

Vil endret vannføringsregime i Kvina påvirke saltholdighet og fare for remobilisering av giftig aluminium i Fedafjorden?



Hovedkontor

Gaustadalléen 21
0349 Oslo
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 22 18 52 00
Internett: www.niva.no

NIVA Region Sør

Jon Lilletuns vei 3
4879 Grimstad
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 37 04 45 13

NIVA Region Innlandet

Sandvikaveien 59
2312 Ottestad
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 62 57 66 53

NIVA Region Vest

Thormøhlensgate 53 D
5006 Bergen
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 55 31 22 14

Tittel Vil endret vannføringsregime i Kvina påvirke saltholdighet og fare for remobilisering av giftig aluminium i Fedafjorden?	Løpenr. (for bestilling) 6914-2015	Dato 01.10.2015
	Prosjektnr. Undernr. 15215	Sider Pris 18
Forfatter(e) Haraldstad, Tormod Staalstrøm, André Håvardstun, Jarle	Fagområde Overvåking	Distribusjon Åpen
	Geografisk område Vest-Agder	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) Sira-Kvina Kraftselskap	Oppdragsreferanse Grimsbj/Gjemlestad
---	---

Sammendrag

Sira-Kvina Kraftselskap ønsker å overføre vann fra to felter (51.5 km²) øverst i Kvina til nabovassdraget Sira. Ved å øke og fordele restvannføringen bedre over året samtidig som det gjennomføres biotopforbedrende tiltak, er det antatt at en vil kunne ivareta forholdene for laksen til tross for at det fraføres mer vann fra vassdraget. Endringer i vannføringsregimet i Kvina vil imidlertid kunne påvirke ferskvannsblandingene i Fedafjorden. Det er tidligere påvist at aluminium fra elva kan bli giftig for fisk i blandingssonen mellom ferskvann og brakkvann, nærmere bestemt når saltholdigheten er i intervallet 1-7 PSU. Kontinuerlig overvåking av temperatur og salinitet i perioden 15. april - 17. september, samt målinger av vertikale saltholdighetsprofiler 4 ganger fordelt over samme periode, viste at en variasjon i vannføring i Kvina på 20-60 m³/s gir en variasjon i utbredelse av brakkvannslaget (< 7 PSU) fra 1,5-6,5 km, hvis vinden blåser inn fjorden. Basert på dette vil en anta at en vannføring opp mot 60 m³/s vil være mer kritisk for utvandrere smolt enn en vannføring ned mot 20 m³/s. Økes vannføringen fra 5 m³/s til 20 m³/s, økes størrelsen på brakkvannssonen betraktelig, fra bare noen hundre meter utenfor elvemunningen, til 1,5 km fra elvemunningen. Resultatene viser at en noe redusert vannføring i Kvina, gitt at aluminiums-konsentrasjonen i elva er den samme, vil gi en redusert utbredelse av det potensielt giftige brakkvannslaget i Fedafjorden. Ved dimensjonering av lokkeflommer for smolt bør en forsøke å unngå vannføringsnivåer som fører til stor utbredelse av det potensielt giftige brakkvannslaget.

Fire norske emneord	Fire engelske emneord
1. Fjord	1. Fjord
2. Saltholdighet	2. Salinity
3. Aluminium	3. Aluminium
4. Laks	4. Atlantic Salmon



Tormod Haraldstad
Prosjektleder



Øyvind Kaste
Forskningsleder

**Vil endret vannføringsregime i Kvina påvirke
saltholdighet og fare for remobilisering av giftig
aluminium i Fedafjorden?**

Forord

På oppdrag fra Sira-Kvina kraftselskap AS dokumenterte NIVA saltholdighet i Fedafjorden vår, sommer og høst 2015. Våre kontaktpersoner hos oppdragsgiver har vært Per Øyvind Grimsby og Lars Jakob Gjemlestad. Randulf Øysæd har bidratt med historiske vannføringsdata samt inngående kunnskap om lokale forhold. Robin Scotland har gitt oss tilgang til data på saltholdighet målt ved Marin Harvest sitt anlegg på Andabeløy. Alle takkes for godt samarbeid.

Grimstad, 08.10.2015

Tormod Haraldstad

Innhold

	1
Sammendrag	5
1. Innledning	7
2. Metode	8
3. Resultater	9
3.1 Variasjon i saltholdighet	9
3.2 Størrelsen på 7 psu sonen	12
3.3 Giftig aluminium og salinitet	14
3.4 Effekter på overlevelse til Al-eksponert laksesmolt	15
3.5 Potensielle vannføringssenarioer under smoltutvandringen og hvordan dette påvirker saltholdigheten i Fedafjorden	16
4. Diskusjon	17
5. Referanser	18

Sammendrag

Sira-Kvina Kraftselskap ønsker å overføre vann fra nedbørfeltene Knabeåna og Sollisåna øverst i Kvina-vassdraget til Homstølvatn for å utnytte vannet i de eksisterende kraftverkene Tonstad og Åna-Sira. Endringer i vannføringsregimet i Kvina vil påvirke ferskvannsinnblandingen i Fedafjorden, som forbinder elva med havet utenfor. Det er tidligere påvist at aluminium (Al) fra elva kan bli giftig for fisk i blandingssonen mellom ferskvann og brakkvann, nærmere bestemt når saltholdigheten er i intervallet 1-7 PSU. Som en del av KU-programmet, deltema fisk, vurderte NIVA faren for remobilisering av giftig Al i brakkvannssonen og hvordan dette kan tenkes å påvirke smolt under utvandring samt laks i merd. Denne teoretiske tilnærmingen var ikke tilstrekkelig for å forstå dynamikken i fjorden og hvordan et endret vannføringsregime vil kunne påvirke utvandrende laksesmolt fra Kvina. Derfor startet NIVA feltundersøkelser i Fedafjorden våren 2015.

Fedafjorden er med dagens regulering en fjord med utpreget estuarin sirkulasjon. Det vil si at ferskvannstilførselen fraktes utover i overflatelaget. Denne strømmen ut mot fjordens munning blander seg med underliggende vann med høyere saltholdighet og gjør at saltholdigheten i overflatelaget øker ut mot havet. Ferskvannstilførselene driver samtidig en saltvannsstrøm inn i fjorden under ferskvannslaget. Denne kompensasjonsstrømmen gir den estuarine sirkulasjonen i fjorden. Dette bildet blir mer komplekst ved at fjorden også blir påvirket av andre effekter, spesielt vind.

Variasjonen i saltholdighet i overflatelaget er preget av to forskjellige regimer. Et ferskvannsregime med saltholdighet fra omtrent 0 til 10 psu og et saltvannsregime med verdier fra ca. 15 til 25 psu. Det er ofte en rask overgang mellom disse regimene hvor overflatesaltholdigheten plutselig skifter karakter.

Som forventet var det en negativ korrelasjon mellom vannføringen i Kvina og saltholdigheten i overflatelaget i fjorden under ferskvannsregimet. Det betyr at saltholdigheten minker i overflatelaget når det er høy vannføring. Korrelasjonen er størst når døgnmidlede verdier benyttes og når noen av de raske endringen i løpet av døgnet er borte. Vindstyrken i fjordens lengderetning har like stor betydning for variasjon i saltholdigheten som vannføringen. Når det blåser inn i fjorden stues ferskvannet opp i fjorden og dette gir lavere saltholdighetsverdier. I motsatt tilfelle, når det blåser ut av fjorden, fraktes ferskvannet mye raskere ut mot havet.

Ved vind inn i fjorden vil det være en lavere saltholdighet enn 7 psu fra elvemunningen til stasjon Fe2 (1,5 km fra elvemunningen) ved en vannføring på litt over 20 m³/s. Ved en vannføring på litt over 40 m³/s flyttes denne grensa ut til stasjon Fe3 (3,2 km fra elvemunningen). Økes vannføringen til 60 m³/s flyttes denne grensa ut til ca. 6,5 km fra elvemunningen. Blåser det ut av fjorden blir bildet helt annerledes, og det er ikke usannsynlig at saltholdigheten er større enn 7 psu i mesteparten av fjorden, selv med høy vannføring.

Fedafjorden har i perioder et brakkvannslag som har en saltholdighet der en vil forvente betydelig belastning på utvandrende smolt. Tiden smolten blir utsatt for denne belastningen avhenger av utbredelsen til brakkvannslaget. En variasjon i vannføring i Kvina på 20-60 m³/s gir en variasjon i utbredelse av brakkvannslaget fra 1,5-6,5 km, hvis vinden stuer opp ferskvannet i fjorden. Høyere vannføring gir også et noe dypere brakkvannslag. Basert på dette vil en derfor anta at en vannføring opp mot 60 m³/s vil være mer kritisk for utvandrende smolt enn en vannføring ned mot 20 m³/s. Økes vannføringen fra 5 m³/s til 20 m³/s, økes størrelsen på brakkvannssonen, fra bare noen hundre meter utenfor elvemunningen, til 1,5 km fra elvemunningen. Resultatene viser dermed at en noe redusert vannføring i Kvina, gitt at aluminiums-konsentrasjonen i elva er den samme, vil gi en redusert utbredelse av det potensielt giftige brakkvannslaget i Fedafjorden. Ved dimensjonering av lokkeflommer for smolt bør en forsøke å unngå vannføringsnivåer som fører til stor utbredelse av det potensielt giftige brakkvannslaget.

Summary

Title: Will a changed water flow regime in River Kvina affect salinity and risk of remobilization of toxic aluminum in the Feda fjord?
Year: 2015
Author: Tormod Haraldstad, André Staalstrøm, Jarle Håvardstun
Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN 978-82-577- 6649-8

Sira-Kvina Kraftselskap is planning to transfer water from two sub-catchments (51.5 km²) in the uppermost part of River Kvina, to the neighboring River Sira. By increasing and distributing residual water flow better over the year, while at the same time carry out habitat measures, the intention is to maintain good conditions for Atlantic salmon despite the reduction in annual flow. Changes in the water flow regime in River Kvina can, however, affect the propagation and mixing of freshwater in the Feda fjord. It has been shown previously that aluminum from the river can be toxic to fish in the mixing zone between fresh water and brackish water, in particular when the salinity is in the range of 1-7 PSU. Continuous monitoring of temperature and salinity in the period 15 April - 17 September, as well as measurements of vertical salinity profiles 4 times spread over the same period, showed that a variation in water flow in Kvina of 20-60 m³/s gives a variation in the prevalence of the potentially toxic brackish layer (<7 PSU) from 1.5 to 6.5 km outward the fjord, if the wind blows in an inwards direction. Based on this, one would assume that a river flow up to 60 m³/s will be more critical for migrating smolt than flows down to 20 m³/s. Similarly, an increased river flow from 5 m³/s to 20 m³/s, will increase the prevalence of the brackish zone considerably, from just a few hundred meters outside the river mouth to 1.5 km outwards. The results show that a slightly reduced flow in River Kvina, given constant aluminum concentrations, will reduce the prevalence of the potentially toxic brackish layer in the Feda fjord. Hence, when dimensioning “artificial” floods to facilitate smolt migration, one should avoid flow levels that will significantly expand the prevalence of the potentially toxic brackish layer in the Feda fjord.

1. Innledning

Sira-Kvina Kraftselskap ønsker å overføre vann fra nedbørfeltene Knabeåna og Sollisåna øverst i Kvina-vassdraget til Homstølvatn for å utnytte vannet i de eksisterende kraftverkene Tonstad og Åna-Sira. Det planlegges en "vannpool" i Homstølvatn som kan nyttes for å sikre laksen tilstrekkelig vann i viktige perioder av livssyklusen, for eksempel i forbindelse med smoltutvandring og oppvandring av voksen fisk. Ved å øke og fordele restvannføringen bedre over året, forlenge eksisterende lakseførende strekning, samt gjennomføre biotopforbedrende tiltak på lakseførende strekning er det antatt at produksjonen av smolt kan dobles i forhold til dagens produksjon (Forseth et al. 2012). På denne måten antas det at en vil kunne ivareta forholdene for laksen i Kvina til tross for at det fraføres mer vann fra vassdraget.

Endringer i vannføringsregimet i Kvina vil også påvirke ferskvannsblandingens i Fedafjorden, som forbinder elva med havet utenfor. Det er tidligere påvist at aluminium (Al) fra elva kan bli giftig for fisk i blandingssonen mellom ferskvann og brakkvann, nærmere bestemt når saliniteten er i intervallet 1-7 PSU (Kroglund et al. 2007, 2011ab, Diserud et al. 2012). Ved stor vannføring i Kvina har brakkvann nådd helt ut til de ytre delene av Fedafjorden, hvor det flere ganger i løpet av de siste 20 årene har forårsaket omfattende dødelighet av laks i Marin Harvest sitt oppdrettsanlegg på Andabeløy (Rosseland 2005, Rosseland et al. 2007). Utbredelsen av brakkvannslaget i Fedafjorden har også stor betydning for utvandrende smolt fra Kvina. I tillegg til vannføring spiller også vanntemperaturen en viktig rolle som «trigger» for smoltutvandring og for hastigheten av kjemiske og fysiologiske prosesser i blandsonen.

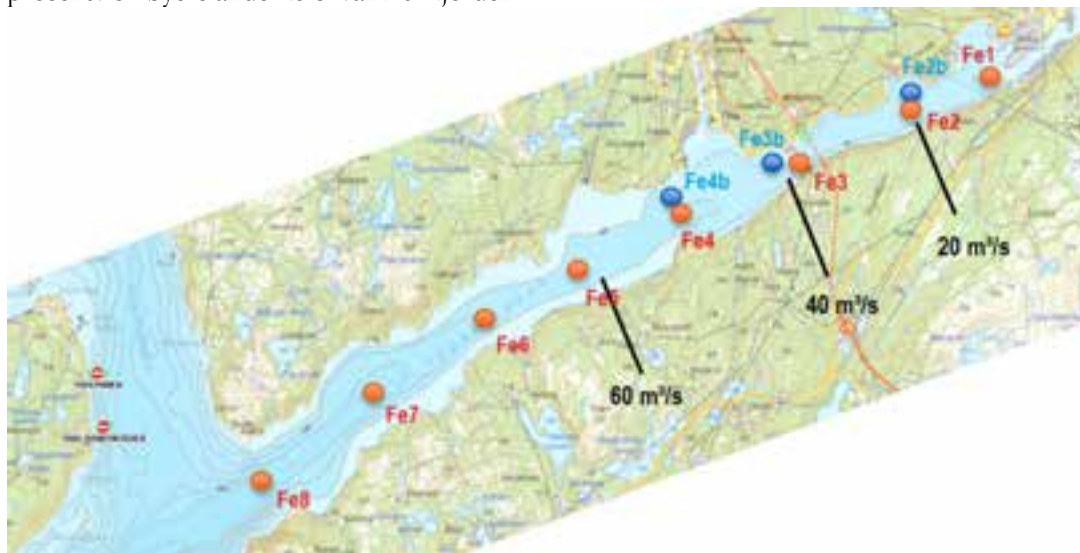
Som en del av KU-programmet, deltema fisk, vurderte NIVA faren for remobilisering av giftig Al i brakkvannssonen og hvordan dette kan tenkes å påvirke smolt under utvandring samt laks i merd. Denne teoretiske tilnærmingen var ikke tilstrekkelig for å forstå dynamikken i fjorden og hvordan et endret vannføringsregime vil kunne påvirke utvandrende laksesmolt fra Kvina. Derfor startet NIVA feltundersøkelser i Fedafjorden våren 2015. Denne rapporten beskriver variasjonen i saltholdighet i Fedafjorden basert på loggerdata og salinitetsprofiler fra april til september 2015.

2. Metode

Det ble satt ut instrumenter som måler konduktivitet og temperatur (Onset® Hobo Conductivity logger U24-002-C) for kontinuerlig logging av saltholdighet. Loggerne ble utplassert ved tre stasjoner i Fedafjorden 15. april og tatt inn 17. september (

Figur 1). Det ble logget salinitet på 1 og 3m dyp, som normalt representerer området smolten vandrer (Davidsen mfl. 2008). Det ble også målt saltholdighetsprofiler 4 ganger ved bruk av en CTD sonde (SAIV SD204). Profilene ble målt på 8 stasjoner utover i fjorden fra 0-60 m dyp.

Vannføringsdata fra Kvina er hentet fra NVEs stasjon Stegemoen (25.30.0). Det er betydelig tilrenning mellom dette målepunktet og fjorden (blant annet Litleåni), men forholdet mellom vannføring i målepunktet og tilrenning nedstrøms er relativt stabilt (Øysæd pers med). Kvina vil derfor ha en noe høyere totalvannføring enn hva som måles på Stegemoen. Dette vil likevel ikke ha noen praktisk betydning da det er variasjonen i vannføring som blir utslagsgivende i de statistiske beregningene. Det er ikke tatt hensyn til ferskvannstilførselen fra Fedaelva i de statistiske beregningene disse vil normalt følge de nedre delene av Kvinas nedbørfelt, men kan i perioder med «kunstig» lav vannføring i Kvina bidra med en prosentvis høyere andel ferskvann til fjorden.



Figur 1. Fedafjorden med stasjoner for kontinuerlig logging av salinitet (blå) og måling av saltprofiler (rød). Størrelsen på sonen hvor saltholdigheten er mindre enn 7 psu i tilfeller hvor det blåser inn fjorden er indikert for forskjellige vannføringer i Kvina (svart). Grunnlag: Norgeskart.no.

For å prøve å forklare variasjonen i saltholdighet i fjorden ble vannføring i Kvina (Stegemoen), vannstand ved Tregde og vind målt ved Lista Fyr innhentet. Vannføringsdata ble levert av Sira-Kvina Kraftselskap. Vannstand ble hentet fra seavniva.no og meteorologiske data fra eklima.no. Tidevannsvariasjonen ble fjernet fra den observerte vannstanden slik at man kunne se på effekten av tidevann og middelvannstand hver for seg (se nest øverst **Figur 3**). Vindstyrken ble dekomponert slik at man fikk en komponent inn og ut av Fedafjorden og en komponent på langs av kysten (se nest nederst **Figur 3**). Målinger av saltholdighet i overflatelaget ved oppdrettsanlegget ytterst i fjorden ble også hentet inn.

Det ble beregnet døgnmiddel for alle variablene for den samme perioden hvor det fantes målinger av saltholdighet utenfor Fedafjorden (fra 16. april til 14. mai 2015). Målingene fra loggerne ble korrelert med de forskjellige forklaringsvariablene. Deretter ble en kombinasjon av de beste forklaringsvariablene benyttet for ved hjelp av minste kvadrats metode å finne en formel for saltholdigheten i overflatelaget i fjorden.

3. Resultater

3.1 Variasjon i saltholdighet

Fedafjorden er med dagens regulering en fjord med utpreget estuarin sirkulasjon. Det vil si at ferskvannstilførselen som tilføres innerst i fjorden fraktes utover i overflatelaget av en strøm som er drevet av horisontale trykkrefter som er forårsaket av vannet fra elvene. Denne strømmen ut mot fjordens munning blander med seg underliggende vann med høyere saltholdighet. Dette kalles medrivning, og gjør at saltholdigheten i overflatelaget øker ut mot havet. Den mengden vann som rives med må kompenseres, og derfor oppstår det en strøm inn i fjorden under ferskvannslaget. Denne strømmen kalles kompensasjonsstrømmen og er ofte definert som den estuarine sirkulasjonen i fjorden. Det vil si sirkulasjon som er drevet av ferskvannstilførselen.

Dette bildet blir mer komplekst ved at fjorden også blir påvirket av andre effekter, slik som vannstand og vind, og dette har også stor effekt på hvordan saltholdigheten varierer i overflaten. Vannstanden kan påvirke på minst to måter. Tidevannsvariasjonen vil pumpe vann ut og inn av fjorden, som gjør at områder med ferskere vann vil flytte seg fram og tilbake. Hvis man ser på saltholdigheten midlet over et døgn så vil denne effekten forsvinne, siden tidevannet har en periode på typisk 12 timer. I tillegg vil middelvannstanden kunne ha en effekt, ved at det rett før tilfeller med ekstra høy eller lav vannstand strømmer vann henholdsvis inn eller ut av fjorden. Det ble imidlertid ikke funnet noen korrelasjon mellom saltholdigheten i fjorden og vannstanden i de innsamlede dataene.

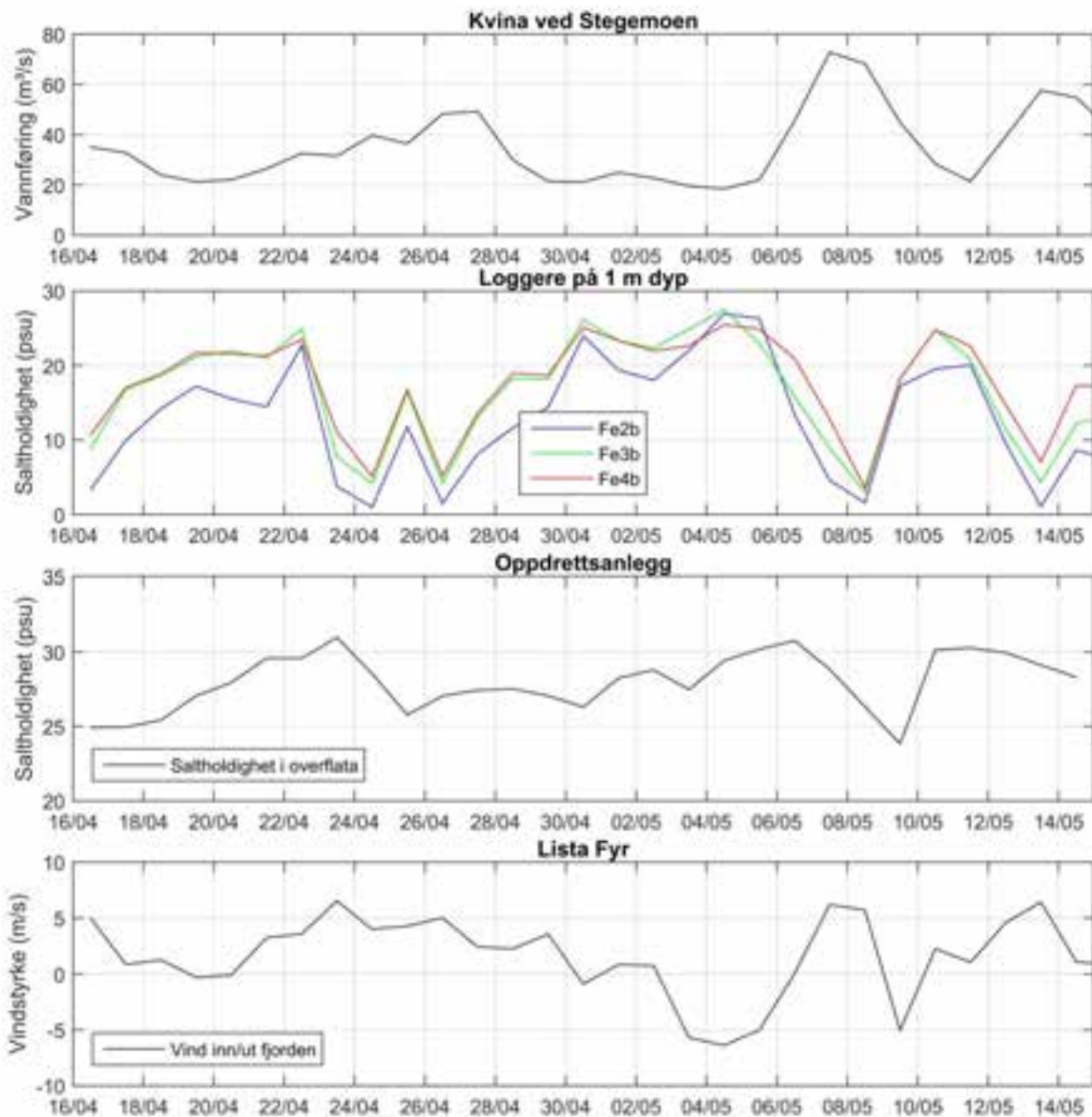
Vinden kan også påvirke på minst to måter. Vind som blåser inn i fjorden kan stue opp vann, som gjør at strømmen av ferskt vann i overflatelaget blir bremsset opp, og saltholdigheten inne i fjorden minker. Når det blåser ut av fjorden så vil man ha den motsatte effekten. I tillegg til dette så vil vinden blande ferskt vann med saltere vann som ligger under, og dette kan påvirke styrken på selve den estuarine sirkulasjonen (medrivningen og kompensasjonsstrømmen).

Saltholdighet logget ved to dyp (1 m og 3 m) ved tre stasjoner i Fedafjorden, Fe2b, Fe3b og Fe4b (se **Figur 1**) hvor data fra 1 m er vist i **Figur 2**. Variasjonen i saltholdighet er preget av to forskjellige regimer. Et ferskvannsregime med saltholdighet fra omtrent 0 til 10 psu og et saltvannsregime med verdier fra ca. 15 til 25 psu. Det er ofte en rask overgang mellom disse regimene hvor overflatesaltholdigheten plutselig skifter karakter.

Som forventet er det en negativ korrelasjon mellom vannføringen i Kvina og saltholdigheten i overflatelaget i fjorden. Det betyr at saltholdigheten minker i overflatelaget når det er høy vannføring. Vindstyrken i fjordens lengderetning har like stor betydning for variasjon i saltholdigheten som vannføringen. Når det blåser inn i fjorden stues ferskvannet opp i fjorden og dette gir lavere verdier. I motsatt tilfelle, når det blåser ut av fjorden, fraktes ferskvannet mye raskere ut mot havet.

Alle dataseriene ble midlet over seks timer slik at de hadde verdier på samme tidspunkter. Deretter ble korrelasjonen mellom saltholdigheten på hver av de seks målepunktene (responsvariablene) beregnet opp mot hver av de til sammen fem forklaringsvariablene. Resultatet er vist i **Tabell 1**.

Som forventet var det en negativ korrelasjon mellom vannføringen i Kvina og saltholdigheten. Det betyr at saltholdigheten minker i overflatelaget når det er høy vannføring. Korrelasjonen er likevel mindre enn hva som på forhånd var forventet (jamfør tilbud datert 07.04.2015).



Figur 2. Nest øverst vises logget saltholdighet i 1 m på tre stasjoner i Fedafjorden. Dette er sammenlignet med vannføring i Kvina (øverst) vind i fjordens lengderetning målt ved Lista Fyr (nederste). Vinden er dekomponert slik at vinden på langs av fjorden vises, hvor positive verdier er vind som blåser inn i fjorden, dvs. at det blåser fra vest-sørvest. I tillegg vises saltholdigheten i overflata ved et oppdrettsanlegg rett utenfor Fedafjorden (nest nederst).

Korrelasjonen mellom vannføring/vind og saltholdigheten i fjorden blir betydelig høyere når døgnmidlede verdier blir benyttet. Da blir noen av de raske endringene i saltholdighet visket bort.

Korrelasjonskoeffisienten mellom saltholdighet og vannføring og mellom saltholdighet og vind i fjorden lengderetning, er like stor, omtrent $-0,7$. Negativ korrelasjon betyr at saltholdigheten blir mindre når vannføringen er høy og når det blåser inn i fjorden (se **Tabell 2**). Kombineres de to forklaringsvariablene blir korrelasjonskoeffisienten høyere, omtrent $0,8$.

Tabell 1. Korrelasjon mellom mulige forklaringsvariabler slik som vannføring, vannstand og vind og logget saltholdighet i seks punkter i Fedafjorden (responsvariabler). De tilfellene hvor det er mest samvariasjon er markert med oransje farge. Alle data er midlet over 6 timer.

		Responsvariabler					
		Fe2b 1m	Fe2b 3m	Fe3b 1m	Fe3b 3m	Fe4b 1m	Fe4b 3m
Forklaringsvariabler	Vannføring i Kvina	-0,54	-0,51	-0,71	-0,36	-0,55	-0,51
	Vannstand Tregde inkl. tidevann	0,16	-0,05	-0,05	0,19	0,06	-0,19
	Middelvannstand Tregde	0,13	-0,06	-0,05	0,20	0,07	-0,22
	Vind inn og ut av fjorden, Lista Fyr	-0,57	-0,45	-0,51	-0,39	-0,51	-0,35
	Vind langs kysten, Lista Fyr	0,40	0,32	0,33	0,52	0,35	0,25

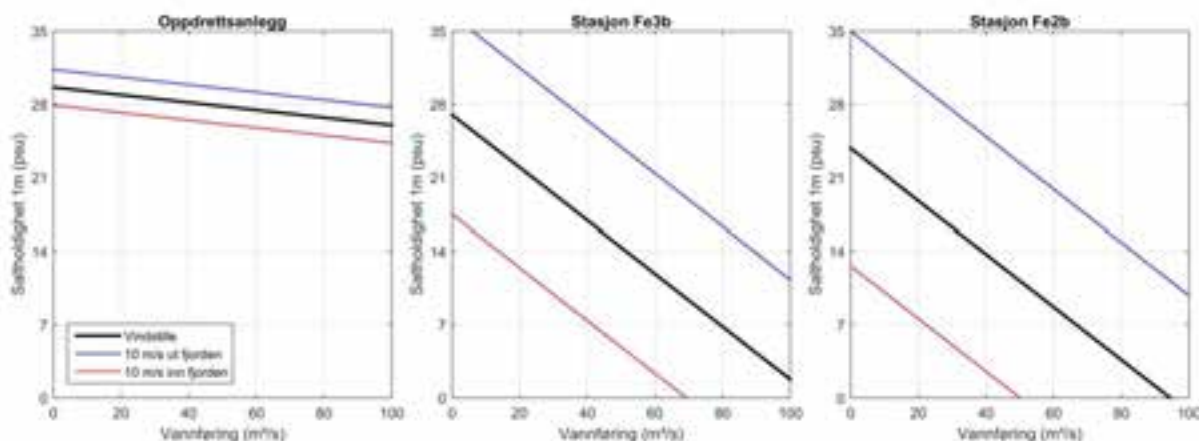
Tabell 2. Korrelasjon mellom vind og vannføring med saltholdigheten i fjorden. Alle dataene er døgnmidlet.

	Vannføring Kvina	Vind inn/ut av fjorden	Kombinasjon vannføring/vind
Fe2b 1m (døgnmiddel)	-0,72	-0,78	0,86
Fe3b 1m (døgnmiddel)	-0,77	-0,71	0,85
Fe4b 1m (døgnmiddel)	-0,72	-0,68	0,80
Anlegg 1m (døgnmiddel, dagen etter)	-0,44	-0,52	0,55

Minste kvadrats metode ble benyttet for å finne formler for saltholdigheten ved stasjon Fe2b, Fe3b og ved oppdrettsanlegget. Stasjon Fe4b blir brukt senere. Først ble metoden brukt med vannføring midlet over det foregående døgnet som forklaringsvariabel. For å få en viss korrelasjon mellom vannføringen og saltholdighet ved oppdrettsanlegget, måtte vannføringen fra dagen før benyttes. Dette skyldes at det tar en viss tid for ferskvannet fra elva og nå helt ut til oppdrettsanlegget. Deretter ble samme metoden benyttet med vind inn/ut av fjorden som forklaringsvariabel. De to resultatene er i prinsippet likeverdige, og middelveiden av dem ble derfor benyttet. Dette resultatet ga en høyere korrelasjon (se **Tabell 2**), en korrelasjonskoeffisient på omtrent 0,8.

3.2 Størrelsen på 7 psu sonen

Resultatet hvis man benytter minste kvadrats metode slik som beskrevet overfor, er vist i **Figur 3** for de tre posisjonene (Fe2b, Fe3b og oppdrettsanlegget). Når det blåser inn i fjorden er saltholdigheten ca. 7 psu ved stasjon Fe2b når vannføringen er 22,3 m³/s, ved stasjon Fe3b når vannføringen er omtrent 41,5 m³/s.



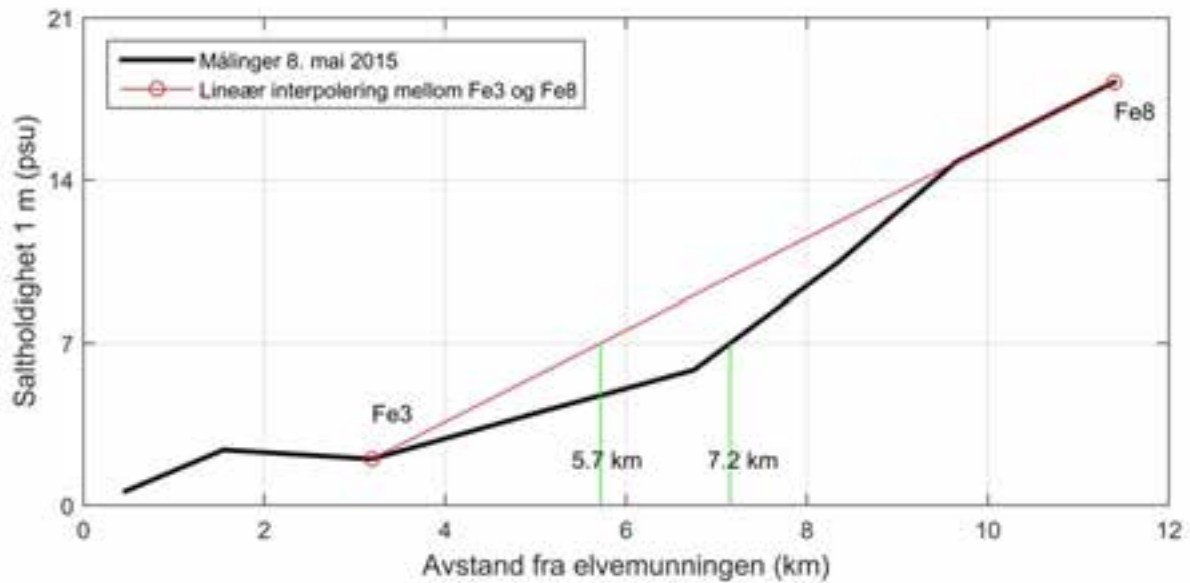
Figur 3. Beregnet saltholdighet i overflata (1 m) som funksjon av vannføring i Kvina, målt ved Stegemoen. Situasjonen når det er vindstille er vist med svarte linjer. Situasjonen når det er kraftig vind inn og ut av fjorden er vist med henholdsvis røde og blå linjer. Stasjon Fe2b befinner seg ca. 1,5 km fra Kvinas elvemunning, og Fe3b befinner seg ca. 3,2 km fra elvemunningen. Oppdrettsanlegget befinner seg omtrent 10 km lenger ut enn stasjon Fe3b.

Metodikken beskrevet over har betydelige usikkerheter knyttet til seg, men kan gi en indikasjon på hvor stor del av fjorden som vil ha en saltholdighet lavere enn 7 psu. Ved å benytte lineær interpolasjon mellom oppdrettsanlegget og stasjon Fe3b, kan det anslås hvor stor 7 psu sonen blir også når denne strekker seg utenfor den ytterste loggeren (stasjon Fe4b). Oppdrettsanlegget befinner seg omtrent 10 km lenger ut enn stasjon Fe3b. Ved en vannføring på 60 m³/s og i en situasjon hvor det er kraftig vind inn fjorden, kan saltholdigheten være mindre enn 7 psu helt ut til omtrentlig en posisjon utenfor stasjon Fe4, det vil si omtrent 5,2 km utenfor Kvinas elvemunning. Dette er et grovt estimat basert på resultatene vist i **Figur 3**.

Ved fire anledninger ble saltholdigheten målt på åtte stasjoner utover i fjorden. Dette er vist i **Figur 5**. Fra disse dataene ser man nøyaktig hvor langt fra elvemunningen 7 psu linjen befinner seg. Ved en anledning var vannføringen i det foregående døgnet i snitt 68 m³/s, og det blåste inn i fjorden slik som det er antatt i analysen over. Hvis man plotter saltholdigheten i 1 m dyp som funksjon av avstand fra elvemunningen, er det tydelig at en lineær interpolasjon av saltholdigheten mellom stasjon Fe3 og stasjon Fe8 underestimerer størrelsen på 7 psu sonen (se **Figur 4**). Av figuren kan man se at størrelsen på 7 psu sonen blir omtrent 25 % mindre om man benytter lineær interpolasjon. Hvis man tar dette i betraktning, så vil 7 psu linjen sannsynligvis befinne seg omtrent 6,5 km fra elvemunningen, når vannføringen er 60 m³/s i Kvina (målt ved Stegemoen). Målinger 10. august 2015 når vannføringen i snitt var 7 m³/s i det foregående døgnet, tyder på at 7 psu har svært liten utbredelse i slike situasjoner (**Figur 5**). I dette tilfellet blåste det også ut fjorden, noe som gjør at ferskvannet blir fraktet bort og ikke stues opp. Størrelsen på 7 psu sonen blir i dette tilfellet sannsynligvis noen hundre meter. Størrelsen på 7 psu sonen som funksjon av vannføring er oppsummert i **Tabell 1**. Tykkelsen på brakkvannslaget er aldri noe større enn maksimalt 2 m. Vanligvis strekker 7 psu sonen seg kun ned til omtrent 1,5 m dyp (se **Figur 5**).

Ved høyere vannføringer er det vanskelig å ekstrapolere dataene fra loggerne, siden saltholdigheten da vil være lav på alle loggerne. Resultater fra minste kvadrats metode slik som beskrevet over, benyttet på data fra loggeren på stasjon Fe4b sammen med vannføring, tyder på at saltholdigheten her vil være nær null, når vannføringen nærmer seg 90 m³/s. Interpoleres det mellom denne stasjonen og oppdrettsanlegget, og tas hensyn til at lineær interpolasjon underestimerer 7 psu sonen, kan man komme fram til et grovt estimat

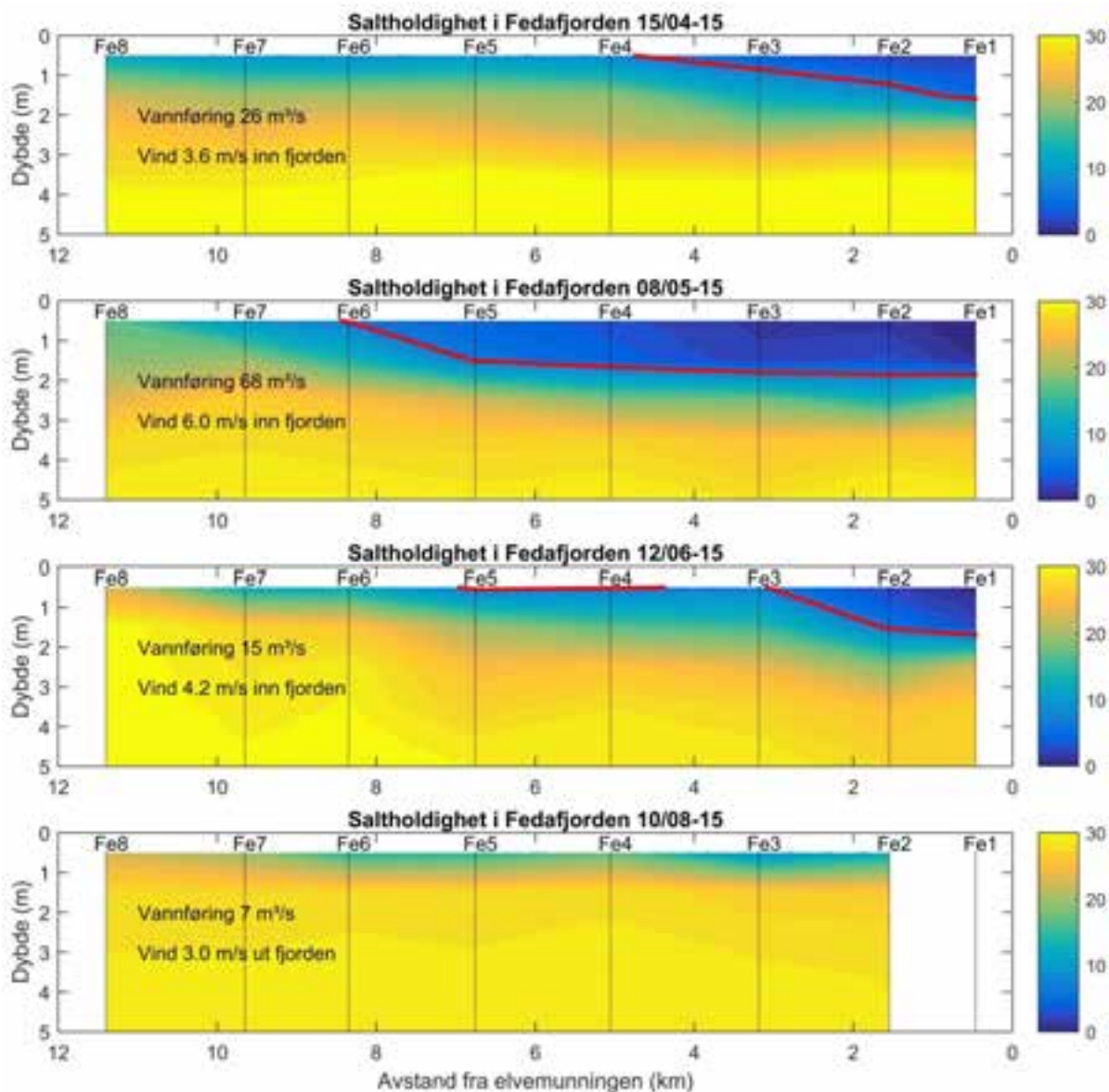
på størrelsen av denne sonen. Resultatet er at 7 psu sonen kan strekke seg ut til omtrent 8-9 km fra elvemunningen ved en vannføring på 90 m³/s i Kvina og det blåser inn fjorden.



Figur 4. Saltholdighet på 1 m dyp som funksjon av avstand fra elvemunningen. Målingene er tatt 8. mai 2015. Den røde linjen viser resultatet hvis man interpolerer mellom stasjonene Fe3 og Fe8.

Tabell 3. Størrelsen til 7 psu sonen som funksjon av vannføring i Kvina. Tabellen gjelder for en situasjon hvor det blåser inn i fjorden.

Vannføring i Kvina målt ved Stegemoen	Størrelsen på 7 psu sonen, målt som avstand fra elvemunningen	Kommentar
5 m ³ /s	Noen hundre meter	Basert på målinger når vannføringen var 7 m ³ /s.
20 m ³ /s	1,5 km	Estimat basert på vannføring på 22,3 m ³ /s.
40 m ³ /s	3,2 km	Estimat basert på vannføring på 41,5 m ³ /s.
60 m ³ /s	6,5 km	Estimat
68,0 m ³ /s	7,2 km	Basert på nøyaktige målinger
90 m ³ /s	8 – 9 km	Grovt estimat



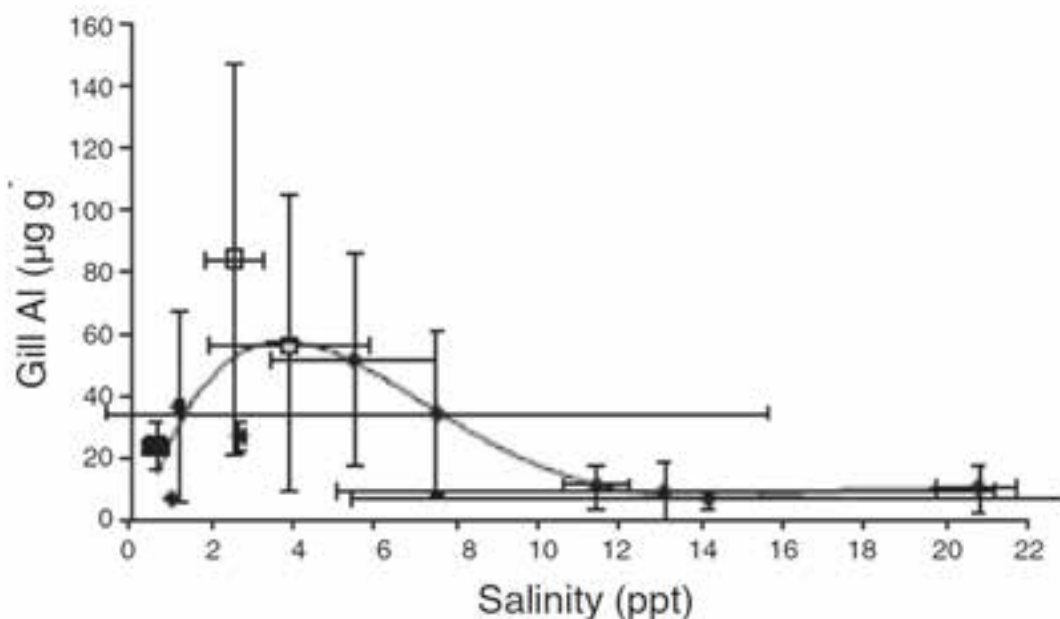
Figur 5. Saltholdigheten målt med CTD på åtte stasjoner i Fedafjorden ned til 5 m dyp ved fire anledninger. Saltholdigheten målt i psu (Practical Salinity Unit) er angitt med en fargeskala. Verdien 7 psu er angitt med en rød konturlinje. Døgnmidlet vannføring i Kvina i det foregående døgnet og vind i fjordens lengderetning er angitt i hver figur.

3.3 Giftig aluminium og salinitet

I forsurede vassdrag som Kvina mobiliseres det aluminium (Al) fra nedbørfeltet som en del av forsuringprosessen. Al i vann kan foreligge på ulike tilstandsformer, som blant annet er regulert av pH og vannets innhold av humus og partikler. I surt vann ($\text{pH} < 5.5$) vil en forholdsvis stor andel foreligge som lavmolekylære monomere former for Al. Disse er svært giftig for fisk, ved at de reagerer med fiskens gjeller og forårsaker respirasjonssvikt dersom aluminiumet akkumuleres i store konsentrasjoner. Ved høyere pH eller i vann med mye humus eller partikler vil aluminiumet i større grad foreligge som polymerer (høymolekylære former) som ofte er bundet til organiske eller uorganiske flater. Disse mangler ladning og er lite reaktive i forhold til fiskegjeller. Kvina har i lang tid vært kalket for å avgifte Al.

Kalkingen sørger for en pH-økning som igjen transformerer lavmolekulære monomere former av Al til ikke gjellereaktive polymerer.

Det er observert at Al som er bundet til organiske eller uorganiske overflater, eller Al-polymerer dannet ved kalking, kan mobiliseres til gjellereaktive former ved innblanding av sjøvann (Teien et al. 2006). pH økning ved innblanding av sjøvann medfører hydrolyse og polymerisering av lavmolekylært Al som er transportert ut med elva eller mobilisert i brakkvann. Svært gjellereaktive Al-polymerer med en gitt levetid vil derfor kunne dannes og medføre høy akkumulering av Al på gjeller til fisk i blandsonen. Med økt saltvannsinnblanding vil det dannes høymolekulære Al-former som har lavere gjellereaktivitet. Undersøkelser av mobilisering av bioreaktivt Al har vist at akkumuleringen av Al på fiskegjeller er høyest når saliniteten er i området 1-7 psu (**Figur 6**).



Figur 6. Sammenheng mellom saltinnhold (Salinity ppt) og gjelle-Al (Gill Al µg/g) målt i brakkvann utenfor Storelva, Aust-Agder i årene 2003, 2005-2010 (Kroglund et al. 2011a, Powell et al 2015)

3.4 Effekter på overlevelse til Al-eksponert laksesmolt

Den første dokumentasjonen på at Al i brakkvann kan drepe fisk stammer fra 1993 ved Marine Harvest sitt oppdrettsanlegg ytterst i Fedafjorden (Rosseland 2005). Dette forklarte også tilsvarende oppdagelser av plutselig fiskedød i oppdrettsanlegg i Osterfjorden i Hordaland på 1980-tallet (Bjerknes et al. 2003). Voksen laks dør når Al akkumulering på fiskens gjeller overstiger kritiske nivåer, hvor dødeligheten skyldes svikt i respirasjon (Bjerknes et al., 2003). Tilsvarende effekter i brakkvann er også påvist på laksesmolt i oppdrett når saltvann tilsettes produksjonsvannet (Rosseland et al., 2007). Laksen har ulike toleransegrenser for dårlig vannkjemi i ulike deler av livssyklusen, der smoltstadiet er det mest utsatte.

Som smolt vandrer laksen fra ferskvann og ut i fjorden mot oppvekstområdene i havet. Fisken er på vandring og skiller seg derfor betydelig fra oppdrettslaks som er stasjonære i en mærd. I tillegg har det vist seg at området som assosieres med akkumulert Al er dynamisk og kan forandre seg mye gjennom et døgn. Variasjon i individuelt vandringmønster og den dynamiske utbredelsen av kritisk vannkjemi gjør det komplisert å dokumentere effekter på sjøoverlevelse hos utvandrende smolt.

Resultater fra telemetriundersøkelser i Sandnesfjorden utenfor Storelva (Aust-Agder) indikerer likevel at smolt eksponert for akkumulert Al i brakkvann hadde redusert overlevelse og brukte lang tid på å forlate de nære fjordområdene (Kroglund mfl, 2011ab). Denne responsen var mest fremtredende når saltnivået i fjordbassenget utenfor elvemunningen var mellom 1 og 7 psu. Observasjonene fra akustisk merka smolt tydet på at Al i brakkvann kunne halvere antall smolt som nådde kyststrømmen. Under mer gunstige forhold (<1 og > 10 psu) ville reduksjonen ha vært mindre dramatisk.

Gjennom et flerårig prosjekt i Storelva er det PTT-merket omlag 10 000 utvandrende smolt og opparbeidet antenner for registrering av tilbakevandrende gytelaks. Kombinert med en omfattende overvåking av salinitet under smoltutvandringen har det vært mulig å dokumentere effekter på sjøoverlevelsen til ulike smoltgrupper. Det observeres en betydelig lavere sjøoverlevelse for smolt som vandrer gjennom et fjordområde med saliniteter mellom 1 og 7 psu sammenliknet med smolt som enten transporteres utenom fjorden eller vandrer gjennom fjorden under gode forhold. Den store variasjonen i salinitet som observeres i fjorden og variasjonen i smoltens vandringshastighet gjør det likevel komplisert å ha fullstendig kontroll på hvilke saliniteter smolten møter under utvandring. Graden av belastning vil samtidig variere mellom år pga variasjoner i smoltutvandringstidspunkt og utbredelsen til det kritiske salinitetsnivået (Kroglund et al. 2011ab; 2012, 2013).

3.5 Potensielle vannføringsscenarioer under smoltutvandringen og hvordan dette påvirker saltholdigheten i Fedafjorden

Det legges opp til et vannslippsregime i Kvina etter konseptet «miljødesign» (Forseth mfl. 2013). Det går i korte trekk ut på å bedre forholdene for laks i regulerte vassdrag samtidig som man tar hensyn til kraftproduksjon. For Kvinas del legges det opp til en minstevannføring på 5 m³/s hele året, med ulike vannslipp tilpasset smoltutvandringen og oppgangssesongen for laks. Vi tar utgangspunkt i smoltutvandringen om våren og fire sannsynlige scenarioer som vil inntreffe.

Ved lite snø i fjellet vil snøsmeltingen gi liten vannføringsøkning under smoltutvandringsperioden. Lav vannføring under smoltutvandringen kan også inntreffe om snøsmeltingen ikke sammenfaller direkte med utvandringsperioden for smolt. Vannføringen vil likevel ikke komme under 5 m³/s på grunn av minstevannføringen. Det legges opp til å øke vannføringen noen dager under smoltutvandringen for å minske predasjonsrisikoen og øke vandringshastigheten for utvandrende smolt i elva. Dette gjøres ved en prosentvis økning av vannføringen der økningen skal gi en totalvannføring på minimum 20 m³/s. Vannføringsdata fra de siste år viser stor variasjon i vannføring under smoltutvandringsperioden og vi legger opp til to flomsenarioer med henholdsvis 40 og 60 m³/s.

Utbredelse av 7 psu sonen er vist i **Tabell 3** og er også indikert i **Figur 1**. Økes vannføringen fra 5 m³/s til 20 m³/s, økes størrelsen på brakkvannssonen fra bare noen hundre meter utenfor elvemunningen, til 1,5 km fra elvemunningen. Dette er spesielt kritisk om det blåser inn fjorden. Ved de to flomsenarioene vil brakkvannssonen ha en utstrekking på henholdsvis 3,2 og 6,5 km utover i Fedafjorden.

4. Diskusjon

Basert på datagrunnlaget fra april til september 2015 har Fedafjorden et brakkvannslag som har en saltholdighet der en vil forvente betydelig belastning på utvandrende smolt. Tiden smolten blir utsatt for denne belastningen avhenger av smoltens svømmehastighet og dybde samt utbredelsen av brakkvannslaget.

Undersøkelser av akustisk merket laksesmolt i andre norske fjorder indikerer at smolten bruker noen timer på å forlate de indre fjordområdene (2 - 3 km) etter at den har forlatt elva (Urke et al. 2013). Vandringshastigheten ser ut til å ligge i underkant av 1 km/t, men det observeres stor individuell variasjon (Davidsen mfl. 2009). Det ser ikke ut til at smolten oppholder seg lenge i estuariet, men følger overflatestrømmen ut fjorden. Tar vi utgangspunkt i denne vandringshastigheten og at smolten normalt vandrer på 1-3 m dyp (Davidsen mfl. 2008). Vil den kunne bli eksponert for akkumulert Al i noen timer under utvandring. Det er likevel observert at smolt som vandrer gjennom belastede områder blir forsinket i sin utvandring og på denne måten også blir belastet over en lengre periode (Kroglund mfl, 2011ab).

En variasjon i vannføring i Kvina på 20-60 m³/s gir en variasjon i utbredelse av brakkvannslaget fra 1,5-6,5 km. Dette er spesielt kritisk om det blåser inn fjorden. Høyere vannføring gir også et noe dypere brakkvannslag. En vannføring på 5 m³/s gir en sannsynlig utbredelse av brakkvannssonen (< 7 psu) på bare noen hundre meter fra elvemunningen. Basert på dette vil en derfor anta at en vannføring opp mot 60 m³/s vil være mer kritisk for utvandrende smolt enn en vannføring ned mot 20 m³/s, og økes vannføringen fra 5 m³/s til 20 m³/s går man fra en situasjon hvor det nærmest ikke er noe brakkvannslag, til en utbredelse på opp mot 1,5 km fra elvemunningen. På den annen side så vil strømmen ut fjorden i overflatelaget være noe hurtigere ved høyere vannføring i elva, og dette kan øke smoltens vandringshastighet i fjorden.

Det er et paradoks at en øking i elvevannføringen vil hjelpe smolten i elva under utvandring i form av lavere predasjonsrisiko og raskere vannbevegelse, samtidig som økt vannføring gir økt utstrekking av brakkvannslaget i fjorden. Generelt vil vi anbefale en så lav vannføring som mulig for å begrense brakkvannslaget i fjorden. Vi mener likevel at det er avgjørende at vannføringen er opp mot 20 m³/s i deler av smoltutvandringen slik det er foreslått av Forseth (2015) og at fordelene med høy vannføring i elva delvis veier opp for de negative konsekvensene av et utvidet brakkvannsområde. Ved dimensjonering av lokkeflommer for smolt bør en forsøke å unngå vannføringsnivåer som fører til stor utbredelse av det potensielt giftige brakkvannslaget ved å redusere de høyeste flomtoppene og heller ha et moderat økt vannslipp over lengre tid. En vannføring på 20m³/s gir et betydelig kortere brakkvannsområde enn en vannføring på 60m³/s.

5. Referanser

- 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(3-4): 169-174.
- Davidsen G.J., Plantalech Manel-la N., Økland F., Diserud O. H., Thorstad E. B., Finstad B., Sivertsgård R., McKinley S., Rikardsen A.H. 2008 Changes in swimming depth of Atlantic salmon *Salmo salar* post-smolts relative to light intensity. *Journal of fish Biology* 73, 1065-1074 pp.
- Davidsen J.G., Rikardsen A.H., Halttunen E., Thorstad E.B., Okland F., Letcher B.H. et al. (2009) Migratory behaviour and survival rates of wild northern Atlantic salmon *Salmo salar* post-smolts: effects of environmental factors. *Journal of Fish Biology* 75, 1700–1718.
- Diserud, O.H., Kroglund, F., Teien, H.C. and Tjomsland, T., 2012. Modellering av gjellealuminium
- Forseth, T 2015 Vannbank for smolt og fiske i Kvina. NINA-notat
- Forseth, T., Harby, A. (red.) 2013 Håndbok for miljødesign i regulerte laksevassdrag. – NINA Temahefte 52. 1-90 s.
- Forseth, T., Robertsen, G., Gabrielsen, S.E., Sundt, H., Skår, B. og Ugedal, O. 2012. Tilbake til historisk smoltproduksjon i Kvina. En utredning av mulighetene - NINA Rapport 847. 60 s.
- Kroglund F, Güttrup J, Kleiven E, Stefansson S, Barlaup B, Teien HC. 2007. Aluminium, et miljøproblem for laks i Sandnesfjorden, Aust-Agder? NIVA-rapport 5366, 47s.
- Kroglund F, Haraldstad T, Haugem T, Rosten C, Hawley K, Guttrup J, Johansen Å. 2012. Påvirkes laksesmolt av aluminium i brakkvann? Gjenfangst av oppvandrende laks merket og satt ut som smolt i Storelva i Holt, Aust-Agder i 2009 og 2010. NIVA rapport 6291, 45 s.
- Kroglund F, Haraldstad T, Haugen T, Güttrup J. 2013. Sjøoverlevelse til smolt eksponert for aluminium i brakkvann - oppvandring av laks i Storelva i 2012. NIVA-rapport 6492, 53 s + vedlegg
- Kroglund F, Haraldstad T, Teien HC, Güttrup J, Johansen Å. 2011a. Påvirkes laksesmolt av aluminium i brakkvann? Storelva i Holt, Aust-Agder, 2010. NIVA-rapport 6149, 29 s + vedlegg
- Kroglund F, Haraldstad T, Teien HC, Salbu B, Rosseland BO, Güttrup J. 2011b. Påvirkes laksesmolt av aluminium i brakkvann? Storelva i Holt, Aust-Agder og Audna, Vest-Agder, 2006. NIVA-rapport 6244, 41 s.
- Powell M.D., Reynolds P., Kristensen T. 2015 Freshwater treatment of amoebic gill disease and sea-lice in seawater salmon production: Considerations of water chemistry and fish welfare in Norway. *Aquaculture* 448 18-28 pp
- Rosseland BO, Bjerknes V, Guldborg B, Håvardson B, Kroglund F, Kvellestad A, Litlabø A, Rosten T, Teien HC, Toften H, Tørud B, Åtland Å. 2007. Episoder med dårlig vannkvalitet som har ført til produksjonsslidelser eller tap av fisk. I: Bjerknes V (red.) Vannkvalitet og smoltproduksjon, Juul forlag, s. 9-55.
- Rosseland BO. 2005. Vann og gjelleanalyser av laks i forbindelse med fiskedød i Fedafjorden. NIVA-notat.
- Teien, H.C., Kroglund, F., Salbu, B. and Rosseland, B., 2006. Gill reactivity of aluminium-species following liming. *Science of the Total Environment*, 358: 206-220.
- Urke H.A., Kristensen T, Ulvund J.B., Alfredsen J.A. 2013 Riverine and fjord migration of wild and hatchery-reared Atlantic salmon smolts. *Fisheries Management and Ecology* 20, 544-552 pp.

NIVA: Norges ledende kompetansesenter på vannmiljø

NIVA gir offentlig vannforvaltning, næringsliv og allmennheten grunnlag for god vannforvaltning gjennom oppdragsbasert forsknings-, utrednings- og utviklingsarbeid. NIVA kjennetegnes ved stor faglig bredde og godt kontaktnett til fagmiljøer i inn- og utland. Faglig tyngde, tverrfaglig arbeidsform og en helhetlig tilnæringsmåte er vårt grunnlag for å være en god rådgiver for forvaltning og samfunnsliv.



Norsk institutt for vannforskning

Gaustadalléen 21 • 0349 Oslo
Telefon: 02348 • Faks: 22 18 52 00
www.niva.no • post@niva.no