

Laks påvirkes negativt av sink

I kontrollerte forsøk, hvor ferskvannsbehandling av laks i brønnbåt ble simulert, ble det vist at laks påvirkes negativt av forhøyede konsentrasjoner av sink. Fisken klarte seg noe bedre i ubehandlet ferskvann (råvann) sammenlignet med behandlet ferskvann (fjernet partikler) som var tilsatt silikatlut.

Tekst: Rolf David Vogt¹, Sara Calabrese¹, Endre Steigum¹, Frida Sol Svendsen¹, Kristian Ulven², Alf Dalum^{3,4}, Linda Andersen², Floriana Lai⁵, Markus Valle Sjøstrand², Louise Wedaa⁶, Oscar Hanson⁵ og Ole-Kristian Hess-Erga¹. Se faktaboks om NYBRØK for nummerforklaring.

Sara.Calabrese@niva.no

Tidligere undersøkelser av ferskvannsbehandling og lukket transport av laks i brønnbåt har vist at sink (Zn) i vannet akkumuleres og at konsentrasjonen kan bli høy. I det FHF-finansierte prosjektet NYBRØK ble det derfor nylig gjennomført kontrollerte forsøk der fisk ble eksponert for konsentrasjoner av sink som tilsvarer målte verdier fra kommersielle brønnbåtoperasjoner.

Funnene viser at laksen blir negativt påvirket av forhøyede sinkkonsentrasjoner, spesielt i ferskvann med lite humus, hvor sink stort sett forekommer i den giftige frie Zn²⁺ formen. Silikatlut, også kalt vannglass, viser seg å ikke ha en avgiftende effekt når pH i ferskvannet er lavere enn 7. Ved høyere pH hydrolyseres sink og blir dermed mindre giftig for fisken. Også ved høye konsentrasjoner av ioner som kalsium (Ca²⁺) og magnesium (Mg²⁺) i vannet er giftigheten til sink lavere.

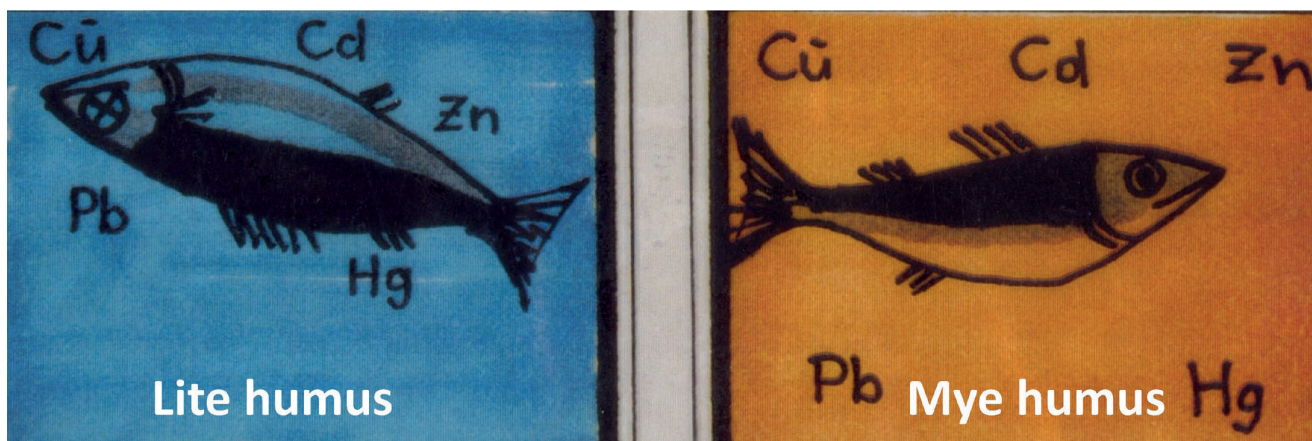
Transport og behandling i brønnbåt

Transport av laks i brønnbåter til og fra åpne merder er en helt nødvendig aktivitet for havbruksnæringen. Ferskvannsbehandling av laks ombord i brønnbåtene, for å bekjempe lakselus og amøbegjellesykdom (AGD), er også vanlig praksis i næringen. Selv om de fleste transportene og behandlingene går fint, rapporteres det av og til om utfordringer knyttet til fiskevelferd og dødelighet.

Det er flere mulige årsaker til slike hendelser. Ofte henger de sammen med at fisken hadde en redusert allmenntilstand før transport eller behandling. Dette fører til at de i mindre grad tåler håndteringen, stresset og de miljøendringene som oppstår under transport eller behandling. Høy biomasse og fisketetthet i brønnbåten er andre faktorer som kan svekke fiskens evne til å tåle belastningene. Dårlig kvali-



Forskningsteamet som var ansvarlig for fisken og sinkeksponeringen på ILAB. Fra venstre: Endre Steigum (NIVA), Markus Valle Sjøstrand (ILAB), Kristian Ulven (ILAB) og Rolf David Vogt (NIVA). Foto: Ole-Kristian Hess-Erga/NIVA.



Illustrasjon av hvordan fisken påvirkes av tungmetaller med hhv. lite og mye humus i vannet. Kilde: E. Gjessing (pers. kom.).

tet på vannet som brukes ombord, eller forringet vannkvalitet under selve transporten eller behandlingen, kan også føre til problemer for fisken.

Ved flere tilfeller av fiskedødelighet i brønnbåtsoperasjoner er det målt høye konsentrasjoner av metallionene sink (Zn^{2+}) og kobber (Cu^{2+}) i transport- og behandlingsvannet. Konsentrasjonen av disse metallene er lave ved start, men for sink kan konsentrasjonen stige til 800–1000 $\mu g/l$ underveis, spesielt ved lange lukkede transporter og under ferskvannsbehandlinger hvor vannet brukes flere ganger. Disse tungmetallene kommer sannsynligvis fra korrosjonsbeskyttende utstyr som offeranoder eller fra overflatebehandling i brønnbåtene.

Selv om det er kjent at tungmetaller kan være toksiske for laks og påvirker ioneregulering, er effekter av tungmetaller på fisken under forhold som er typiske for transport og behandling i brønnbåt lite utforsket. I tillegg er giftigheten til Zn^{2+} mindre kjent enn for andre tungmetaller, da det ikke har vært et like stort forurensingsproblem.

Simulering av lukket transport og ferskvannsbehandling

Kontrollerte laboratorieforsøk ble gjennomført for å undersøke effektene av forhøyede konsentrasjoner av Zn^{2+} i ferskvann og sjøvann på fiskefysiologi gjennom åtte timer simulert transport og ferskvannsbehandling. Før og etter

Dette er NYBRØK-prosjektet

- Ny brønnbåtkunnskap – biologiske risikofaktorer ved bruk av brønnbåt til transport og behandling av laks.
- Partnere fra NIVA¹, NUI, UiB⁵, Aqua Kompetanse³, Patogen⁴, Seafarming Systems, Akvaplan-niva og ILAB². I metallforsøkene deltok en student fra NMBU⁶.
- Prosjektet startet i 2022 og er finansiert av Fiskeri og havbruksnæringens forskningsfinansiering (FHF).

Organisk materiale

- Måles ofte som totalt organisk karbon (TOC) eller som farge.
- Består av humus (stort sett i ferskvann) og fulvosoffer (også kalt fulvosoffer).
- Humusstoffene er tungt nedbrytbare planterester og består av større fargede molekyler som kompleksbinder Al og tungmetaller og gjør dem mindre biotilgjengelig.
- Fulvosoffer skilles ut av fisken og består av en rekke forbindelser, bla. fulvinsyre, som gir mindre farge på vannet og har mer begrenset avgiftende effekt. Det organiske materiale i oppdrettsvann består derfor mye av fulvosoffer.

Silikatlut er ikke løsningen for giftig sink

Mange landbaserte oppdrettsanlegg har utfordringer knyttet til giftige aluminiumforbindelser i ferskvannskildene. For å håndtere dette tilsettes vannet silikatlut, som binder Al og gjør den ufarlig for fisken. Silikatlut, ofte også kalt vannglass, er en blanding av kiseltsyre-ioner og natriumoksid. Tilsetning av silikatlut brukes også av brønnbåtnæringen for å avgifte giftig Al fra ferskvannet som benyttes. Det er en utbredt oppfatning i næringen at denne silikatbehandlingen også har en avgiftende effekt på tungmetaller som Zn^{2+} og Cu^{2+} . Denne antagelsen har imidlertid liten eller ingen vitenskapelig støtte, og det er ikke noe faglig grunnlag til å anta dette. Det er viktig å merke seg at silikatlut ikke nødvendigvis fjerner metallene. De vil derfor fremdeles kunne måles i vannet.

eksponeringen ble postsmolten (470 g) holdt i sjøvann, for å simulere en lukket transport med bruk av sjøvann og ferskvannsbehandlinger i brønnbåt. Effektene av ulike ferskvannskvaliteter og tilsetning av silikatlut ble undersøkt.

Fisken ble utsatt for vann uten sink (kontrollgruppe), samt en konstant dose av lav- (100 µg/l), moderat- (400 µg/l) og høy- (800 µg/l) Zn²⁺ konsentrasjon i vann med tilførsel av trykkluft som sørget for omrøring, utlufting av CO₂ og tilførsel av O₂. De testede konsentrasjonene er basert på målte konsentrasjoner av sink i kommersielle brønnbåtoperasjoner, hvor sink har akkumulert i løpet av transporten eller ferskvannsbehandlingen. I tillegg ble små mengder Cu²⁺ (henholdsvis 2 og 6 µg/l i lav og høy dose) tilsatt for å tilsvare målte verdier fra brønnbåtoperasjoner i oppdrettsnæringen og for å vurdere eventuelle interaksjoner mellom Zn²⁺ og Cu²⁺.

Hva vet vi om giftigheten av tungmetaller?

Effektene av eksponering for giftige metallioner som aluminium (Al) på liten laks (yngel, parr og smolt) i ferskvann er dokumentert i vitenskapelig litteratur. Til en viss grad er også samvirkende effekter ved eksponering for enkelte blandinger av metaller dokumentert.

Under ferskvannsbehandling mot lakselus og AGD i brønnbåter utsettes imidlertid fisken for osmotisk stress når vannets saltholdighet endres. Effekten av høye Zn²⁺ konsentrasjoner (som påvirker blant annet fiskens ioneregulering) i kombinasjon med osmotisk stress kan derfor muligens utgjøre en høy totalbelastning for fisken.

Tungmetallene er mest giftige når de er i form av frie ioner i vannet. Om ionene er frie i ferskvann avhenger hovedsakelig av vannets innhold av humusstoffer, da dette bestemmer i hvilken grad tungmetallene er kompleksbundet til humusmolekyler og dermed blir mindre biotilgjengelige.

Vann med lavt humusinnhold kan derfor inneholde mer giftige ioner. Organisk materiale som stammer fra fiskens avføring, består bl.a. av fulvosforbindelser og har begrenset effekt på tungmetallgiftigheten. Giftigheten til tungmetaller er også redusert i vann med høye konsentrasjoner av Ca²⁺ og Mg²⁺, som i sjøvann og hardt ferskvann. Det er imidlertid mangel på tilstrekkelig data om giftigheten til Zn²⁺ i ulike typer vann, inkludert saltvann og ferskvann med eller uten humus- og fulvosstoffer.

Effekter av Zn²⁺ i simulert brønnbåttransport og ferskvannsbehandling

Simulert sjøvannstransport

Ingen fisk døde i løpet av de 8 timene med eksponering for ulike Zn²⁺ doser, og kun én fisk fra høy dosegruppe døde i løpet av oppfølgingsperioden på 20 dager i gjennomstrømmende sjøvann.

Fisk som hadde blitt eksponert for høy dose Zn²⁺ (800 µg/l) i sjøvann hadde en lavere hematokritverdi umiddelbart etter eksponering sammenlignet med kontrollfisken.

Høy konsentrasjon av Zn²⁺ påvirker sannsynligvis fiskens evne til å opprettholde osmotisk balanse i blodet. En mulig forklaring på den lavere hematokritverdien kan være at volumet til de røde blodcellene har minsket på grunn av utlekking av væske og at ioner strømmer inn i cellen. Dette kan påvirke blodets evne til å ta opp og transportere oksygen. Imidlertid ser det ut til at fisken kommer seg etter eksponeringen, da hematokritnivåene en uke etter eksponering hadde økt til samme nivå som før eksponeringen. Dette indikerer

Hematokrit

Den prosentvise volumandelen som de røde blodcellene utgjør av det totale blodvolumet. Et mål for fiskens evne til å transportere oksygen gjennom kroppen og en viktig indikasjon på fiskens generelle helse og tilpasningsevne til miljømessige forhold.

Kortisol

Et stresshormon som øker i blodet under stressende situasjoner for å mobilisere energi og ressurser for å håndtere utfordringene.



Laks i forsøktank med råvann som inneholder humus. Foto: Rolf D. Vogt/NIVA.

at fisken var i stand til å hente seg inn igjen i et miljø uten ytterligere stressfaktorer.

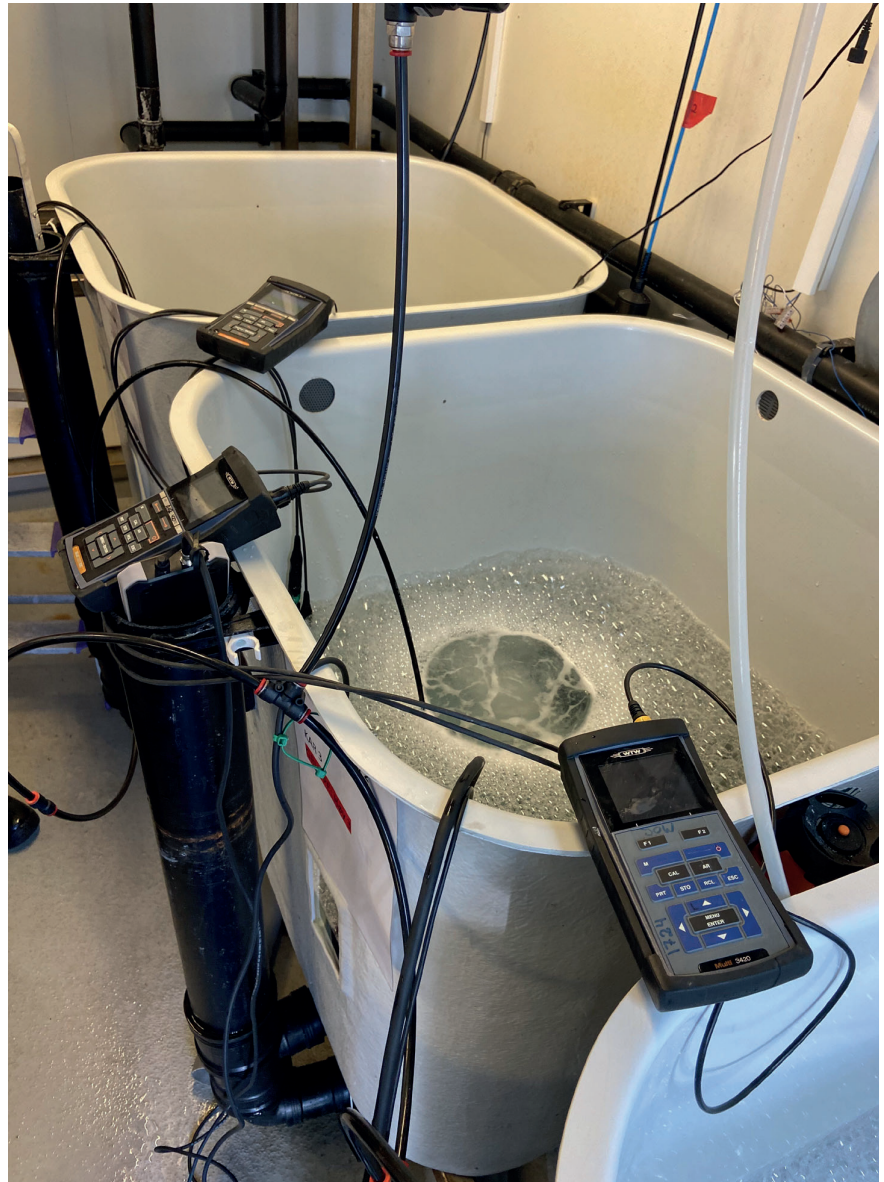
Den lavere giftigheten av Zn^{2+} i sjøvann kan hovedsakelig tilskrives sjøvannets høye konsentrasjon av Ca^{2+} og Mg^{2+} , som reduserer fiskenes opptak av Zn^{2+} . Det er også mulig at mye av sinken var hydrolysert, og dermed mindre giftig, siden den målte pH verdien var mellom 7,3 og 8.

Simulert ferskvannsbehandling:

Ved moderat- og høy Zn^{2+} -eksponering i ubehandlet råvann, som hadde en kvalitet som er typisk for forholdene på Vestlandet, klarte fisken seg bra under selve eksponeringen. Etter tilbakeføringen til sjøvann døde imidlertid én fisk eksponert for moderat dose etter 3 dager, mens etter eksponering for høy dose begynte fiskene å dø en time etter tilbakeføring til sjøvann, og totalt døde nesten halvparten av fisken. Dette illustrerer at kombinasjonen av sink-eksponering og osmotisk stress kan være dødelig.

I renset ferskvann med tilsatt silikatlut (behandlet vann) var det mindre organisk materiale enn i ubehandlet råvann. Fisk i gruppene som ble utsatt for moderat Zn^{2+} eksponering ($400 \mu\text{g/l}$) i 8 timer opplevde problemer kort tid etter tilbakeføring til sjøvann, og mer enn halvparten av fisken døde i oppfølgingsperioden. Ved høy dose ($800 \mu\text{g } Zn^{2+}/l$) kunne dødelighet ses allerede etter ca. 6 timers eksponering og ingen fisk overlevde mer enn 1 døgn etter tilbakeføring til sjøvann.

Fisk eksponert for moderat og høy Zn^{2+} dose i behandlet vann viste en økning i hematokritnivåer og stresshormonet



Forsøkskar med lufting og instrumenter for å overvåke kjemiske og fysiske parametere under forsøket på ILAB. Foto: Rolf D. Vogt/NIVA.



TILGJENGELIG SOM FRITTSTÅENDE SENSOR

DCS Blue

HØYKVALITETS STRØMSENSOR

- Strømhastighet og strømrøtning
- Tilt og temperatur
- Enkel i bruk
- Kontinuerlig sensorstatus via LED
- Intern lagring og/eller RS-232 i sanntid

For tekniske notater, opplæring og produkt informasjon, besøk: [Aanderaa.com/rcm-blue](https://www.aanderaa.com/rcm-blue)

AANDERAA
a xylem brand





Forskningsteamet som var ansvarlig for prøvetakning av laksen under forsøket på ILAB. Fra venstre: Oscar Hanson (masterstudent ved UIB), Siw Frantzen (NIVA), Sara Calabrese (NIVA), Frida Sol Svendsen (NIVA), Kristian Ulven (ILAB) og Markus Valle Sjøstrand (ILAB). Foto: Ole-Kristian Hess-Erga/NIVA.

kortisol i blodet. I ubehandlet råvann ble disse responsene kun observert ved høy dose, og de var da mindre fremtredende.

Den plutselige endringen i vannets ionestyrke når fisken overføres fra sjøvann til ferskvann sammen med en høy Zn^{2+} konsentrasjon har forårsaket osmotisk stress og kan ha ført til de økte hematokritnivåene, da de røde blodcellene sveller når væske går inn i cellen og ioner ut. Zn^{2+} eksponering kan også ha ført til direkte skader på gjellevevet og dermed svekket oksygenopptak. For å motvirke oksygenmangelen kan fisken ha rekruttert flere røde blodceller som igjen kan ha ført til forhøyet hematokritnivå.

Skadene på gjellene ble bekreftet av histologiske analyser, hvor det rett etter eksponering ble observert degenerasjon og celledød (nekrose) av respiratorisk epitel, kloridceller og lamellenes kapillærstrukturer (pillarceller). Slike skader medfører brudd på en viktig

osmotisk barriere, og reduserer dermed fiskens evne til å regulere osmotisk trykk. Høyest forekomst av skader ble registrert i gjeller fra fisk som ble eksponert for behandlet vann og høy Zn^{2+} dose. Samme typer skader, men av mindre omfang, ble registrert i gruppen eksponert for behandlet vann og moderat Zn^{2+} dose samt fra ubehandlet vann og høy Zn^{2+} dose. Interessant nok var omfanget av skader i gjellene sammenlignbart mellom de to sistnevnte gruppene, noe som understreker den beskyttende effekten av humusen i det ubehandlede vannet. Samlet sett tyder dette på at fisk som omkom under forsøket døde som følge av kvelning og/eller osmotisk stress. Flere fysiologiske og histologiske analyser vil bli utført i tiden som kommer.

Akutt dødelighet hos fisk etter 6 timers eksponering i vann som er renset og som inneholder lite humusstoffer og er tilsatt silikatlut, viser tydelig at silikatlut ikke har en avgiftende effekt på Zn^{2+} . Dette kan

skyldes at ved pH mellom 6 og 6,8 er det lite hydrolyse av sink, slik at det binder seg lite til silikatlut.

Ferskvann med humus reduserer risiko

Resultater fra forsøket tyder på at ved moderate og høye Zn^{2+} konsentrasjoner under ferskvannsbehandling kan den samlede belastningen for fisken bli for stor. De observerte fysiologiske responsene er ikke tilstrekkelige for å håndtere det osmotisk stresset, noe som fører til at fisken dør ved ytterligere påkjenninger, som ved tilbakeføring til sjøvann. Det var imidlertid tydelig at fisken klarte seg bedre i ubehandlet ferskvann sammenlignet med behandlet ferskvann med silikatlut. Sannsynligvis er dette på grunn av at det ubehandlede vannet inneholdt mer humus som binder Zn^{2+} og gjør sink mindre giftig.

Det er mye vi ikke vet om effekten av sink på laks

Kunnskapen om effekter av tungmetaller på laks under forhold som er vanlige for

transport og behandlingsoperasjoner i brønnbåter er blitt bedre gjennom disse forsøkene, men det er fremdeles mangler i vår forståelse. Forsøket tydeliggjorde at høye konsentrasjoner av Zn^{2+} har en toksisk virkning på fisken, men det er ikke mulig å fastslå eksakte grenseverdier basert på de tre dosene som ble testet i forsøket. Derfor bør det gjennomføres flere dose-responsforsøk for å etablere grenseverdier i ulike vannkvaliteter. Rent ferskvann produsert ved ultrafiltrering og revers osmose (RO) bør også inkluderes i nye forsøk. Dette vannet er svært rent og bløtt (lite ioner) og brukes i økende grad til ferskvannsbehandling av laks i brønnbåter. Fisken skiller ut betydelige mengder organisk materiale. Imidlertid er det lite sannsynlig at dette organiske fulvosmaterialet fra fisken binder tungmetaller like effektivt som humusmaterialet fra nedbørsfeltet. Derfor er det en del usikkerhet knyttet til tolkningen av hvordan TOC og fargerresultatene henger sammen med giftigheten til Zn^{2+} , spesielt ved gjenbruk av vann, som i resirkulerende akvakultursystemer (RAS) •

knuro

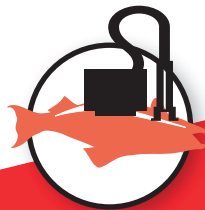
Maskiner og programvare til ørret- og lakseslakteri



**GUTTING
MACHINE**



**FISH
COUNTER**



**FISH
CLEANER**



**TOP
SYSTEM**

✉ post@knuro.no