omhandler genekspresjon og biokjemiske prosesser som påvirkes av eksponering, og deler av materialet er publisert internasjonalt (Olsvik mfl. 2016). 96 timers eksponering av laksesmolt for ulike fortynninger av gruveavrenning fra Løkken gruber, hhv. 356 (max), 132 (high), 58 (medium), 37 (low) og 0,7 (control) µg Cu/l. Etter eksponering ble 24 timers sjøvannstest gjennomført.

Tabell 2. Vannkjemiske parametere i forsøket. Verdier som gjennomsnitt ± SD. Data fra Nilsen mfl. in prep.

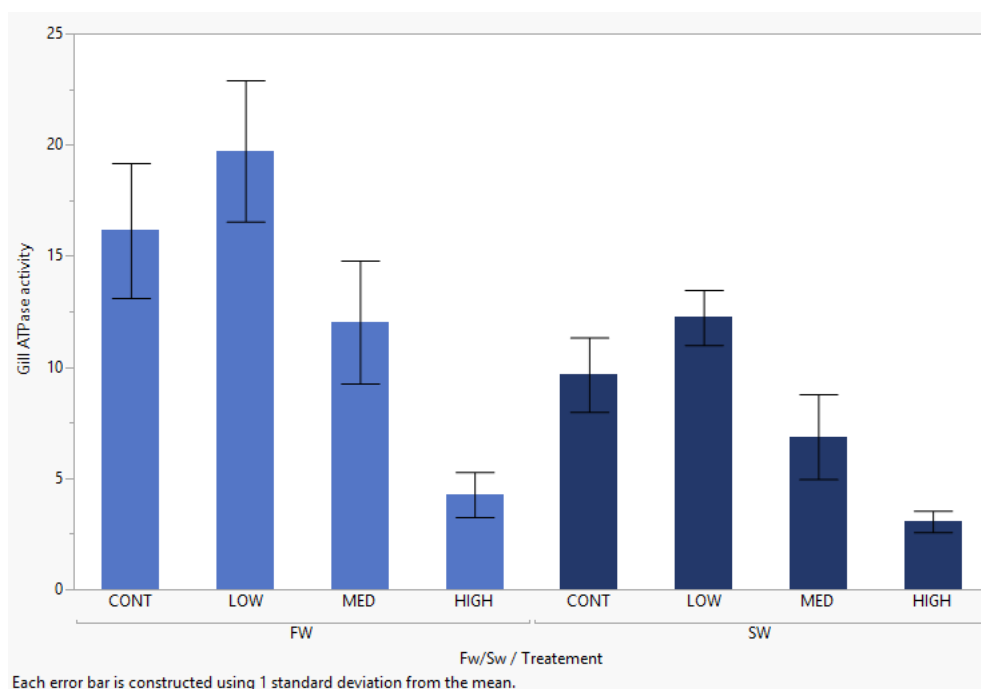
Table 1. Water chemistry during 96 h of freshwater exposure to acid mine drainage (AMD) from the abandoned Løkken Mine

Treatment	pH	Conductivity (mS m ⁻¹)	Turbidity (FNU)	TOC (mg L ⁻¹)	Ca (mg L ⁻¹)	Mg (mg L ⁻¹)	Al (mg L ⁻¹)	Cu (µg L ⁻¹)	Fe (µg L ⁻¹)	Zn (µg L ⁻¹)
Control	8.05 ± 0.04	24.4 ± 2.7	1.0 ± 0.4	1.8 ± 0.6	39.9 ± 4.9	3.4 ± 0.4	18 ± 3	0.7 ± 0.1	48 ± 3	1.2 ± 0.2
Low	8.03 ± 0.04	24.6 ± 2.7	0.9 ± 0.3	1.8 ± 0.6	40.0 ± 4.8	3.5 ± 0.4	144 ± 3*	37.1 ± 0.7*	626 ± 15*	28.9 ± 0.1*
Medium	8.02 ± 0.04	24.6 ± 2.7	1.1 ± 0.4	1.8 ± 0.6	40.1 ± 4.8	3.4 ± 0.4	211 ± 20*	57.7 ± 3.5*	993 ± 24*	44.5 ± 1.9
High	7.88 ± 0.04*	25.2 ± 2.7	2.8 ± 0.8	1.8 ± 0.6	40.0 ± 4.9	3.8 ± 0.4	465 ± 7*	132.7 ± 3.1*	2233 ± 121*	99.1 ± 0.4*
Max	7.69 ± 0.07*	26.4 ± 2.7	4.4 ± 0.7	1.8 ± 0.6	40.2 ± 4.8	4.5 ± 0.4*	1380 ± 40*	356.7 ± 11.0*	5940 ± 296*	276.0 ± 8.5*

Note. Values are given as mean ± SD (n = 4 for main elements and n = 3 for trace metals [Al, Cu, Fe, Zn]). One-way ANOVA, Dunnett's test: *p < .05.

Gjelleakkumulering av Al, Fe og Cu var alle betydelige, og statistisk signifikant for Fe og Cu allerede i gruppen «low». Halvparten av fisken i gruppen «max» døde under eksponering i ferskvannsggruppa, og derfor mangler data på andre variabler. Gjelleakkumulering av kobber i denne gruppa var 48 µg Cu/g tørrvekt på gjenlevende fisk etter 96 timers eksponering.

Det var tydelige effekter av eksponering på variabler knyttet til smoltifiseringsstatus (NKA-aktivitet, figur 3 og ioneregulering, ikke vist). Ingen dødelighet forekom under sjøvannseksponering.

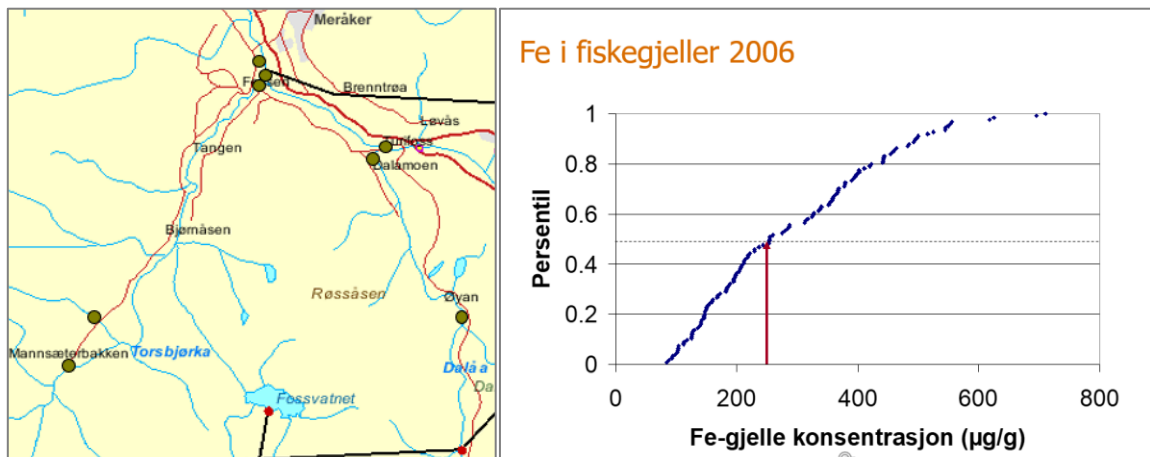


Figur 3. Enzymaktivitet av Na⁺/K⁺-ATPase i gjeller hos smolt av atlantisk laks etter 96 timers eksponering for ulike konsentrasjoner av gruveavrenning (Løkken gruber), og påfølgende 24 timer i rent sjøvann. Verdier som gjennomsnitt ± SD. Data fra Nilsen mfl. in prep.

2.3 Feltforsøk med eksponering av smolt i gruvepåvirket del av Stjørdalsvassdraget

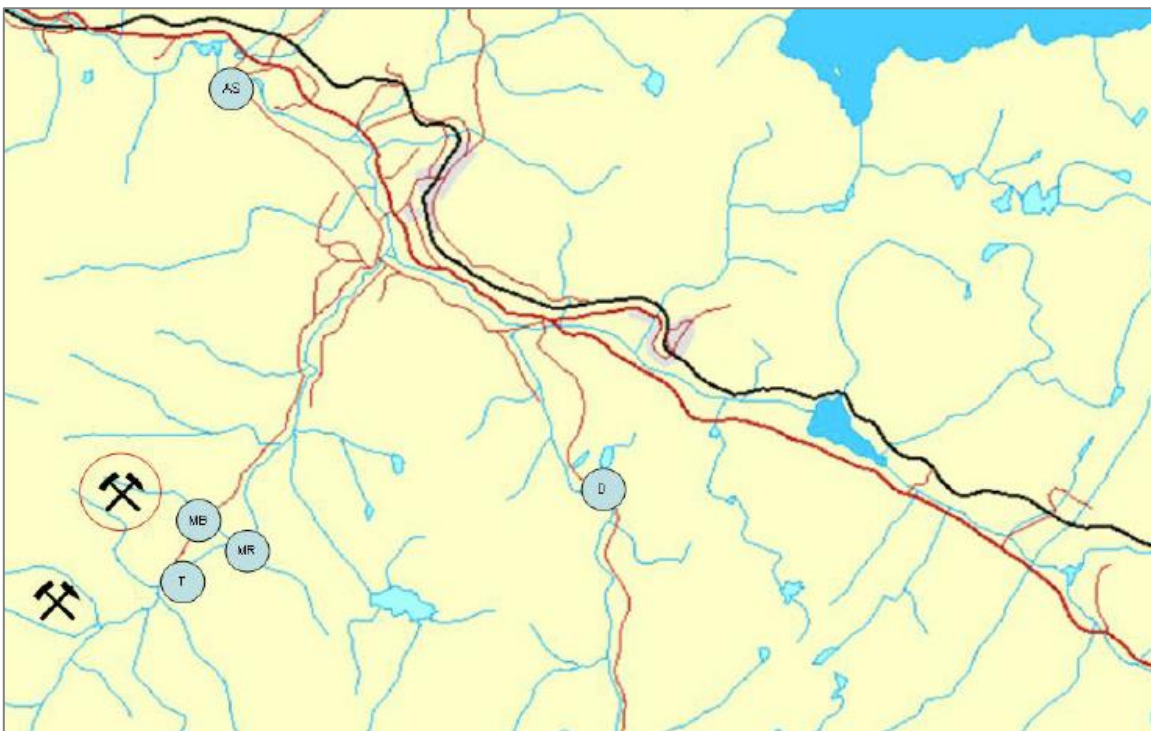
Vannkvalitet og fiskegjeller (2006)

Fra vår til høst 2006 ble prøver av vann (7 omganger) og fisk (2 omganger) innhentet på stasjoner i Torsbjørka, Dalåa og i Tevla ved pumpehus til klekkeriet samt anadrom strekning (figur 4). Av gjelleprøvene hadde > 50 % høyere jernverdier enn bakgrunn (figur 4). Enkeltindivider hadde nivåer som antas å gi dødelighet hos fisk (1000 µg Fe/g tørrvekt).



Figur 4. Prøvetakingsstasjoner for vann og fisk i øvre del av Stjørdalsvassdraget (venstre), og konsentrasjon av jern (µg Fe/g tørrvekt) på gjeller av innsamlet fisk i 2006 (høyre) (Teien mfl. 2008).

Vannkvalitet og eksponeringsforsøk (2007)



Figur 5. Utvalgte stasjoner for feltstudie i 2007 i øvre del av Stjørdalsvassdraget. MB er Mannlibekken, T er Torsbjørka (oppstrøms Mannlibekken ved Mannsæterbakk), MR er Torsbjørka etter samløp Mannlibekken, D er Dalåa og AS er anadrom strekning (Teien mfl. 2008).

I 2007 ble det gjennomført en større feltstudie som inkluderte vannkvalitet og effekter på laks. Åtte stasjoner ble prøvetatt med innsamling av vannprøver 2-3 ganger i uka i perioden april-juni (Teien mfl. 2008).

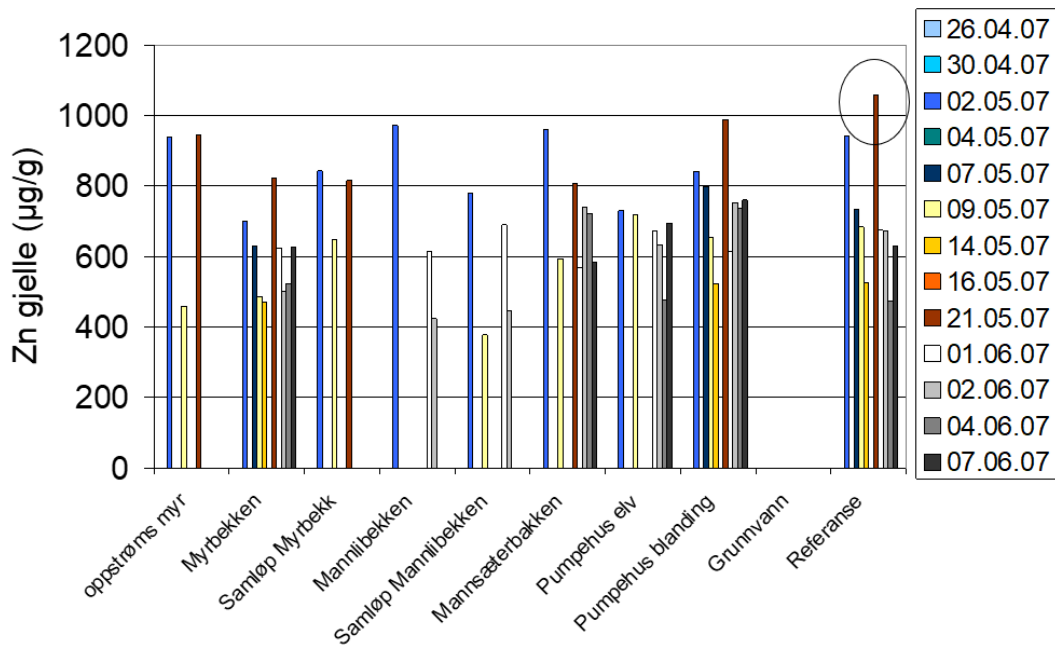
Målet var å identifisere toksiske tilstandsformer av spesielt jern (Fe) fra grunnvann, gruve- og myravrenning og i påfølgende blandsoner der en skulle studere spesielt effekt av høy nedbørintensitet og flom. Generell vannkjemi i tillegg til fraksjonering, for å fastsette ulike tilstandsformer av metaller, ble analysert. Effekter på laks (parr og smolt) ble undersøkt ved bruk av burforsøk. Med analysering av gjeller for måling av metallavsetning, enzymaktivitet og blodprøver for måling av stress (ione- og gassbalanse), samt biomarkører/genuttrykk (Kristensen mfl. 2009ab).

Forsøkene viste at det var betydelige konsentrasjoner av Cu, Zn, Mn og Al i vassdraget (tabell 3). «Gruveavrenningsstasjonene» hadde episodisk høye verdier av Cu, Mn og Al. Det er oppsiktsvekkende at det også ble avdekket episodisk høye verdier av metaller (Cu og Zn) på anadrom strekning (figur 6). Figur 7 viser at det 6. juli var høye verdier av Cu på smolt på anadrom strekning.

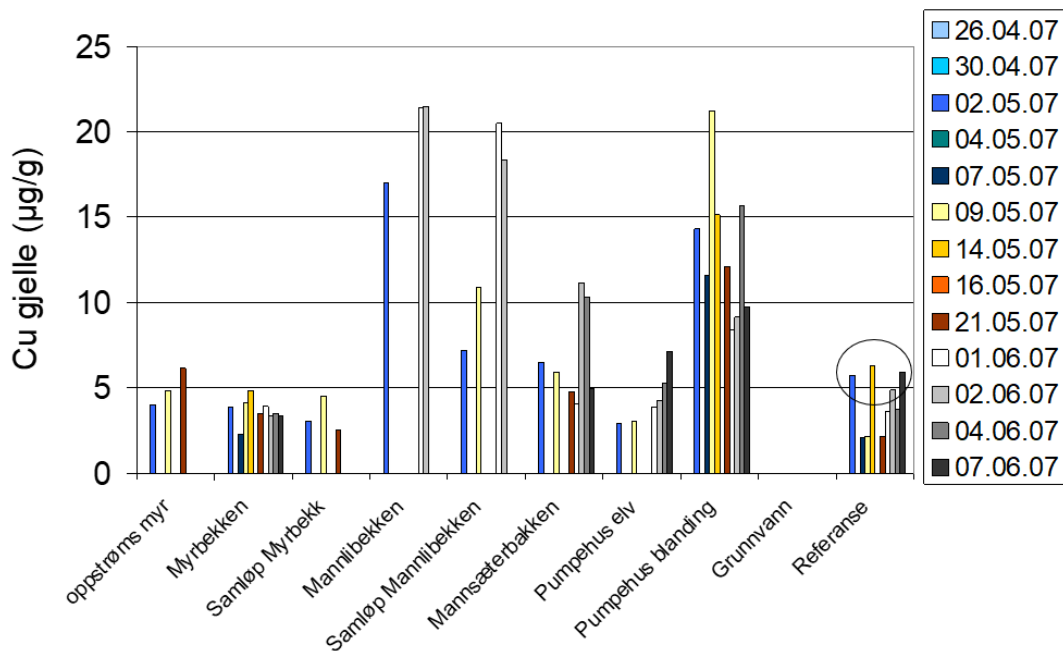
Tabell 3. Oversikt over konsentrasjoner av metaller på ulike stasjoner i 2007 i øvre del av Stjørdalsvassdraget (Teien mfl. 2008). Referanse er anadrom strekning. LMM = Low molecular mass, dvs. komponenter < 1 nm i diameter.

Stasjon	Al (LMM Al)	Cu (LMM Cu)	Mn (LMM Mn)	Zn (LMM Zn)
Myrbekken	58 ± 55 (13 ± 1)	0,6 ± 0,2 (0,7 ± 0,2)	7,9 ± 0,8 (1,1 ± 0,7)	1,1 ± 0,2 (0,0 ± 1,5)
Mannlibekken	78 ± 21 (19 ± 5)	23 ± 5 (6,9 ± 2,0)	10 ± 0,8 (6,2 ± 1,6)	80 ± 22 (5,3 ± 2,5)
Oppst. Mannlibekken	35 ± 14 (7 ± 3)	5,2 ± 3,5 (1,5 ± 0,8)	4,6 ± 3,9 (3,7 ± 2,4)	15 ± 4,7 (9,3 ± 3,1)
Ellevann pumpehus	41 ± 17 (7 ± 3)	5,5 ± 1,6 (1,1 ± 0,4)	8,3 ± 5,2 (6,7 ± 2,7)	29 ± 1,4 (19 ± 4,6)
Blanding m. grunnvann	111 ± 134 (13 ± 8)	6,3 ± 4,6 (0,6 ± 0,4)	138 ± 244 (24 ± 10)	33 ± 16 (15 ± 10)
Grunnvann	533 ± 971 (18 ± 9)	18,6 ± 31,6 (0,9 ± 0,6)	285 ± 180 (155 ± 218)	68 ± 81 (16 ± 13)
Referanse	52 ± 18 (8 ± 4)	4,9 ± 0,2 (1,1 ± 0,1)	6,6 ± 3,7 (3,9 ± 0,3)	11 ± 2 (6,3 ± 1,7)

Zn-gjelle (VK 448±144 µg/g)

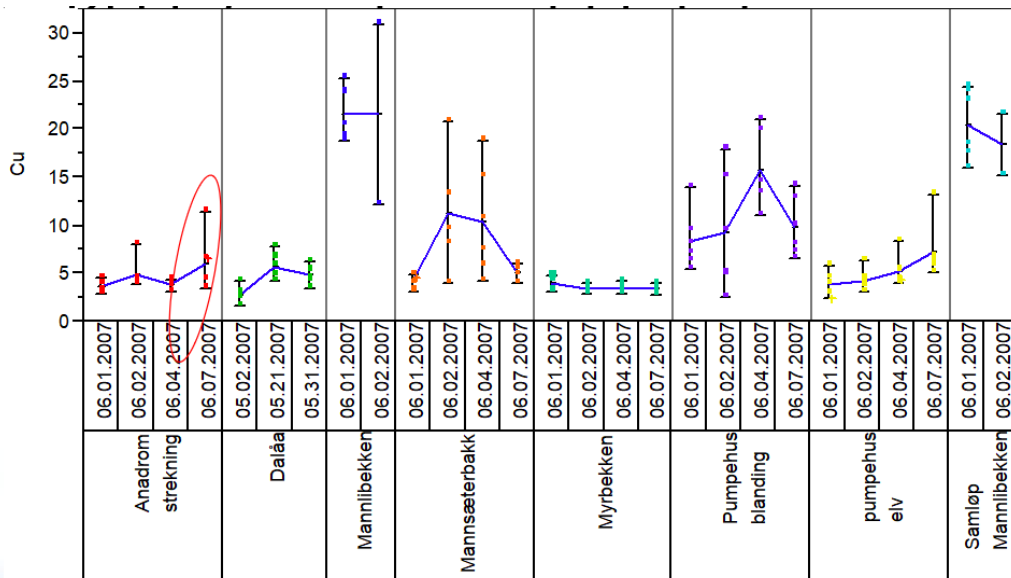


Cu-gjelle (VK 2±3 µg/g)



Figur 6. Analyserte verdier av Zn (øverst) og Cu (nederst) på fiskegjeller vår–sommer 2007 i øvre del av Stjørdalsvassdraget. VK er gjennomsnitt og SD for norske settefiskanlegg. Anadrom strekning er satt som «referanse». (Teien mfl. 2008).

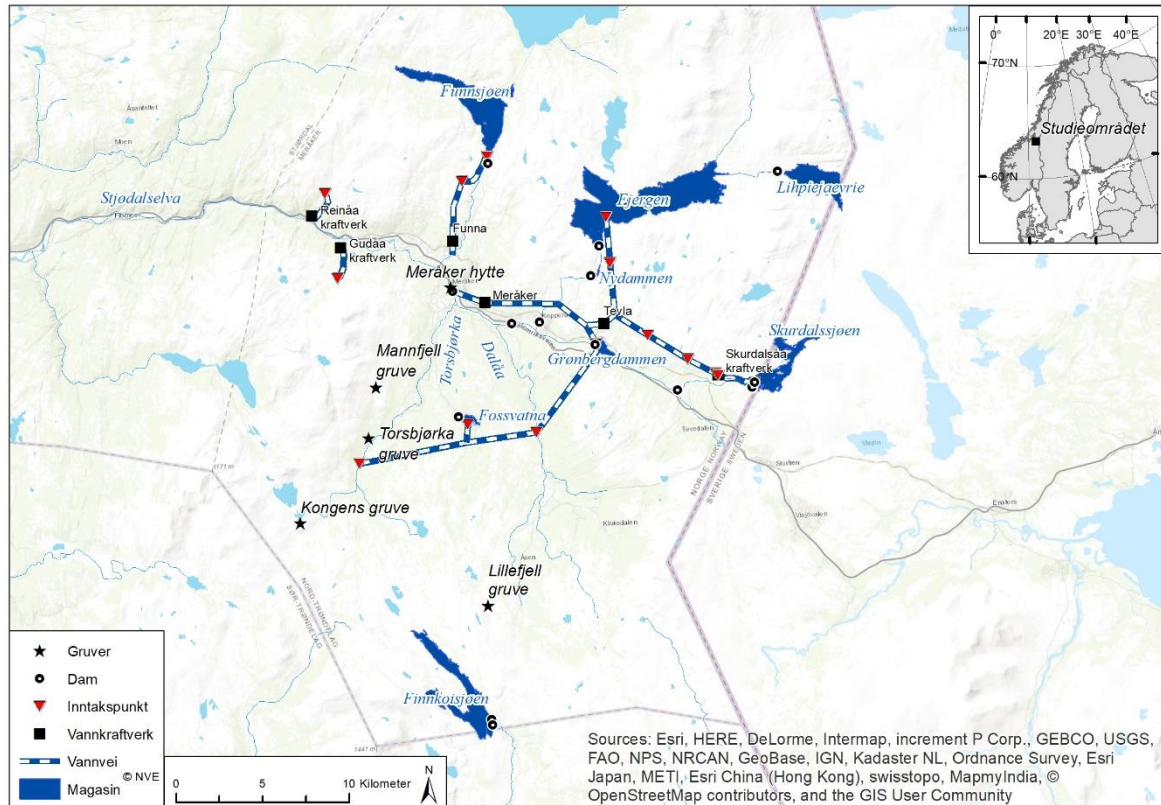
I burforsøkene var det 100 % dødelighet av smolten etter korttidseksposering (< 24 t) ved de to stasjonene Mannlibekken og samløp Mannlibekken/Torsbjørka. Eksponert parr klarte seg i 10 dager før det oppstod 100 % dødelighet på de samme stasjonene. Ellers ble det ikke registrert dødelighet verken av smolt eller parr på de øvrige stasjonene i forsøkene.



Figur 7. Cu på gjeller hos laksesmolt i 2007. Dødelighet på smolt etter 24 timer eksponering i gruvepåvirket vann, parren klarte seg i 10 dager. Legg merke til rød sirkel som viser høye Cu-verdier på anadrom strekning, 6. juli 2007 (Teien mfl. 2008).

3 Metaller i Stjørdalsvassdraget

I Meråker startet utnyttingen av naturressurser som vann for produksjon av kraft og utvinning av metaller relativt tidlig. Gruvedrift etter kismaterialer begynte allerede på begynnelsen av 1700-tallet og pågikk over en periode på ca. 200 år. De første vannkraftverkene ble bygd på slutten av 1800-tallet og senere har det vært flere større utbygginger. Figur 8 viser en oversikt over de nåværende vassdragsreguleringene i Meråker, samt et utvalg av eldre gruver/smeltehytter.



Figur 8. Oversikt over vassdragsreguleringer, samt de viktigste kildene til gruveforurensning i øvre del av Stjørdalsvassdraget.

I Stjørdalsvassdraget er det dokumentert forhøyet konsentrasjon av metaller, særlig kobber og sink, i elvene Torsbjørka, Gilsåa/Dalåa, Tevla og øvre del av selve Stjørdalselva i forhold til naturlig bakgrunn. Tabell 4 viser beregninger av årlig transport av kobber og sink i Stjørdalselva og fra de største hovedkildene. Beregningene viser at Lillefjell gruve, som drenerer til Gilsåa/Dalåa, er den klart største tilførselskilden av både kobber og sink til vassdraget.

Tabell 4. Beregning av årlig transport av kobber (Cu) og sink (Zn) i ulike områder i øvre del av Stjørdalsvassdraget (modifisert etter Iversen mfl. 1998)

Område (målelokalitet)	Cu (tonn/år)	Zn (tonn/år)
Kongens gruve (utløp Litjekleppjøenna)	0,1	0,6
Torsbjørka gruve (Gruvbekken)	0,2	0,5
Mannfjell gruve (Mannlibekken)	0,2	1,1
Torsbjørka (ved Tronset)	0,6	1,6
Lillefjell gruve (Gilsåa)	2,1	4,5
Stjørdalselva v/Flåan bru	3,4	8,0
Naturlig bakgrunnstransport i Stjørdalselva v/Flåan bru	0,7	1,0

3.1 Torsbjørka

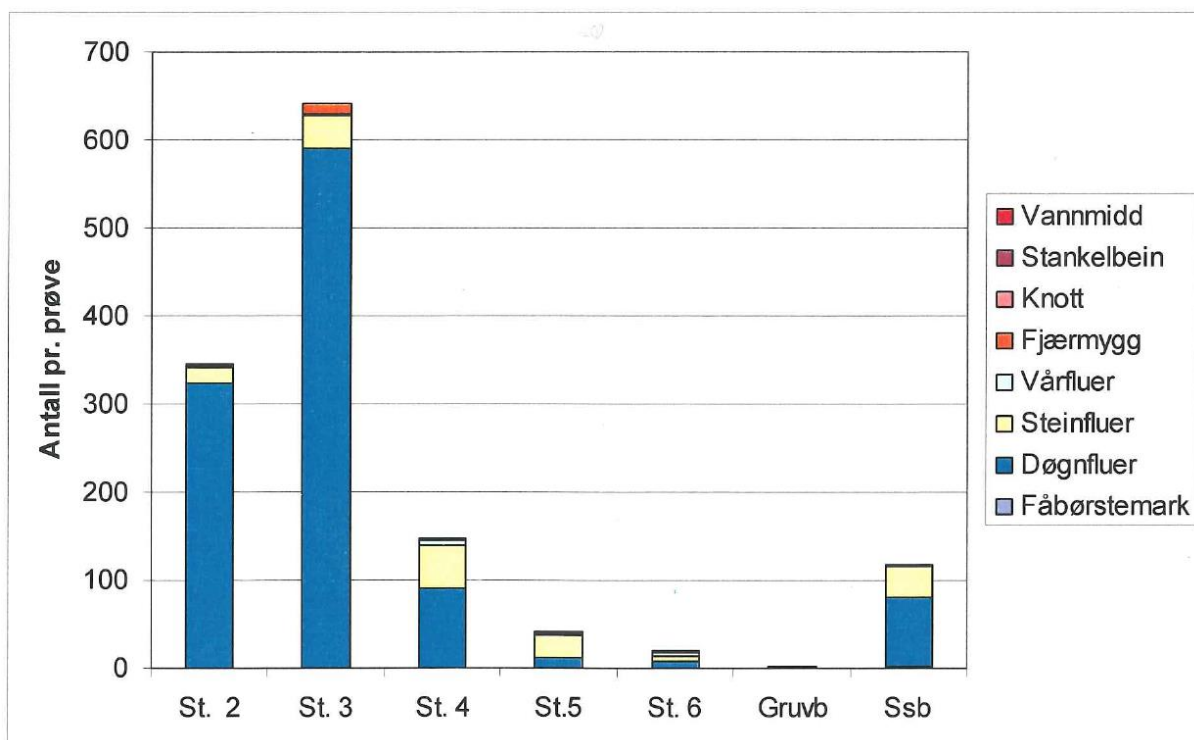
De største metalltilførslene til Torsbjørka kommer via Skakkerbekken (også kalt Grubekken) og Mannlibekken som drenerer gruveområder ved hhv. Torsbjørka og Mannfjell gruver. Begge bekkene munner ut i elva nedstrøms inntaket til overføringstunnelen til Dalåa. I Torsbjørka har vassdragsreguleringen, gjennom fraføring av vann til Dalåa, medført redusert fortykning slik at konsentrasjonen av metaller nedstrøms inntaket har blitt høyere enn det var før reguleringen (Iversen mfl. 1998, Arnesen & Iversen 2000, Arnekleiv mfl. 2002). Tilførslene av metaller fra Kongens gruve, som ligger oppstrøms inntaket, anses som beskjedne (Iversen mfl. 1998).

Analyser fra flere punkter i elvevatnet fra Torsbjørka med sidebekker (Iversen 1990, Iversen mfl. 1998, Reinertsen 1998) viser at kobberinnholdet i både Skakkerbekken og Mannlibekken i perioder ligger langt over det som er dødelig for bunndyr og laksefisk, basert på erfaringer fra bl.a. Gaula og Folla (Arnekleiv, upubl.). Maksimumsverdier på stikkprøver i Skakkerbekken og Mannlibekken fra 1997 lå på hhv. 397 og 68 µg Cu/l. Reinertsen (1998) viste at det kan skje en sterk økning i tilførsel av metaller i Torsbjørka i forbindelse med regnværsperioder. Slike episoder kan ha gitt skader på fisk- og bunndyrfaunen.

Fiskeundersøkelser av ørret og utsatte laksunger tyder på skadelige effekter av metalltilførslene (Arnekleiv upubl. 2001-2005). Basert på NTNU Vitenskapsmuseets undersøkelser er ørretbestanden i Torsbjørka tynn og variabel mellom år og sterkt redusert i øvre deler ved Mannseterbakken, spesielt etter 1995 (reguleringa skjedde i 1994). I en undersøkelse der ørret ble satt i bur over en treukersperiode var det stor dødelighet av fisk plassert nederst i Torsbjørka, nær utløpet til Stjørdalselva (Iversen mfl. 1998). Det var derimot lav dødelighet i øvre del av elva, oppstrøms Torsbjørk-gruva. Siden store deler av Torsbjørka i perioder blir benyttet som utsettingsområde for klekkeriproduerte laksunger, må en forvente at i alle fall en del av disse dør som følge av periodevis høy metallkonsentrasjon.

Metallothionein (MT) er et metallbindende og detoksifiserende intracellulært protein og konsentrasjonen av MT i en organisme vil gi et mål på i hvilken grad organismen er påvirket av metallstress. Det er påvist signifikant høyere nivå av MT i lever og nyre hos 2+ ørret fra Torsbjørka, sammenlignet med ørret fra Tevla (Iversen mfl. 1998), noe som viser at metallbelastningen i Stjørdalsvassdraget påvirker fisken biokjemisk.

Både Skakkerbekken (Grubekken) og Mannlibekken regnes som tilnærmet døde. Eksempelvis ble det kun påvist fire individer av bunndyr fordelt på fire arter i Skakkerbekken mens antallet var flere hundre individer fordelt på 13 arter/grupper i den nærliggende, næringsfattige, men uforurensede Storskardbekken (Arnekleiv, upubl.). Figur 9 viser en klar sonering med avtakende mengde bunndyr i Torsbjørka fra nedre del (st. 2 og 3) og opp til Skakkerbekken (Grubekken).



Figur 9. Faunasammensetning og mengde bunndyr i regulert del av Torsbjørka opp til samløp med Grubbekken (Skakkerbekken) som har tilsig fra Torsbjørka gruve. Ssb = Storskardbekken som er upåvirket av gruveavrenning. Tallene baserer seg på sparkeprøver tatt høsten 1997.

Kobbernivået nederst i Torsbjørka har også vært over det nivået som ga skader på spesielt døgnfluefaunaen i Gaula ($48 \mu\text{g Cu/l}$). Undersøkelser viser klare forurensningseffekter på bunndyr i hele Torsbjørka nedenfor inntaket (Arnekleiv mfl. 2002). En bunndyrundersøkelse viste en fordobling i antall dyr nederst i Torsbjørka, sammenlignet med et område oppstrøms Torsbjørk-gruva. Høyere antall i nedre del ble satt i sammenheng med økt produktivitet (økt næringsstofftilførsel fra jordbruk) i dette området (Iversen mfl. 1998). Bunndyrsamfunnet i denne undersøkelsen er imidlertid kun oppgitt på gruppenivå, og en høyere taksonomisk oppløsning kunne gitt mer informasjon om en eventuell effekt av gruveavrenning.

3.2 Gilsåa/Dalåa

Gilsåa/Dalåa blir først og fremst påvirket av gruvesig fra Lillefjell gruve og med mindre bidrag fra Gilså og Dronningens gruver (Iversen & Grande 1994). I tillegg kommer avrenning fra smeltehytteområdet ved Gilså hytte i nedre del av Gilså (Iversen & Arnesen 2003). Det meste av forurensningen stammer fra to velteområder ved Lillefjell gruve. Målinger av metallkonsentrasjon i en av bekkene like ved veltene viste meget høye verdier med en kobberkonsentrasjon på $2290 \mu\text{g Cu/l}$ (Iversen & Johannessen 1984). Avrenningen fra veltetområdene går i mindre bekker og drenerer delvis gjennom grunnen og samles i en større bekk, kalt Grubbekken, som igjen munner ut i Gilså. I Gilså er det strekningen fra Grubbekken til samløpet med Kvernskardelva som er mest påvirket av metaller. I dette området er det målt kobberkonsentrasjoner opp mot $33 \mu\text{g Cu/l}$ (Iversen & Arnesen 1990) og $67 \mu\text{g Cu/l}$ (Iversen mfl. 1998). Målinger gjort i 1997/1998 viste gjennomsnittlige kobberverdier på $19 \mu\text{g Cu/l}$ og maksverdier opp mot $45 \mu\text{g Cu/l}$ i Gilså ved Stordalsvollen (Iversen & Arnesen 2003). Kvernskardelva, som ikke er gruvepåvirket, bidrar med en vesentlig uttytning slik at elva nedstrøms samløpet er betydelig mindre forurenset. Det er imidlertid gjort målinger som viser at metallkonsentrasjonen er høyere enn naturlige bakgrunnsnivå også i dette området (Iversen & Grande 1994).

I forbindelse med befaring med elfiske har det vist seg at Gilsåa fra nedstrøms Grubbekken til samløp Kvernskardelva periodevis har vært fisketom (Arnekleiv, upubl.). Dette gjelder spesielt

området ned til Rotvoll (Grande 1991). I et forsøk der ørret ble satt ut i bur på to steder i Gilsåa var noen av fiskene døde da forsøket ble avsluttet etter tre uker (Iversen mfl. 1998).

Vann fra Gilsåa/Dalåa (og Torsbjørka) blir overført til Grønbergdammen (Tevlamagasinet) og en del pumpes videre opp til Fjergenmagasinet, mens noe går videre nedover Tevla. Potensielt kan dette medføre økt konsentrasjon av metaller i disse vannforekomstene. En undersøkelse der konsentrasjonen av kobber, sink, kadmium, bly og kvikksølv ble målt i muskelvev fra ørret og røye i Fjergen, viste imidlertid normale nivåer (Sjursen mfl. 2010). Stikkprøver fra Tevla like oppstrøms Grønbergdammen, dvs. i et område som er upåvirket av vanntilførsel fra Gilsåa/Dalåa, viste lave verdier av kobber og sink på hhv. 0,6 og 0,9 µg Cu/l. I nedre del av Tevla, som får tilført vann bl.a. fra Grønbergdammen, var verdiene høyere, med 4,5 og 6,4 µg Cu/l for hhv. kobber og sink (Iversen m.fl. 1998). Dette viser at Tevla nedstrøms Grønbergdammen har forhøyede metallverdier.

I området mellom Gruvbekken og samløp Kvernskardelva ble det registrert lite eller ingen algebegroing og svært lave antall av bunndyr (døgn-, stein- og vårfluer), mens det var mye større algemengde og høyere antall bunndyr både oppstrøms Gruvbekken og nedstrøms samløpet med Kvernskardelva (Iversen & Grande 1994). Også en senere undersøkelse bekreftet en sterk reduksjon i tetthet og variasjon av bunndyr i Gilsåa, sammenlignet med mindre forurensede eller uforurensede områder (Iversen mfl. 1998).

I Dalåa, nedstrøms inntaket er det gjennomført langtidsundersøkelser både på ungfisk og bunndyr uten at det er påvist skader som følge av metaller, men disse undersøkelsene har først og fremst hatt fokus på kraftverksreguleringene (Arnekleiv mfl. 2002). Det er også gjort fysiologiske studier over flere år på laksesmolt, utsatt som yngel og fanget i Wolf-felle ved Øydammen i Dalåa, som viser bra kvalitet på smolten (Urke mfl. 2014ab).

3.3 Stjørdalselva

Øvre deler av Stjørdalselva kan, i alle fall i perioder, motta vann med forhøyet metallinnhold fra elvene Dalåa og Torsbjørka, samt fra Vollbekken.

Det er foretatt langtidsundersøkelser av på både fisk og bunndyr i øvre del av Stjørdalselva (Arnekleiv mfl. 2007a, 2007b, 2009, 2014), men disse har primært fokusert på virkninger etter utbygging av kraftverkene i Meråker. Undersøkelsene konkluderer med at tettheten av eldre laksunger i øvre del av elva har gått ned etter reguleringen, sammenlignet med elvas midtre og nedre del. I tillegg til reguleringsrelaterte effekter (habitatflaskehals) påpekes endret vannkvalitet og blandsoner med endret metallinnhold som en mulig årsak til redusert lakseproduksjon i øvre del av elva (Arnekleiv mfl. 2014).

I en undersøkelse der ørret ble utsatt i bur ved Flåan, 4-5 km nedstrøms Nustadfoss, ble det ikke påvist effekter av metaller (Iversen mfl. 1998).

Langtidsundersøkelsene på bunndyr i Stjørdalselva viser større endringer over tid i tetthet og sammensetning i øvre del av elva enn lengre nedstrøms, men årsaken tyder på reguleringseffekter og ikke metaller (Arnekleiv mfl. 2014). Det ble heller ikke funnet tegn på metallforurensning på bunndyr i øvre del av elva i en undersøkelse av Iversen mfl. (1998).

Vollbekken, som drenerer gruveområdet til Fonnfjell gruve, kommer inn i Stjørdalselva fra vest vis à vis Meråker sentrum. Målinger gjort av Iversen (1994) og Iversen mfl. (1998) viser relativt lave verdier av metaller i bekken. Vollbekken kan likevel være påvirket av avrenning fra gruva i perioder, spesielt av sink (Iversen mfl. 1998). En undersøkelse fra 2018 viste høyere konsentrasjoner av både kobber (10 µg Cu/l) og sink (63 µg Zn/l) enn de eldre undersøkelsene. Bunndyrsamfunnet så imidlertid ut til å ha normal tetthet og sammensetning (Kjærstad mfl. 2019).

I et labforsøk der arter av bunndyr ble eksponert for ulike fortyninger av gruveavrenning fra Løkken gruber ble det ikke funnet økt dødelighet sammenlignet med kontrollgruppa som hadde 0,7 µg Cu/l

(Kjærstad mfl. in prep). Dette til tross for at de ble eksponert for konsentrasjoner av kobber på opp til 356 µg Cu/l i over en uke. Resultatene tyder på at selv om mengde og sammensetning av bunndyr virker normal, er ikke dette noen garanti for at vannet har lavt innhold av metaller.

Stjørdalsvassdragets klekkeri bruker grunnvann i vinterhalvåret, men tar inn ellevann i deler av sommerhalvåret fra området nedstrøms samløpet Torsbjørka/Dalåa, og like oppstrøms dammen på Nustafoss (Rune Lilleløyen, pers. medd.). Potensielt kan dette være et problem dersom vann med forhøyede verdier av metaller kommer inn i anlegget. Metaller har imidlertid etter det vi kjenner til ikke vært noe problem i klekkeriet, bortsett fra høye verdier av jern og okerutfelling i ellevann, som periodevis har medført dødelighet av stamfisk. Det har også vært problemer med for høye nitrogenverdier, men da i grunnvann.

4 Kunnskapshull og aktuelle tiltak

Basert på resultatene gjengitt over, og erfaringene fra sur-nedbør forskningen med aluminiumseksposering, virker økt følsomhet for metaller fra gruveavrenning i smoltstadiet hos atlantisk laks svært sannsynlig. Økt marin dødelighet/lavere overlevelse under vandring er sannsynliggjort gjennom Vitenskapelig råd for lakseforvaltning sitt arbeid, men ikke vitenskapelig dokumentert *per se*.

Grenseverdier tradisjonelt benyttet i gruveavrenningsammenheng på 10 µg Cu/l (Haugen 2016), se også klassifiseringsveileder for metaller og organiske miljøgifter (Anon. 2016), er per i dag ikke justert med tanke på beskyttelse av smoltstadiet, og det er heller ikke i tilstrekkelig grad tatt høyde for øvrig vannkjemisk modererende effekt på metalltoksisitet (Cu spesielt). Det er grunn til å påpeke at kvalitetsnorm for villaks (Anon. 2013) setter lavere grenseverdier for hvor stor en påvirkning kan være basert på bestandenes reproduksjon, høstingspotensial og genetiske integritet. Påvirkningen av gruveavrenning kan per nå etter forfatterens syn vanskelig kvantifiseres gitt kunnskapsmangel rundt effekter på smolt og overlevelse under vandring til og i havet.

Metallforurensingen i Stjørdalsvassdraget er uoversiktlig. Det er lite dokumentasjon rundt konsentrasjoner av metaller i forbindelse med flomtopper, spesielt vårflo og eventuelle konsekvenser dette har for organismene i vassdraget. Det burde derfor vært etablert et overvåkingsprogram, med både kjemiske og biologiske parametere, før og etter eventuelle tiltak. Eksempelvis vet man lite om tungmetallkonsentrasjonen i Grønbergdammen og Tevla. Vi vet at Tevla nedstrøms Grønbergdammen har forhøyede metallverdier, men dette er kun basert på eldre stikkprøver.

Forsøkene i 2006 og 2007 (Teien mfl. 2008) viste at flomepisoder er kritisk, da en får økt konsentrasjon i vann og avsetning på gjeller. Metaller har videre innvirkning på laksefisk på anadrom strekning i Stjørdalselva, da det er avdekket høy avsetning av blant annet Fe, Zn og Cu på gjeller hos fisk på anadrom strekning (Teien mfl. 2008).

Problematikken i Stjørdalsvassdraget er sammenfallende med de problemene en hadde med avrenning fra Killingdal gruver til Gaula, og der tiltakene har redusert den negative påvirkningen. Tiltakene omfattet bl.a. overdekking av gruveavfallet med tett morene og sprengstein. En konsekvens av denne tiltaksstrategien var at vann blir ført inn i deponiet. Hensikten var å holde et høyt vanninnhold i dekkjiktet for å begrense oksygentransporten inn i deponiet (Iversen 2011). Det kan være aktuelt med lignende tiltak i Stjørdalsvassdraget.

Østmoe (2000) foreslo å flytte forurensende masser fra Lillefjell gruve til et deponi sørøst for nedre velte og forsegle det med membran på over- og underside. Deponiet skulle dekkes av løsmasser fra Rotvoll-området og sprengstein for erosjonsbeskyttelse skulle plasseres i deponiets skråninger. Lignende fysiske tiltak har vært foreslått også for gruvene langs Torsbjørka.

Siden avrenning fra gruvene virker negativt på biologisk liv i både Torsbjørka og Gilsåa/Dalåa, bør det vurderes videre framdrift i planlegging av tiltak for å redusere tilførselen fra gruveavrenningen. Selv om mengden metaller fra Gilsåa/Dalåa er størst, er de største negative effektene på fisk og bunndyr best dokumentert i Torsbjørka. De to mest forurensede sidebekkene til Torsbjørka, Skakkerbekken og Mannlibekken, peker seg derfor i første omgang ut som aktuelle lokaliteter for å prøve ut avbøtende tiltak. Det enkleste tiltaket hadde vært å plassere ut doserere for å nøytralisere metaller i bekkene, spesielt i forbindelse med vassføringstopper. Valg av spesifikt doseringskjemikalie (kalkprodukt/silikatlutprodukt) bør utredes nærmere. Det kunne også vært aktuelt å kombinere tiltak med dosering med å øke dagens minstevannføring i Torsbjørka, som er 0,1 m³/s, for å øke fortynningen og eventuelt fysiske tiltak som tildekking av forurensende masser. Statens forurensningstilsyn (SFT) har tidligere påbegynt en prosess med å pålegge tiltak, men denne er satt på vent, bl.a. etter at Meråker kommune vedtok å utsette gjennomføringen av tiltak inntil det er vurdert hvordan en best mulig kan ivareta kulturminnene fra gruvevedriften ved Torsbjørkgruva og Lillefjell gruve (Vannregionmyndigheten i Trøndelag 2009). Ved utplassering av doserere vil hensynet til kulturminnene bli ivaretatt.

Det har tidligere vært hevdet at økt metallinnhold som følge av gruveavrenning har vært en garanti for at lakseparasitten *Gyrodactylus salaris* ikke har etablert seg i Stjørdalsvassdraget. En annen gyrodactylusart, *G. derjavini*, finnes imidlertid allerede i vassdraget, påvist i hele anadrom del av Stjørdalselva, samt i større sideelver i vassdragets nedre del (Koksvik upubl.), og det er derfor ingen grunn til å tro at en reduksjon i metallinnholdet vil øke faren for smitte av *G. salaris*.

5 Referanser

- Anon. 2013. Kvalitetsnorm for ville bestander av atlantisk laks. https://www.regjeringen.no/globalassets/upload/md/2013/kongelig_resolusjon_kvalitetsnorm_110913doc.pdf
- Anon. 2016. Grenseverdier for klassifisering av vann, sediment og biota. Miljødirektoratet, veileder M-608, 2016. 1-24.
- Anon. 2017. Status for norske laksebestander i 2017. Rapport fra Vitenskapelig råd for lakseforvaltning nr. 10. 1-152.
- Arnekleiv, J. V. (upublisert). Fisk, bunndyr og tungmetaller i Torsbjørka – en vurdering av miljøtilstanden i perioden 1991-2008. Notat til Fylkesmannen i Nord-Trøndelag og Vannregionmyndigheten i Trøndelag. 1-10.
- Arnekleiv, J. V. & Størset, L. 1995. Downstream effects of mine drainage on benthos and fish in a Norwegian river: a comparison of the situation before and after river rehabilitation. *Journal of Geochemical Exploration* 52: 35-43.
- Arnekleiv, J.V., Kjærstad, G., Rønning, L. og Koksvik, J. 2002. Fisk, bunndyr og minstevannføring i elvene Tevla, Torsbjørka og Dalåa, Meråker kommune. - Vitenskapsmuseet Rapp. Zool. Ser. 2002, 5: 1-90.
- Arnekleiv, J.V., Rønning, L., Koksvik, J., Kjærstad, G., Alfredsen, K., Berg, O.K. & Finstad, A.G. 2007a. Ferskvannsbiologiske undersøkelser i Stjørdalselva 1990-2006. Faglig oppsummering: kraftverksregulering, bunndyr, drivfauna, ungfisk og smolt. – NTNU Vitenskapsmuseet Rapp. Zool. Ser 2007, 1: 1-141.
- Arnekleiv, J.V., Korsen, I., Rønning, L. & Fiske, P. 2007b. Ferskvannsbiologiske undersøkelser i Stjørdalselva 1990-2006. Faglig oppsummering: kraftverksregulering, voksen, anadrom laksefisk og fangststatistikk. - NTNU Vitenskapsmuseet Rapp. Zool. Ser. 2007, 2: 1-87.
- Arnekleiv, J. V., Korsen, I., Kjærstad, G. & Rønning, L. 2009. Ferskvannsbiologiske undersøkelser i Stjørdalselva 2007 og 2008. Kraftverksregulering, bunndyr, ungfisk, voksen fisk og fangststatistikk – NTNU Vitenskapsmuseet Rapp. Zool.Ser 2009,2: 1-136.
- Arnekleiv, J.V., Kjærstad, G., Rønning, L, Davidsen, J.G. & Sjursen, A.D. 2014. Fiskebiologiske undersøkelser i Stjørdalsvassdraget 2009-2013. – NTNU Vitenskapsmuseet naturhistorisk rapport 2014-3: 1-82.
- Arnesen, R. T. & Iversen, E. R. 2000. Meråker gruvefelt – Vurdering av vannføring og forurensning. NIVA-rapport 84119.
- Grande, M. 1991. Biologiske effekter av gruveindustriens metallforurensninger. NIVA-rapport O-89103, L.nr. 2562. 1-136.
- Haugen, I. N. 2016. Langtidsmålinger av fysisk-kjemiske parametere i Orkla og tilstøtende elver. Masteroppgave, Institutt for kjemi, Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet. 1-109.
- Iversen, E. R. 1990. Vannforurensning fra nedlagte gruver, del II. NIVA-rapport 090138, L.nr. 2531. 1-20.
- Iversen, E. R. 1994. Vannforurensning fra nedlagte gruver, del III. NIVA-rapport 090152, L.nr. 2545. 1-36.
- Iversen, E. R. 2011. Avrenning fra Killingdal og Kjøli gruver, Holtålen kommune. Undersøkelser i 2011. NIVA-Rapport 6242-2011. 1-27.
- Iversen, E. R. & Johannessen, M. 1984. Vannforurensning fra nedlagte gruver. NIVA-rapport 0-82086, L.nr. 1621, 1-68.
- Iversen, E. R. & Arnesen, R. T. 1990. Vannforurensning fra nedlagte gruver, del I. NIVA-rapport 0-89106, L. nr. 2363, 1-51.
- Iversen, E. R. & Arnesen, T. T. 2003. Elvestrekninger påvirket av gruveforurensning Status for forurensningssituasjonen ved utgangen av 2002. NIVA-rapport 4730-2003. 1-81.
- Iversen, E. R. & Grande, M. 1994. Måling av avrenning fra Lillefjell gruve. NIVA-rapport 3009-1994. 1-10.
- Iversen, E.R., Hylland, K., Arnesen, R. T., Källqvist, S. T. & Aanes, K. J. 1998. Karlegging av forurensningstilstanden i Meråker gruvefelt. NIVA-rapport LNR 3938-98.
- Iversen, E. R., Arnesen, R. T. & Tjomsland, T. 2003. Elvestrekninger påvirket av gruveforurensning. NIVA TA-1986/2003. 68 s.

- Kjærstad, G., Skei, B. B. & Arnekleiv, J. V. 2019. Vurdering av økologisk tilstand i bekker og elver i Meråker og Stjørdal – NTNU Vitenskapsmuseet naturhistorisk notat 2019-3: 1-40.
- Kjærstad, G., Bergan, M. A., Ulvund, B., Kristensen, T., Urke, H. A. & Arnekleiv, J. V. (in prep.). Exposure of metal mine drainage water to aquatic insect larva.
- Koksvik, J. (upublisert). *Gyrodactylus derjavini* i Stjørdalsvassdraget - foreløpige resultater.
- Kristensen, Urke, H. A., Arnekleiv, J. V., Teien, H.C., Stefansson, S., Nilsen, T.O., Rosseland, B.O. Kroglund, F. & Åtland, Å. 2009a. Effects of metal exposure from acid mine drainage and groundwater on gill Na⁺, K⁺ -ATPase subunit isoform mRNA expression, enzyme activity and physiology in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) smolts. 8th International Workshop on Smoltification Oregon, Sept.20-24, 2009. USA.
- Kristensen, T., Urke, H. A., Arnekleiv, J. V., Teien, H.C., Stefansson, S., Nilsen, T.O., Rosseland, B.O. Kroglund, F. & Åtland, Å. 2009b. Increased susceptibility to metal mine discharges during the smolt stage of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). 8th ICARD 2009 Proceedings.
- Kroglund, F., Rosseland, B.O., Teien, H.C. Salbu, B., Kristensen, T. mfl.mfl. 2007a. Water quality limits for Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) exposed to short term reductions in pH and increased aluminum simulating episodes. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, European Geosciences Union, 2007, 4 (5), pp.3317-3355. ([hal-00298892](https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00298892))
- Kroglund, F. B. Finstad, S.O. Stefansson, T.O. Nilsen, T. Kristensen, B.O. Rosseland, H.C. Teien, B. & Salbu, B. 2007b. Exposure to moderate acid water and aluminum reduces Atlantic salmon post-smolt survival, *Aquaculture*, Volume 273, Issues 2–3, 2007, Pages 360-373, ISSN 0044-8486, <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2007.10.018>.
- Olsvik, P. A., Ulvund, J. B., Teien, H.C., Urke, H. A., Lie, K.K. & Kristensen, T. 2016. Transcriptional effects of metal-rich acid drainage water from the abandoned Løkken Mine on Atlantic salmon (*Salmo salar*) smolt, *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A*, 79:13-15, 612-632, DOI: [10.1080/15287394.2016.1171992](https://doi.org/10.1080/15287394.2016.1171992)
- Reinertsen, H. 1998. Resipientforhold i Fjergen, Fossvatn og øvre deler av Stjørdalsvassdraget. SINTEF-rapport STF21 F85001.
- Sjursen, A. D., Arnekleiv, J. V., Kjærstad, G. & Rønning, L. 2010. Fiskebiologiske undersøkelser i Fjergen 2009. – NTNU Vitenskapsmuseet Rapp. Zool. Ser 2010, 3: 1-44.
- Teien, H.C., Urke, H. A., Kristensen, T., Adolfsen, P. & Arnekleiv, J. V. 2008. Undersøkelser og feltforsøk utført i Stjørdalsvassdraget 2006-2007. Vannkjemi, avsetning på gjeller og fysiologi. NMBU. Presentasjon VRD møte 12. mars 2008.
- Thorstad, E. B., Uglem, I., Finstad, B., Kroglund, F., Einarsdottir, I. E., Kristensen, T., Diserud, O., Arechavala-Lopez, P., Mayer, I., Moore, A., Nilsen, R., Björnsson, B.T & Økland, F. 2013. Reduced marine survival of hatchery-reared Atlantic salmon post-smolts exposed to aluminium and moderate acidification in freshwater. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, Volume 124, 2013, Pages 34-43, ISSN 0272-7714, <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2013.03.021>.
- Traaen, T. S. 2002. Overvåking av Gaula, Sør-Trøndelag Vannkjemiske undersøkelser. Årsrapport for 2001. NIVA-rapport 4530-2002. 1-22.
- Urke, H.A., Arnekleiv, J.V., Nilsen, T.O., Nilsen K.J., Rønning, L., Ulvund, J.B. & Kristensen, T. 2014a. Long term hypoosmoregulatory capacity in downstream migrating Atlantic salmon *Salmo salar* L. smolts. *Journal of Fish Biology*, 85 (4):1131-44. doi: 10.1111/jfb.12508
- Urke, H.A., Arnekleiv, J.V., Nilsen, T.O & Nilssen, K. J. 2014b. Long term hypoosmoregulatory capacity in downstream migrating Atlantic salmon *Salmo salar* L. smolts. *Journal of Fish Biology* 84, 178–192, doi:10.1111/jfb.12276,I
- Vannregionmyndigheten Trøndelag. 2009. Tiltaksprogram Nord-Trøndelag 2010-2015. 1-127.
- Østmoe, O. Ø. 2000. Lillefjell gruve. Avrenning fra gruveveltene. Vurderinger og forslag til tiltak. Rapport Noteby AS, Oppdrag/rapport nr. 101343-1, 1-9.

NTNU Vitenskapsmuseet er en enhet ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet, NTNU.

NTNU Vitenskapsmuseet skal utvikle og formidle kunnskap om natur og kultur, samt sikre, bevare og gjøre de vitenskapelige samlingene tilgjengelige for forskning, forvaltning og formidling.

Institutt for naturhistorie driver forskning innenfor biogeografi, biosystematikk og økologi med vekt på bevaringsbiologi. Instituttet påtar seg forsknings- og utredningsoppgaver innen miljøproblematikk for ulike offentlige myndigheter innen stat, fylker, fylkeskommuner, kommuner og fra private bedrifter. Dette kan være forskningsoppgaver innen våre fagfelt, konsekvensutredninger ved planlagte naturinngrep, for- og etterundersøkelser ved naturinngrep, fauna- og florakartlegging, biologisk overvåking og oppgaver innen biologisk mangfold.

ISBN 978-82-8322-226-5
ISSN 1894-0064

© NTNU Vitenskapsmuseet
Publikasjonen kan siteres fritt med kildeangivelse

www.ntnu.no/museum