



RAPPORT LNR 5032-2005

# **Eksponering av torsk i estuarine blandsoner**

Effekter av lav salinitet og  
aluminium



**Hovedkontor**

Postboks 173, Kjelsås  
0411 Oslo  
Telefon (47) 22 18 51 00  
Telefax (47) 22 18 52 00  
Internet: www.niva.no

**Sørlandsavdelingen**

Televeien 3  
4879 Grimstad  
Telefon (47) 37 29 50 55  
Telefax (47) 37 04 45 13

**Østlandsavdelingen**

Sandvikaveien 41  
2312 Ottestad  
Telefon (47) 62 57 64 00  
Telefax (47) 62 57 66 53

**Vestlandsavdelingen**

Nordnesboder 5  
5005 Bergen  
Telefon (47) 55 30 22 50  
Telefax (47) 55 30 22 51

**Midt-Norge**

Postboks 1264 Pirsenteret  
7462 Trondheim  
Telefon (47) 73 87 10 34 / 44  
Telefax (47) 73 87 10 10

Tittel <b>Eksponering av torsk i estuarine blandsoner</b>	Løpenr. (for bestilling) 5032-2005	Dato 10.06.05
	Prosjektnr. Undernr. E 40010	Sider Pris 17
Forfatter(e) Vilhelm Bjerknes, Åse Åtland, Torstein Kristensen, Frode Kroglund	Fagområde Fisk og akvakultur	Distribusjon
	Geografisk område Hordaland	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) NIVA	Oppdragsreferanse
--------------------------	-------------------

<p>Sammendrag</p> <p>Torsk (1*) ble eksponert på to stasjoner i brakkvann ved Vaksdal i Sørfjorden og Gammersvik i Osterfjorden og en referansestasjon ved Eikeviken i Byfjorden fra 22. til 30. mai 2002. Overflatevannet på brakkvannstasjonene hadde en salinitet på 4-5,5 promille, og en konsentrasjon av totalaluminium på 62-69 µg/L. Tilsvarende verdier på referansestasjonen var 15 promille og 55-57 µg Al/L. Torsken på brakkvannstasjonene akkumulerte 41 og 29 µg/g tørrvekt aluminium på gjellene i henholdsvis Sørfjorden og Osterfjorden. Deposisjonen på referansestasjonen var 5 µg/g tørrvekt. Den mest påfallende fysiologiske responsen var en sterk reduksjon i plasmaklorid på de to brakkvannstasjonene fra 140-150 mmol/L før til 100-110 mmol/L etter forsøket. Tilsvarende respons ble ikke registrert på laksesmolt som ble eksponert på de samme lokalitetene i samme tidsrom. Så store og varige reduksjoner i plasmaklorid er ikke tidligere rapportert fra litteraturen, der torsk har vært eksponert for lave saliniteter. Reaksjonen antas å være en respons på kombinasjonen bioreaktivt aluminium i miljøet, aluminiumsdeposisjon og lav saltholdighet.</p>
--

<p>Fire norske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Torsk</li> <li>Laks</li> <li>Estuarine blandsoner</li> <li>Fysiologisk respons</li> </ol>	<p>Fire engelske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Atlantic cod</li> <li>Atlantic salmon</li> <li>Estuarine mixing zones</li> <li>Physiological response</li> </ol>
---	--



Vilhelm Bjerknes  
Prosjektleder



Trond Rosten  
Forskningsleder



Trond Rosten  
Ansvarlig

# **Eksponering av torsk i estuarine blandsoner**

Effekter av lav salinitet og aluminium

## Forord

Rapporten presenterer et pilotprosjekt med eksponering av torsk i esturine blandsoner. Arbeidet ble utført i kombinasjon med eksponering av lakssmolt for å undersøke smoltens respons på vannkvaliteten i utvandringsområdene fra Vosso i Hordaland. Den delen som omfatter torsk er bekostet av NIVA's interne forskningsmidler. Resultatene idikerer at torsk kan være mer følsom enn laks overfor vannkvaliteter med lav salthodighet og høyt aluminiumsinnhold.

Takk til Camilla Grimsby for uvurderlig assistanse ved feltarbeid og databehandling.

Bergen 8. april 2005

*Vilhelm Bjercknes*

---

# **Innhold**

<b>Sammendrag</b>	<b>5</b>
<b>Summary</b>	<b>6</b>
<b>1. Innledning</b>	<b>7</b>
<b>2. Materiale og metoder</b>	<b>7</b>
<b>3. Resultater</b>	<b>9</b>
<b>4. Diskusjon</b>	<b>13</b>
<b>5. Referanser</b>	<b>14</b>

---

## Sammendrag

Torsk (1<sup>+</sup>) og laksesmolt ble satt i separate merder på to brakkvannstasjoner med estuarine blandsoner og en referansestasjon fra 22. til 30. mai 2002. Det ble tatt gjelleprøver for analyse av aluminium og blodprøver for måling av fysiologisk respons ved starten og ved avslutningen av forsøket, i tillegg til hydrografi (salinitet og temperatur) og vannprøver for analyse av total-aluminium.

Salinitet i overflatelaget varierte mellom 4,0 og 5,4 promille. På referansestasjonen ble saliniteten målt til 15 promille ved avslutningen av forsøket. Totalaluminium i oveflatelaget lå mellom 63 og 69 µg/L på brakkvannstasjonene og 55-57 µg/L på referansestasjonen.

På begge brakkvannstasjonene akkumulerte torsk og laks aluminium på gjellene, og det ble registrert nedsatt hematokritt. Ved avslutningen av forsøket 30. mai var aluminiumsmengden på torskegjellene i middel 29 og 41 µg/g tørrvekt på de to brakkvannstasjonene og 5 µg/g på referansestasjonen. Den mest markerte endringen i blodfysiologi ble registrert på torsk på de to brakkvannstasjonene, med fall i plasmaklorid fra normaltstand 140-150 mmol/L til 100-110 mmol/L. Tilsvarende forandring ble ikke påvist hos laksen på de samme stasjonene. Det var signifikant negativ korrelasjon mellom aluminiumsavsetning og plasmaklorid på brakkvannstasjonene.

Torsk tåler normalt saliniteter ned til 5 promille uten å reagere med fysiologisk stress. Fallet i plasmaklorid i dette forsøket tolkes som forstyrrelse av fiskens ioneregulering og syre-base-balanse. Kontrollerte eksponeringsforsøk med torsk i tilsvarende aluminiumskonsentrasjoner (60 µg/L) ved saltholdighet på 10 promille ga ikke tilsvarende endring i plasmaklorid. Endringen i plasmaklorid i dette forsøket antas å være en effekt av aluminiumsavsetningen på gjellene kombinert med lav saltholdighet.

Resultatene har betydning for lokalisering av oppdrettsanlegg for torsk i ferskvannspåvirkete fjorder. Dersom ferskvannskilden er påvirket av forurening, gruvevirksomhet eller industri, eller har høyt humusinnhold, vil metaller transportert med ferskvannet endre tilstandsform og potensielt utgjøre et problem for fiskens helse.

Giftige blandsoner kan også tenkes å redusere leveområdene for kysttorsk i ferskvannspåvirkete fjorder med tilførsel av forurenet, aluminiumsholdig vann.

## Summary

Title: Exposure of cod to estuarine mixing zones

Year: 2005

Authors: Vilhelm Bjerknes, Åse Åtland, Torstein Kristensen, Frode Kroglund

Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN No.: ISBN 82-577-4733-5

Hatchery produced cod (*Gadus morhua*) (1<sup>+</sup>) and smolts of Atlantic salmon (*Salmo salar*) were exposed in net pens at two estuarine sites influenced by acidic, aluminium rich freshwater, and one reference site from 22. to 30. May 2002. Gills and blood samples were collected initially and at the end of the experiment. Ambient salinity and temperature were registered by CTD, and surface water samples were taken for analyses of total aluminium.

The surface salinity varied between 4,0 and 5,4 ppt at the estuarine sites. 15 ppt was registered at the reference site in the end of the experiment. Total aluminium in the surface water varied between 63 and 69 µg/L at the estuarine sites and 55-57 µg/L at the reference site.

In brackish water both cod and salmon accumulated gill aluminium, and reduced hematocrite values were registered at the end of the experiment. The gill samples from cod at the estuarine and reference sites contained 29- 41 and 5 µg/g dry weight respectively. The most striking physiological change was a reduction in plasma chloride in cod at the estuarine sites from 140-150 mmol/L initially to 100-110 mmol/L. Corresponding changes were not registered in the salmon exposed to estuarine water, neither in cod at the reference site. There was a significant negative correlation between gill aluminium deposition and plasma chloride in the cod at the estuarine sites.

Normally, cod tolerate salinity declines to 5 ppt without permanent physiological stress. The permanent decline in plasma chloride in this experiment, expressing ionic regulation disturbance, is probably affected by a combination of low ambient salinity and aluminium deposition at the gills.

These results are significant for cod farm site selection in fjords with high freshwater influence. When mixed with saline water, acidified freshwater and water influenced by mining or industrial activities or high humid content, the condition of dissolved metals will change, and represent a problem for the health condition of the fish.

Toxic mixing zones may also reduce the natural distribution of coastal cod in fjords that are strongly influenced by acid, aluminium rich freshwater.

# 1. Innledning

Surt vann med høyt innhold av aluminium er giftig for fisk i ferskvann. Aluminium påvirker bl.a. gjellevev, enzymer, blodelektrolytter og hormonbalanse. Slike påvirkninger innvirker i neste omgang på atferd, sykdomsresistens og overlevelse. Aluminium avgiftes når pH heves, for eksempel etter kalking eller når surt vann blandes med vann med høyere pH (Kroglund og Finstad 2001 a, b).

Det har vist seg at aluminium også kan være giftig i brakkvann. I 1993 ble det innrapportert betydelig akkumulering av aluminium på gjeller hos oppdrettslaks i merdanlegg på Sørlandet. Tilsvarende er det påvist en rekke tilfelle av massiv dødelighet i oppdrettsanlegg i fjordene rundt Osterøy øst for Bergen i forbindelse med vinter- og vårflommer. Aluminiumsakkumulering med påfølgende respirasjons- og sirkulasjonsforstyrrelser hos fisken er påvist som hovedårsak (Bjerknes m.fl. 2003). Tilsvarende effekter er påvist på laks (Rosseland m. fl. 1998) og torsk (Kristensen m. fl. 2000) i kontrollerte forsøk. Eksponeringsforsøk med laksesmolt kontrollert og in situ tyder på at aluminium er spesielt bioreaktivt ved saltholdigheter mellom ca. 3 og ca 10 promille (bl.a. Bjerknes og Røyset 2004).

Atlantisk torsk (*Gadus morhua*) har stor toleranse for lave saliniteter, og arten takler også hurtige variasjoner i salinitet. Torsk finnes naturlig utbredt i store brakkvannsområder i Østersjøen og på den Kanadiske atlantehavskysten (Scholz og Waller 1992, Nelson m.fl. 1996). Torsk er også kjent for å utnytte brakkvannsområder i og ved elveutløp i Norge. Det er vist at torsk kan tolerere saliniteter ned i 5 promille over lang tid uten fysiologiske forstyrrelser (Provencher m.fl. 1993, Odense m.fl. 1966). Toleransen for lave saliniteter varierer marginalt med sesong (temperatur og lysforhold) (Dutil m.fl. 1992). Dødelighet er påvist ved 1 promille (Provencher m.fl. 1993). Parasittinfeksjoner er vist å påvirke salinitetstoleransen negativt (Kahn 1977). Direkte overføring fra fullt sjøvann til brakkvann er vist å være uproblematisk i flere tilfeller (Odense m.fl. 1967, 3 promille, Dutil m.fl. 1990, 7 promille, Provencher m.fl. 1993, 5 promille, Kristensen 2001, 10 promille).

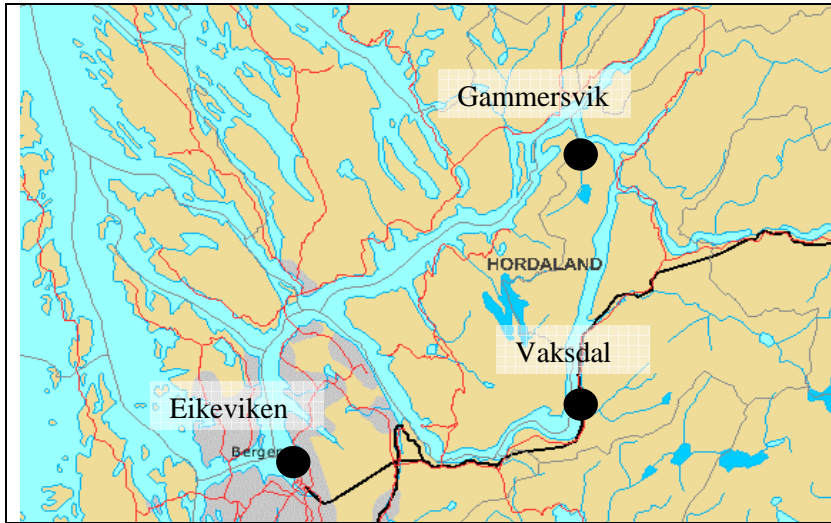
Ut fra dette må vi forvente at det er uproblematisk for torsk å tilbringe hele eller deler av livet i sterkt ferskvannspåvirkete fjorder som for eksempel fjordene rundt Osterøy, der saliniteten i overflatelaget kan variere fra 5 til 20 promille. Aluminium i brakkvann med saliniteter under 10 promille er påvist å være giftig for laks, og også for torsk (Kristensen et al. 2000; Kristensen 2001), og det er sannsynlig at overflatevannet i fjordene rundt Osterøy periodisk er uegnet for torsk.

I denne rapporten presenteres resultater fra et enkelt forsøk der torsk og laksesmolt ble eksponert for brakkvann med naturlig påvirkning av forsuret, aluminiumsholdig ferskvann. Forsøket ble gjennomført 22. til 30. mai 2002.

## 2. Materiale og metoder

50 torsk (1<sup>+</sup>), oppdrettet ved Austevoll Havbruksstasjon ble hentet 22. mai 2002 og fraktet i transporttank (0,5 m<sup>3</sup>) i bil, og deretter fordelt og overført til merder i Eikeviken (Byfjorden), Vaksdal (Sørfjorden) og Gammersvik (Osterfjorden), se **Tabell 1** og **Figur 1**. Førstnevnte stasjon fungerte som referanse. Transporttid fra innlasting til utsetting var på henholdsvis 2, 4 og 6 timer for de tre stasjonene. Vannet ble kjølt under transporten med kjøleelementer, og oksygen ble tilsatt kontinuerlig.





**Figur 1.** Kart over Osterfjordsystemet og Byfjorden med markering av de undersøkte stasjonene.

Det ble tatt gjelleprøver og blodprøver av 5 fisk før transport i Austevoll og ved utsetting ved Gammersvik. Torsken ble satt ut i sirkulære, lukkede merder (diameter 0,7 m; dybde 1,70 m) av samme type som ble benyttet av Bjerknes et al. (1995). Merden ble festet til en blåse i overflaten og forankret i bunnen på hver lokalitet, slik at eksponeringen foregikk i dybdeintervallet mellom ca. 0,5 og 2,5 m. Det ble satt ut 15 fisk på hver stasjon for eksponering fram til 30.mai, da forsøket ble avsluttet med prøvetaking av blod og gjeller.

Ved prøvetaking ble fisken slått i hjel med et slag mot hodet, og en blodprøve ble tatt med heparinisert 1 ml. sprøyte fra kaudalvenen. Analyse av blodglucose ble foretatt med en medisense® presisjon Q.I.-D blodglucose sensor umiddelbart etter prøvetaking. Blodets glukoseinnhold er en stressparameter som relativt nylig er tatt i bruk i forbindelse med våre fiskeforsøk. Det en ofte ser, er at fisk som er stresset mobiliserer energi fra glykogenlagrene, og dette kan registreres som økt glukoseinnhold i blodet (Mazeaud og Mazeaud 1981). Hos døende fisk har vi ofte i våre forsøk observert et fall i glukoseinnholdet igjen like før fisken dør.

Blod ble sugd opp 5 µl hepariniserede kapillærrør og hematokritt (% røde blodceller av blodets totalvolum) ble målt etter sentrifugering (5000 rpm, 3,5 min) i Compur hematokrittsentrifuge. Resten av blodprøven ble sentrifugert (5000 rpm, 10 min), og plasma overført til 5 ml vakuumbør med heparin og frosset ned for senere analyse av klorid. Plasmaklorid ble analysert med Radiometer CMT 10 kloridtitrator.

Andre høyre gjellebue ble klippet av umiddelbart etter blodprøvetaking, overført til forhåndsveiete, syrevaskete telleglass, og frosset ned for senere analyse av aluminiumsinnhold ved Laboratorium for Analytisk kjemi (LAK) ved NLH. I laboratoriet ble gjellene frysetørket, veid og deretter oppsluttet i 10% HNO<sub>3</sub>. Aluminiumsinnholdet ble målt med ICP, og angitt som mengde aluminium (µg) pr gram gjelle i tørrvekt.

Laksesmolt oppdrettet ved Voss klekkeri ble eksponert samtidig (15.-30. mai) i separate merder av samme type og på de samme stasjonene (Kroglund m. fl. 2004), og håndtert etter samme prøvetakingsprosedyre som torsk.

Det ble tatt vannprøver fra 1,5 m dyp på hver av stasjonene 22. og 30. mai. Salinitet og temperatur ble målt på samme tidspunkt i 0-6 m dyp med STD-sonde.

**Tabell 1.** Prøvemateriale av torsk.

Stasjon	Dato	Antall fisk	Middellengde ± STD (cm)	Middelvekt ± STD (cm)
Austevoll	22. mai	10	33,0 ± 2,2	202,6 ± 49,7
Gammersvik	22. mai	6	26,9 ± 3,3	193,5 ± 193,5
	30. mai	5		
Vaksdal	30. mai	10	28,7 ± 2,6	214,0 ± 70,1
Eikeviken	30. mai	10	27,6 ± 2,1	165,1 ± 44,1
Totalt		41		

### 3. Resultater

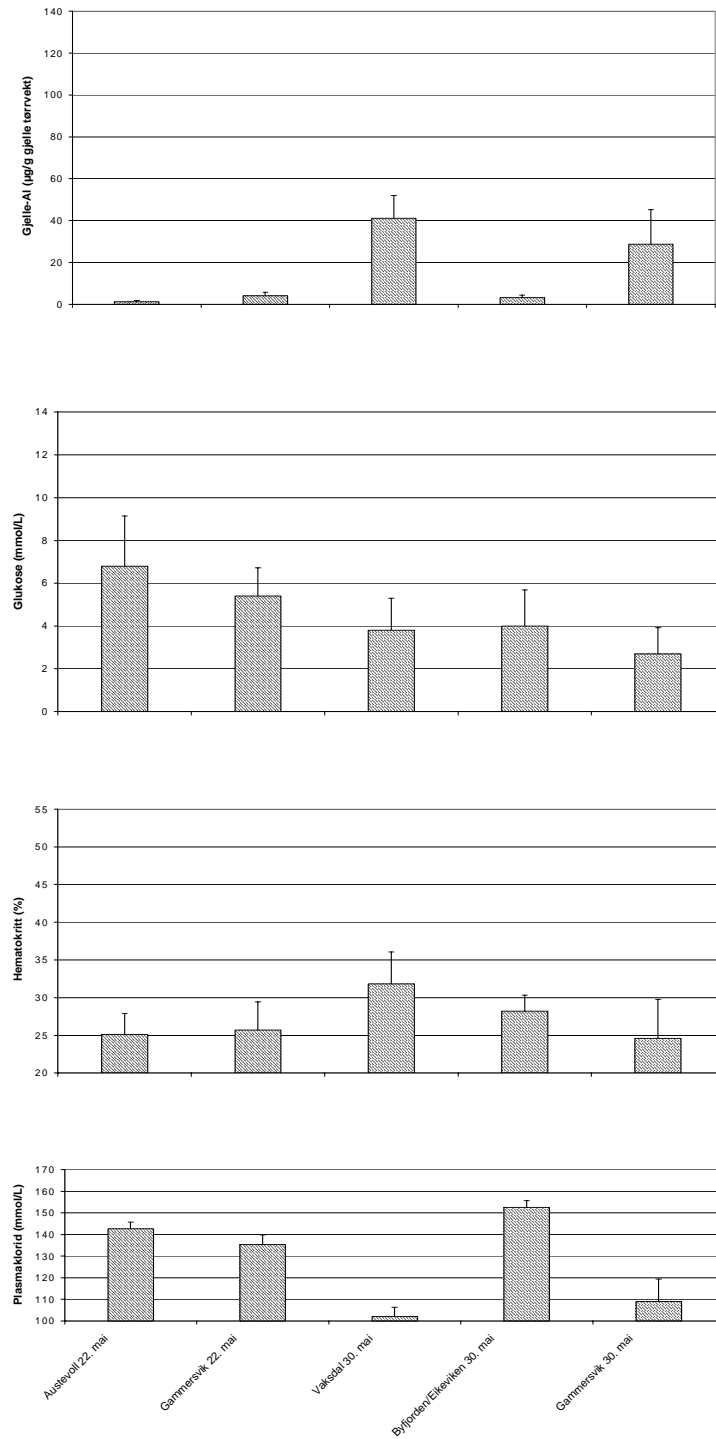
De vannkjemiske målingene viste høyest salinitet og pH på referansestasjonen Eikeviken. Aluminiumskonsentrasjonen var signifikant høyere i Gammersvik og Vaksdal enn på referansestasjonen ( $p < 0,05$ , en-veis ANOVA) (**Tabell 2**).

**Tabell 2.** Vannkjemiske data fra de tre stasjonene hvor torsken ble eksponert i Osterfjordsystemet. pH og total-Al er fra overflateprøver, mens salinitetsverdiene er fra 0,5 m dyp som antas å være det mest representative for hvor fisken stod.

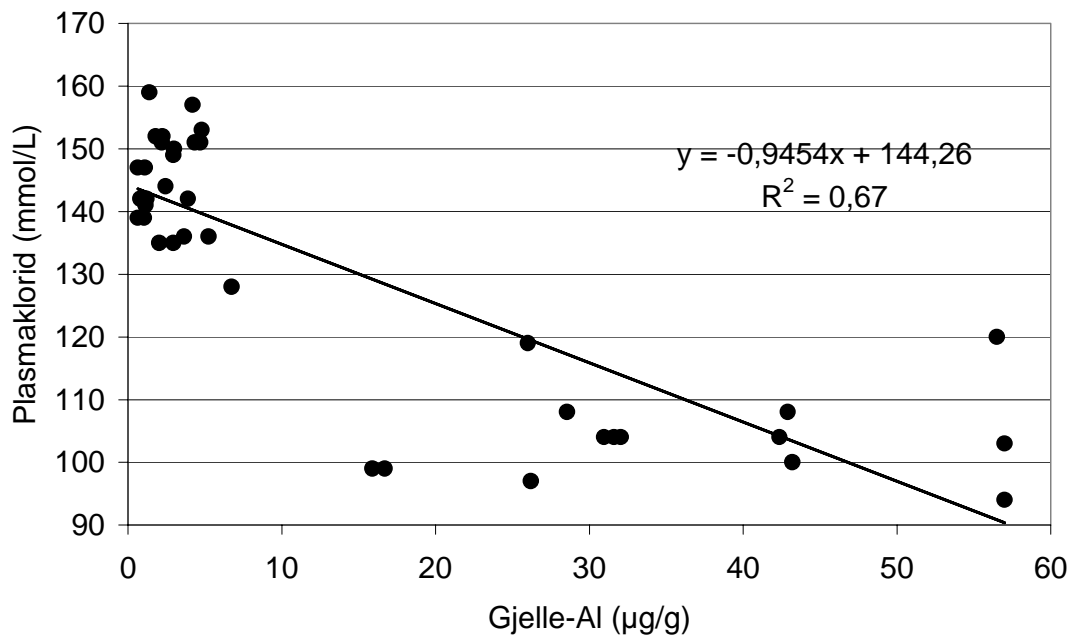
Stasjon	Dato	Salinitet (‰)	pH	total-Al ( $\mu\text{g/L}$ )
Gammersvik	22. mai	4,0	7,09	69
	30. mai	4,6	7,11	63
Vaksdal	22. mai	5,4	6,98	62
	30. mai	4,5	7,10	63
Eikeviken	22. mai		7,58	55
	30. mai	15,8	7,69	57

Konsentrasjonene av gjellealuminium var lavere for torsk enn for laks (Kroglund m. fl. 2004), men forskjellen i deposisjon på brakkvannstasjonene og referansestasjonen var sammenfallende for begge arter. Anatomiske artsforskjeller bidrar trolig til forskjellen i målt aluminiumdeposisjon hos torsk og laks. Bl.a. er det antatt at forholdet mellom brusk og bløtvev i gjellebuer av torsk er høyere enn for laks. Det var en tydelig akkumulering av aluminium på torsk eksponert ved Vaksdal og i Gammersvik

**Figur 2).** På disse to stasjonene var det ingen responser i hematokritt eller blod-glukose, men en klar, signifikant kloridreduksjon ved avslutningen av forsøket. Det er en klar negativ korrelasjon mellom gjellealuminium og plasmaklorid (**Figur 3**). Saliniteten var lavere på Gammersvik og i Vaksdal sammenliknet med referansestasjonen.



**Figur 2.** Gjellealuminium, blod-glukose, hematokritt og plasmaklorid-verdier for torsk eksponert på de ulike stasjonene i Osterfjordsystemet i perioden 22.-30. mai 2002.



**Figur 3.** Sammenhengen mellom gjellealuminium og plasmaklorid hos torsk. Data fra Austevoll, Osterfjordssystemet og Byfjorden i mai 2002 presentert ved lineær regresjonsanalyse.

## 4. Diskusjon

De mest iøynefallende resultatene i dette forsøket er den markerte deposisjonen av aluminium på gjellene og fallet i plasmaklorid hos torsk på de to brakkvannstasjonene. Fallet i plasmaklorid tolkes som forstyrrelse av fiskens ioneregulering og syre-base-balanse. Tilsvarende fall ble ikke påvist på laksesmolten på de samme stasjonene. Aluminiumsdeposisjonen var mindre hos torsk enn hos laksesmolt eksponert på de samme stasjonene i den samme perioden, noe som bl.a. tilskrives anatomiske artsforskjeller.

Fall i plasmaklorid er forventet hos torsk etter overføring fra vann med høy til vann med lav saltholdighet. Provencher m. fl. (1993) påviste en forbigående reduksjon i plasmaklorid fra ca. 160 til 120 mmol/L i løpet av 48 timer hos torsk som ble overført fra 28 til 5 promille. Etter dette steg kloridinnholdet for å stabilisere seg omkr. 140 mmol/L etter 120 timer. I våre forsøksgrupper ved Vaksdal og Gammersvik falt kloridnivået til omkring henholdsvis 100 og 110 mmol/L etter 8 dager (192 timer). Dette kan skyldes at aluminiumsdeposisjonen har medført forstyrrelse i syre-base-reguleringen hos torsk.

Det ble ikke påvist tilsvarende fall i plasmaklorid hos laksesmolt på de samme lokalitetene i samme periode (Bjerknes upubliserte data), og det var heller ingen dødelighet på laks. Verken laks eller torsk viste atferdsmessige eller andre ytre tegn på redusert fysiologisk status.

I forsøk utført av Fiskeriforskning i Tromsø er det påvist at torsk unnviker vann fra tanker der det står laks (Bjørn m.fl. 2003). Det ble ikke gjort blodanalyser ved dette forsøket. I vårt forsøk sto merder med laks og torsk side om side, slik at tilsvarende reaksjoner kan ha funnet sted. Dette skulle i så fall slå noenlunde likt ut på alle de tre stasjonene, og forklarer derfor ikke det påfallende store fallet i plasmaklorid ved Vaksdal og Gammersvik.

Totalaluminium i overflatevannet på referansestasjonen var 55 og 57 µg/L henholdsvis 22 og 30. mai, og akkumulert aluminium på gjellene var 5 µg/g tørrvekt. Aluminiumskonsentrasjonene i overflatevannet på Gammersvik og Vaksdal varierte mellom 62 og 69 µg/L, og akkumulert aluminium på gjellene var henholdsvis 29 og 41 µg/g tørrvekt i snitt på de to stasjonene. I kontrollerte eksponeringsforsøk med torsk i vann med salinitet 10 promille og totalaluminium på 60 µg/L (Kristensen m. fl. 2000) viste fisken klar fysiologisk respons (reduisert oksygenforbruk) og deposisjon av aluminium på gjellene etter 20 timer. Imidlertid ble det ikke påvist reduksjon i plasmaklorid i dette forsøket.

Sterkt nedsatt plasmaklorid, som er den mest påfallende responsen i dette forsøket, anses som en følge av kombinasjonen av lav salinitet (4-6 promille) og deposisjon av Al på gjellene.

Resultatene har betydning for lokalisering av oppdrettsanlegg for torsk. Oppdrett i brakkvann stiller krav til kvaliteten på ferskvannet som tilføres. Store endringer i vannkjemi ved blanding av ferskvann og sjøvann oppstår som følge av økt pH og ionestyrke. Dersom ferskvannskilden er påvirket av forsurening, gruvevirksomhet eller industri, eller har høyt humusinnhold, vil metaller transportert med ferskvannet endre tilstandsform og potensielt utgjøre et problem for fiskens helse.

Vi kjenner ikke til om torsk viser naturlige unnvikelsesreaksjoner overfor giftige estuarine blandsoner. Blandsoner kan uansett tenkes å redusere leveområdene for kysttorsk i ferskvannspåvirkete fjorder med tilførsel av forsuret, aluminiumsholdig vann.

## 5. Referanser

- Bjerknes, V., Golmen, L.G. og Åtland, Å. 1995. Undersøkelser av vannkvalitet og overleving av laksesmolt i Bolstadfjorden. NIVA-rapport nr. 3282. 47 s.
- Bjerknes, V., Fyllingen, I., Holtet, L., Teien, H.C., Rosseland, B.O. and Kroglund, F. 2003. Aluminium in acidic river water causes mortality of farmed Atlantic Salmon (*Salmo salar* L.) in Norwegian fjords. *Marine Chemistry* 83. 169-174.
- Bjerknes, V. og Røyset, O. 2004. Måling av metaller i overflatevann i fjordene rundt Osterøy våren 2004. NIVA-rapport nr. 4914. 24 s.
- Bjørn, P. A., Sæther, B-S. og Dale, T. 2003. Lakselukt og torskeflukt? *Norsk Fiskeoppdrett*. 16. 2003. s. 34-36.
- Dutil, J.D., Besner, M., and Munro, J. 1990. Response of plasma sodium, chloride and osmotic concentrations in Atlantic cod (*Gadus morhua*) following direct transfer to diluted seawater. In *Proceedings of Canada-Norway finfish aquaculture workshop, September 11-14, 1989. Edited by R. L. Saunders*. Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. No. 1761 pp. 169-174
- Dutil, J.D., Munro, J., Audet, C., and Besner, M. 1992. Seasonal variation in the physiological response of Atlantic cod (*Gadus morhua*) to low salinity. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* **49**: 1149-1156.
- Khan, R.A. 1977. Blood changes in Atlantic cod (*Gadus morhua*) infected with *Trypanosoma murmanensis*. *J. Fish. R. Board Can.* **34**: 2193-2196.
- Kristensen, T. 2001. Respiratory and physiological effects of inequilibrium aluminium chemistry on Atlantic cod, *Gadus morhua*, in an estuarine mixing zone. Cand. scient. Thesis, Norwegian university of Science and Technology (NTNU), 66 pp.
- Krisetensen, T., Andersen, R., Staurnes, M., Nordtug, T., Skjærvø, G., Teien H.C. og Rosseland, B.O. 2000. En undersøkelse av respirasjonsforstyrrelser og fysiologiske effekter av aluminium på fisk i en marin blandsonne. Allforsk. Prosjekt nr. 113984/122. 15 s.
- Kroglund, F. og Finstad, B. 2001 a. Effekter av ulike vannkvaliteter på fysiologisk respons, vekst, vandring og marin overlevelse hos to stammer av atlantisk laks. NIVA rapport nr. 4381-2001.
- Kroglund, F. og Finstad, B. 2001 b. Selv lave aluminiumskonsentrasjoner påvirker fysiologisk status, vekst, vandring og marin overlevelse hos to stammer av Atlantisk laks. *Vann* 4b-2001: 427-432.
- Kroglund, F., Åtland, Å., Bjerknes, V. og Barlaup, B.T. 2004. Aluminium som trusselfaktor i brakkvann. S. 109-129. I: Barlaup, B.T. (red.). *Vossolaksen – bestandsutvikling, trusselfaktorer og tiltak*. DN-utredning 2004-7.
- Mazeaud, N. M. and Mazeaud, F. 1981. Adrenergic responses to stress in fish. Pp. 49-75. In: A.D. Pickering (ed.). *Stress and Fish*. Academic Press 1981.
- Nelson, J.A., Tang, Y., and Boutilier, R.G. 1996. The effects of salinity change on the exercise performance of two Atlantic cod (*Gadus morhua*) populations inhabiting different environments. *J. Exp. Biol.* **199**: 1295-1309.

Odense, P., Bordeleau, A., and Guibalt, R. 1966. Tolerance levels of cod (*Gadus morhua*) to low salinity. J. Fish Res. Board. Can. **23**: 1465-1467.

Provencher, L., Munro, J., and Dutil, J.D. 1993. Osmotic performance and survival of Atlantic cod (*Gadus morhua*) at low salinities. Aquaculture, **116**: 219-231.

Rosseland, B.O., Salbu, B., Kroglund, F., Hansen, T., Teien, H.C., Håvardstun, J., Åtland, Å., Østby, G., Kroglund, M., Kvellestad, A., Pettersen, O., Bjerknes, V., Wendelaar Bonga, S., van Ham, E.H., Lucassen, E., Berntssen, M.H.G., Weinhoven, S., and Lohne, S. 1998. Endring i metallers tilstandsform i overgangen fra ferskvann til sjøvann (estuarier) og virkningen på laks og marine organismer (estumix). Norwegian Institute of Water Research. Final report for project no. 108102/122.

Scholtz, U., and Waller, U. 1992. The oxygen requirements of three fish species from the German Bight: cod *Gadus morhua*, plaice *Pleuronectes platessa*, and dab *Limanda limanda*. J. Appl. Ichthyol. **8**: 72-76.



## **Vedlegg A. Rådata**

Middelverdier av parametere målt på laksesmolt (eksponeringstid 15.-30. mai 2002) og torsk (eksponeringstid 22.-30.mai 2002).

Lokalitet	Dato	Art	Prøve- størrelse (N)	Vekt (g) Middel±STD	Lengde (cm) Middel±STD	K-faktor Middel±STD	Glucose (mmol/L) Middel±STD	Hematocrit (%) Middel± STD	Plasmaklorid (mmol/L) Middel± STD	Gjelle-Al (µg/g) Middel± STD
Voss*	130502	Laks	10	25,4 ±5,9	14,2±0,8	0,9±0,1	5,7±2,5	37,3±3,2	133,8±5,1	1,8±1,6
Eikeviken**	150502	Laks	6	28,6±4,2	14,9±0,7	0,9±0,04	11,6±1,3	48,3±4,1	122,4±4,83	10,0±2,28
Eikeviken	220502	Laks	7	28,6±5,7	14,9±0,9	0,9±0,05	4,9±0,6	32,1±3,1	141,7±9,2	3,3±5,3
Eikeviken	300502	Laks	7	23,5±4,2	13,7±0,5	0,9±0,10	4,4±0,5	37,3±2,2	143,1±2,1	13,2±5,6
Vaksdal	220502	Laks	6	25,4±3,3	14,7±0,8	0,8±0,05	4,8±0,6	31,0±3,2	134,8±3,1	49,7±19,1
Vaksdal	300502	Laks	7	24,6±3,8	14,0±0,5	0,9±0,08	5,0±0,5	34,3±3,5	138,3±1,9	87,0±12,9
Gammersvik	220502	Laks	8	27,6±5,3	15,1±0,8	0,8±0,06	5,2±0,7	32,1±3,6	135,1±3,8	201,5±165,7
Gammersvik	300502	Laks	2	24,0±2,8	13,6±0,5	1,0±0,01	3,7±0,3	20,0±8,5	146,5±17,7	35,0±32,5
Austevoll*	220502	Torsk	10	202,6±49,7	33,0±2,2	0,6±0,06	6,8±2,3	25,1±2,8	142,6±3,2	1,2±0,6
Gammersvik***	220502	Torsk	6	-	-	-	5,4±1,3	25,7±3,7	135,3±4,5	4,1±1,7
Eikeviken	300502	Torsk	10	165,1±44,1	27,6±2,1	0,8±0,09	4,0±1,7	28,2±2,1	152,5±3,1	3,2±1,3
Vaksdal	300502	Torsk	10	214,0±70,1	28,7±2,6	0,9±0,06	3,8±1,5	31,8±4,2	102,0±4,3	41,1±10,9
Gammersvik	300502	Torsk	5	193,4±44,4	26,9±3,3	1,0±0,4	2,7±1,2	24,6±5,2	109,0±10,3	28,7±16,5

\*Før transport

\*\*Etter transport (4 timer 45 minutter)

\*\*\* Etter transport (7 timer 45 minutter)

