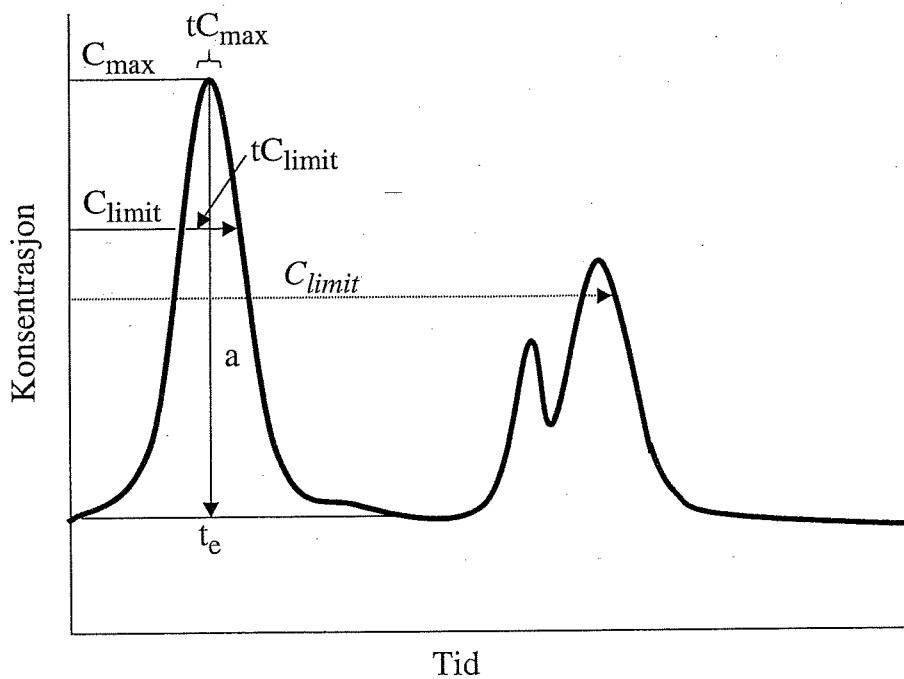


Flomdynammikk i forsurede elver;

vannkjemiske endringer og
biologisk respons i to elver og
en simulert estuarieblandson
under flom



Norsk institutt for vannforskning

RAPPORT

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
5008 Bergen
Telefon (47) 55 30 22 50
Telefax (47) 55 30 22 51

Akvaplan-niva

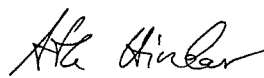
9296 Tromsø
Telefon (47) 77 75 03 00
Telefax (47) 77 75 03 01

Tittel Flomdynamikk i forsurede elver; vannkjemiske endringer og biologisk respons i to elver og en simulert estuarieblandingsone under flom.	Løpenr. (for bestilling) 4455-2001	Dato Januar 2002
	Prosjektnr. Undemr. O-21028	Sider Pris 51
Forfatter(e) <i>Teien, Hans-Christian (NLH)</i> <i>Standring, William (NLH)</i> <i>Salbu, Brit (NLH)</i> Hindar, Atle	Fagområde Sur nedbør	Distribusjon
	Geografisk område Sogn og Fjordane	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) Direktoratet for naturforvaltning	Oppdragsreferanse 01040053
---	-------------------------------

<p>Sammendrag</p> <p>Vannkvalitetsendringer og effekter på fisk under flomepisoder med sjøsaltdeposisjon er dokumentert. Forsøkene ble utført vinteren 2001 i to kystnære vassdrag i Sogn og Fjordane, samt i et estuarie. Til tross for en kald og nedbørfattig vinter på Vestlandet var det en klar sammenheng mellom stor nedbørintensitet med høy konsentrasjon av sjøsalter og økt mobilisering av positivt ladet aluminium (Al) i Espedalsvassdraget. Dette medførte økt avsetning av Al på fiskegjeller og økt fysiologisk stress. Konsentrasjoner av positivt ladet Al i det humøse Lonavassdraget var lav, også under sjøsaltepisoden, avsetning av Al på fiskegjeller var lav, mens avsetningen av Al på nesevev var klart målbar. De utførte eksperimentene med blanding av elvevann fra Lona og sjøvann viser at sjøvannet, med høy ionestyrke og høy pH, bidro til at Al bundet til kolloidalt materiale ble mobilisert. Betydningen av disse effektene er diskutert og anbefalinger om å gjennomføre slike forsøk under mere typiske værforhold på Vestlandet er gitt.</p>
--

<p>Fire norske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Flomepisoder 2. Vannkvalitet 3. Fiskerespons 4. Aluminium 	<p>Fire engelske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Flooding episodes 2. Water chemistry 3. Fish response 4. Aluminium
--	---



Atle Hindar
Prosjektleder



Brit Lisa Skjelkvåle
Forskningsleder
ISBN 82-577-4101-9



Nils Roar Scelthun
Forskningsssjef

Flodynamikk i forsurede elver; vannkjemiske endringer og biologisk respons i to elver og en simulert estuarieblandsoner under flom

Forsknings samarbeid mellom NLH og NIVA



”Upon those who step into the same rivers,
different and ever different rivers flow down”
– Heraklit (ca. 540-480 f.K.)

Forord

Tidligere forsøk utført av NIVA og NLH i vassdrag under flomepisoder i Sogn og Fjordane dannet basis for søknad om flomdynamikkprosjektet. Etter klarsignal fra DN ble prosjektet gjennomført i vassdragene Espedalselva og Lona fra slutten av januar til april 2001. Prosjektet er samfinansiert av DN (kontrakt av 30.08.01) og NLH, hvor deler av arbeidet inngår i dr. grads arbeidet for Hans-Christian Teien og William Standring.

Atle Hindar har vært prosjektleder, mens feltarbeidet har vært gjennomført av Hans-Christian Teien og Marilyn Marskar. I deler av forsøksperioden bidro William Standring (NLH) og Marianne Kroglund (NIVA/NLH) i felt. Brit Salbu har hatt ansvaret for NLHs bidrag og har stilt Hellevik Gård (nær Lona) til disposisjon for prosjektet.

Det rettes en stor takk til lokale personer ved vassdragene, spesielt til Oddleif Yndesdal for hjelp til å gjennomføre feltarbeidet.

De vannkjemiske dataene er hovedsakelig analysert ved NLH, mens NIVA har analysert anioner. NIVA har leid ut Cl-måler og lånt ut utstyr til kontinuerlig logging av pH i felt. Vi takker Rolf Høgberget og Arne Veidel for assistansen.

Grimstad, 4. januar, 2002

Atle Hindar

Innhold

1. MÅL MED PROSJEKTET	8
2. BAKGRUNN.....	8
3. HVA ER EN FLOMEPISEDE?	10
4. MATERIALE OG METODER	11
4.1 Stasjonsvalg og prøvetaking	11
4.1.1 Prøvetaking.....	14
4.1.2 Vannkjemisk dokumentasjon	14
4.1.3 Forsøksfisken.....	15
4.2 Analysemetodikk	16
4.2.1 I felt	16
4.2.2 På laboratoriet.....	18
4.2.3 Databearbeiding.....	18
5. RESULTATER OG DISKUSJON.....	18
5.1 Nedbør og hydrologi.....	18
5.2 Resultater fra Espedalselva	20
5.2.1 Vannkjemi	20
5.2.2 Fiskerespons	23
5.3 Resultater fra Lona	24
5.3.1 Vannkjemi	24
5.3.2 Fiskerespons	29
5.4 Innblanding av sjøvann til elvevannet fra Lona.....	29
5.4.1 Vannkvalitet og fiskerespons	29
5.4.2 Mobilitetsforsøk i ”estuarieblandsonen”	33
5.5 PCA-analyse.....	36
6. DISKUSJON OG KONKLUSJON	40
7. ANBEFALINGER.....	43
8. REFERANSER.....	43

Sammendrag

Vannkvalitetsendringer og effekter på fisk under flomepisoder med og uten stor sjøsaltdeposisjon er dokumentert i denne rapporten. Det ble utført feltarbeid i perioden 26. januar til 9. april 2001 i de to kystnære vassdragene Espedalselva og Lona i Sogn og Fjordane, samt i Lonas utløp.

Felt- og analysearbeid omfattet:

- kontinuerlig logging av vannstand, pH og temperatur
- vannkvalitetsendringer mhp generelle vannkvalitetsparametere og spesielt ulike tilstandsformer av aluminium (Al)
- kolloidtransport av Al (*in situ* fraksjonering)
- avsetning av Al på fiskegjeller (endring av Al konsentrasjonen på fiskegjeller)
- biologisk respons (glukose i fiskeblod).

Vinteren 2001 var en unormalt kald og nedbørsfattig vinter. Totalt i perioden ble det registrert tre nedbørsperioder (regn) som resulterte i mindre flomepisoder. To episoder førte til økt vannstand og pH senking, og en episode (sjøsaltepisode) førte til økt vannstand, økt konsentrasjon av klorid og redusert pH. Generelt i begge vassdrag, spesielt i Lona, økte konsentrasjonen av partikulært og kolloidalt organisk materiale, og av Al bundet til partikulært og kolloidalt materiale under flomepisodene.

Under flomepisodene i Espedalen ble det registrert økt konsentrasjon av uorganisk monomert aluminium (Al_i) i vannet, økt avsetning av Al på gjellene og økt fiskefysiologisk stress. Under sjøsaltepisoden økte både Al-eksponeringen og biologisk respons, dvs. økt mobilisering av Al, økt konsentrasjon av Al_i i vann, økt Al-avsetning på gjellene og økt glukosenivå i fiskeblod. Etter flommen avtok konsentrasjonen av Al_i i vann raskt, mens Al-avsetningen på gjeller avtok langt saktere. Gjelleavsetninger reflekterer derfor en forutgående episode i relativt lang tid (ca. 2-7 dager) etter at vannet er normalisert. Etter sjøsaltepisoden ble det under den påfølgende flomepisoden registrert økt mobilisering av basekationer (avsatt under sjøsaltepisoden) og derved mindre mobilisering av Al_i .

I Lona økte konsentrasjonen av total Al i vannet under flomepisodene, men konsentrasjonen av Al_i i vannet og avsetningen av Al på fiskegjellene var lav under hele forsøksperioden. Dette tilskrives interaksjonen med organisk materiale (avgiftning). Økt transport av partikler og kolloider medførte ingen gjelleeffekt eller stressreaksjoner (glukose).

Ved innblanding av sjøvann i Lonavannet økte konsentrasjon av lavmolekylært positivt ladet Al i vannet pga mobilisering av Al fra kolloidalt materiale. I denne "estuarieblandsonen" var avsetning av Al på gjellene betydelig høyere under flomepisoden enn ved normal vannføring (før flom). Al-avsetningen på gjellene til fisken i estuarieblandsonen ga ingen endring i glukosenivået.

Resultatene fra prosjektet viser at flomepisoder, spesielt sjøsaltepisoder, kan bidra til økt mobilisering av Al fra dreneringsområdet, økt Al_i i vannet og økt avsetning av Al på gjellene. Dette kan i sin tur gi en betydelig effekt på fisk i episodisk forsurede vassdrag. I humøse vassdrag med høyt innhold av organisk materiale avgiftes Al_i og avsetning av Al på fiskegjellene er ubetydelig. Flomvannet inneholder betydelige mengder av partikulært og kolloidalt materiale. I estuarier, hvor flomvannet innblandes med sjøvann, vil økt ionestyrke (økt salinitet) bidra til at reaktivt Al mobiliseres fra partikler og kolloider og dermed kunne avsettes på fiskegjeller. Resultatene bekrefter således resultater fra tidligere studier hvor det er vist at flomtransport og mobilisering av Al kan ha negative effekter på kystøkosystem og bioproduksjon i kystområder.

Summary

Title: Flow dynamics of acidified rivers; water chemical changes and biological response in two rivers and a simulated estuary mixing-zone during flow.

Year: 2002

Authors: Teien, H.-C., Standring, W., Salbu, B., and Hindar, A.

Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN No.: ISBN 82-577-4101-9

A fieldwork project was completed to study changes in water quality and the effects on fish caused by periods of high runoff and the deposition of sea salts in two coastal catchments in Sogn and Fjordane: Espedal, an acidified catchment, and Lona, an organically rich catchment. A simulated estuary mixing-zone, produced by mixing Lona river water and sea water, was also studied.

Analysis of water samples collected during fieldwork and exposure of fish to the dynamic river water qualities experienced enabled the effects of high runoff episodes to be studied.

The fieldwork focused on:

- Continual logging of river water discharge, pH and temperature
- Measurement of changes in general water quality parameters, and the different fractions of aluminium (Al), using *in situ* Al-fractionation methods
- Colloidal transport of Al
- Deposition of Al onto exposed fish gills (changes with time of Al concentrations on fish gills)
- Biological response (glucose in fish blood samples).

Weather conditions during fieldwork were abnormal: much colder and dryer than expected. Three precipitation events were recorded (rainfall), two of which resulted in increased runoff and a fall in river water pH, while the other resulted in increases in runoff and runoff chloride concentrations, with a fall in river water pH (i.e., a sea salt episode). Increased colloid and particle concentrations, with associated Al, were recorded in both catchments (especially Lona) during high runoff episodes.

Increases in inorganic low molecular mass Al (LMM Al_i), deposition of Al on to fish gills and fish physiological stress (blood glucose measurements) were recorded in Espedal catchment during high runoff episodes. The sea salt episode caused increases in both Al exposure and biological response, specifically: increased catchment mobility of Al, increased Al_i concentrations in river water, increased Al deposition onto fish gills and increased concentrations of glucose in fish blood (indication of stress). Concentrations of Al_i in river water decreased rapidly after the runoff peak, while fish gill Al-concentrations decreased at a slower rate. Therefore, the period of increased fish gill Al concentrations showed a lag time (approx. 2 - 7 days) after the re-establishment of stable runoff conditions. After the sea salt episode, increased base-cation mobility was recorded during a subsequent runoff event (wash out), which resulted in lower Al_i concentrations in runoff water.

In the Lona catchment, total-Al concentrations increased during high runoff episodes, but concentrations of Al_i in river water and Al on fish gills were low during the entire fieldwork period. This is explained by Al interactions with organic material (measured as DOC or TOC) that effectively reduced Al toxicity. Increased transport of colloids and particles during high runoff episodes did not affect gill-Al concentrations or blood glucose levels in exposed fish (i.e., no stress response measured).

When Lona river water was mixed with seawater (simulated estuary mixing-zone), the concentration of LMM positively charged (chelex reactive) Al increased, due to remobilisation of Al from colloidal

material. Deposition of Al onto fish gills in this artificially produced estuary mixing-zone increased dramatically during high runoff episodes, though no increases in blood glucose were recorded.

The results of this project show that high runoff episodes (especially sea salt events) can cause increases in Al mobility within catchments, Al_i concentrations in river water and increases in the amount of Al deposited onto fish gills. This can result in a significant fish physiological stress-response in episodically acidified catchments. In more organic catchments, however, high concentrations of organic material in runoff water effectively reduce Al toxicity, and deposition of Al onto fish gills was minimal.

Flood waters contain large amounts of particles and colloids. On reaching an estuary, increases in ionic strength (salinity) can cause remobilisation of LMM reactive Al species from particulate and colloidal material, which can be deposited onto fish gills. The fieldwork results strongly confirm the findings of previous studies where high runoff episodes and increased Al mobility were shown to have negative effects on coastal ecosystems and bioproduction in coastal areas.

1. Mål med prosjektet

Formålet med prosjektet er å dokumentere vannkvalitetsendringer som skyldes flom, spesielt i forbindelse med sjøsaltepisoder, med påfølgende mobilisering av aluminium og effekter på fisk i vassdrag.

Delmål:

- Karakterisere endring av vannkvalitet under flomepisoder, fortrinnsvis sjøsaltepisoder, med spesiell vekt på endringer i Al-kjemien og interaksjon med organisk materiale.
- Identifisere mobiliserings- og avgiftningsprosesser i vann med spesiell vekt på Al kjemien i estuarier (økt ionestyrke etter innblanding av sjøvann i flomvannet), spesielt under flomepisoder med stor materialtransport i elvene.
- Identifisere effekter på eksponert fisk i kar/renner på land under flomforløpet, ved å karakterisere Al-akkumulering på gjellene og fiskens fysiologiske tilstand (blodparametere) på ulike tidspunkt gjennom flomforløpet.

2. Bakgrunn

Rennende vann er i kontinuerlig endring og representerer ikke et likevektsystem. Det visste allerede Heraklit for 2500 år siden. Denne erkjennelsen er viktig om vi skal forstå mer av vår tids vannkvalitetsproblemer.

Forsuringspåvirkning kan være kronisk eller episodisk. I sterkt forsurede områder er det en vedvarende dårlig vannkvalitet og effekten på sensitive organismer antas å være relativt permanent i tid og rom. Dermed er effektene tydelige i vassdragene. I lite og moderat forsurede områder er påvirkningen av mer episodisk karakter og det er uklart hvordan sensitive organismer påvirkes under slike episoder. Derfor blir tolkningen av vannkjemiske data i forhold til bestandseffekter svært vanskelig. Vi trenger derfor en bedre forståelse av flommer; både transportprosesser, mobilisering og effekter på levende organismer, for å vurdere konsekvenser for utsatte vassdrag og kystnære områder.

For å få mer kunnskap om episodisk forsurening og hvordan denne påvirker laks og bunndyr ble det vinter og vår 1999 gjennomført et prosjekt i Sogn og Fjordane der en skulle konsentrere prøvetakingen til flommer i sju vassdrag. I rapporten fra denne undersøkelsen (Hindar et al., 2000b) ble det blant annet anbefalt følgende:

”- Detaljerte studier av den vannkjemiske dynamikken og biologisk respons under enkelte flomepisoder i to vassdrag.

Det bør etableres en beredskap som sikrer at dette kan gjennomføres på kort varsel av personell med nødvendig kompetanse, og vi anbefaler at dette gjøres i Gaularvassdraget og Lona. Det vil gi oss mer informasjon om hvordan vannkvalitet og toksisitet endres i sideelv og hovedelv under en flom og hvor stor del av forløpet som er kritisk. Målet må være å skaffe data som en ikke klarte å fange opp i det foreliggende prosjektet; kjemiske og biologiske endringer i løpet av enkeltepisoder og data for Al-fraksjoner under de mest kritiske faser av enkeltflommer. En slik undersøkelse vil være mer målrettet og tiltaksorientert fordi den kan belyse forholdene under flom ytterligere, mens undersøkelser av mer tradisjonell art vil generere mer av ”gammel” kunnskap, som at vassdragene er forsurede, at det er fare for episodisk forsurening og at en derfor bør fortsette overvåkingen, osv. osv.”

Som del av Reetableringsprosjektet ble det også gjennomført undersøkelser av hvordan ulike forklaringsvariable er relatert til fordeling av aluminiumsfraksjoner (Hindar et al., 2000a). Det kom fram at det var vanskelig å relatere Al-kjemi til vannføring fordi det sannsynligvis var store vannkemiske endringer i løpet av en enkelt flom. Man kan trolig finne vidt forskjellig vannkjemi ved en og samme vannføring i en flom, avhengig om vannføringen er stigende eller avtakende. Eksponeringstid for den dårlige vannkvaliteten blir avgjørende for følsomme arter.

En rekke datasett fra Vestlandet viser at sjøsalter representerer den drivende kraften for mobilisering av uorganisk aluminium til vassdragene, se blant annet rapporten om forurensingssituasjonen i Vosso (Hindar og Kroglund, 2000). Sjøsaltdeposisjon er relatert til perioder med mye nedbør og flom, og gjør seg særlig gjeldende i perioder med store vindstyrker hvor saltene kan fraktes langt innover fastlandet. Det er imidlertid uklart hvor alvorlig eksponering for dårlig vannkvalitet er i slike avgrensede perioder.

I NIVAs dataserie fra Sæta (Gaularvassdraget) vises det klart hvordan vannkvaliteten, det vil si vannets potensielle toksisitet, endres i løpet av vinteren 1983 ved omlag de samme kloridkonsentrasjonene i elva. Selv om sjøsaltpåvirkningen av vassdraget var den samme gjennom vinteren (i allfall ved de fire prøvetakingene vi har data for), kunne man enten finne en dårlig vannkvalitet eller en god vannkvalitet, avhengig av tidspunktet. I den første del av vinteren ble det mobilisert tilstrekkelig med basekationer til at H^+ og Al kun ble mobilisert i mindre konsentrasjoner, mens det motsatte var tilfellet senere på vinteren. Forløpet for Sæta ble målt over mellomlang tid (måneder), men et liknende forløp kan en trolig også finne innenfor en enkelt flomepisode. Studier av to flomepisoder i Lona (1996, 1998) viste også at Al ble mobilisert fra dreneringsområdet, med økt konsentrasjon av uorganisk aluminium i vann og økt avsetning av aluminium på fiskegjeller (Teien og Salbu, in prep).

Løst organisk stoff mobiliseres tidlig under flom (brunt vann) og dermed holdes toksisiteten av vannet på et relativt lavt nivå. Når vannet klarer kan toksisiteten øke ved at aluminium foreligger på mer uorganiske former. I Lona- og Flekke-Guddalvassdraget er dette trolig styrende for toksisiteten innenfor enkeltepisoder. Organisk stoff, målt som totalt eller løst organisk karbon (TOC eller DOC) vil ha en avgiftningseffekt for Al, hvor binding av Al til humusstoffer vil redusere avsetning av Al på gjeller av sensitive organismer. Tidligere studier av Lona under flom viste avsetning av Al på fiskegjeller oppstrøms et myrområde og en redusert Al-avsetning på fiskegjeller nedstrøms myrområdet, samtidig som TOC konsentrasjonen økte i ellevannet (dannelse av kolloidalt Al; Teien og Salbu, in prep).

Økt saltkonsentrasjon som følge av sjøsaltepisoder er antatt å kunne mobilisere positivt ladet Al fra vassdragets dreneringsområde til bekker og elver. Ved utløpet av elva i havet (estuarier) er det innblanding av sjøvann og en betydelig økning i ionestyrke. Hvis økt konsentrasjon av sjøsalter mobiliserer Al fra materialoverflater i jorda (ionebinding) er det også sannsynlig at økt konsentrasjon av sjøsalter i estuarier kan mobilisere Al fra partikkeloverflater som strømmer med vannmassene. Spesielt under flomepisoder er det stor partikkeltransport i elver og stor partikkel- og kolloidtilførsel til estuarier som igjen kan gi en betydelig mobilisering av overflatebundet Al etter økning i ionestyrke. Et kunstig estuarieblandningsforsøk med surt ellevann utført på Matre (Rosseland et al., 1998) har tidligere indikert mobilisering av Al og økt konsentrasjon av toksisk Al etter innblanding av sjøvann til 3‰. Ved et oppdrettsanlegg i Osterfjorden har det etter høy nedbørsintensitet og flom i elvene med stor ferskvannstilførsel til fjorden resultert i et ferskvannslag langt utover i fjordsystemet, med påfølgende økning i Al avsetningen på fiskegjeller hos fisk i oppdrettsanlegg og akutt dødelighet (Bjerknes et al., in prep).

3. Hva er en flomepisode?

En flomepisode er et resultat av en høy nedbørsintensitet og/eller snøsmelting. Høy nedbørsintensitet og snøsmelting bidrar til økt overflateavrenning med påfølgende erosjon; økt tilførsel av vann gir økt vannføring som igjen gir økt turbulens og oppvirvling av sedimenter. En flomepisode kan derfor karakteriseres med høy vannføring og økt partikkel- og kolloidtransport. Det betyr som regel økt transport av organisk materiale og økt konsentrasjon av spormetaller i vannet f.eks. aluminium. I et humøst vassdrag vil store deler av Al konsentrasjonen være bundet til organisk partikulært eller kolloidalt materiale under en flomepisode. Organisk bundet Al er mer inert og ikke giftig for biologiske organismer i motsetning til positivt ladet Al.

Nedbørens sammensetning kan bidra til økt biologisk effekt av en flomepisode. Ved sjøsaltepisoder, med stort nedfall av salter og dermed økt ionestyrke, vil ionebytting av positivt ladete ioner i jorda (særlig Na^+) måtte kompenseres med andre positivt ladete ioner. I forsurede områder kan konsentrasjonen av H^+ -ioner og uorganisk aluminium (også positivt ladet) dermed bli svært høy og vannet svært giftig for fisk (Hindar et al. 1994; 1995).

På tilsvarende måte kan spormetaller assosiert med partikulært og kolloidalt materiale som transporteres med elvevann remobiliseres i estuarier. Når flomvann blandes med sjøvann vil økt ionestyrke bidra til

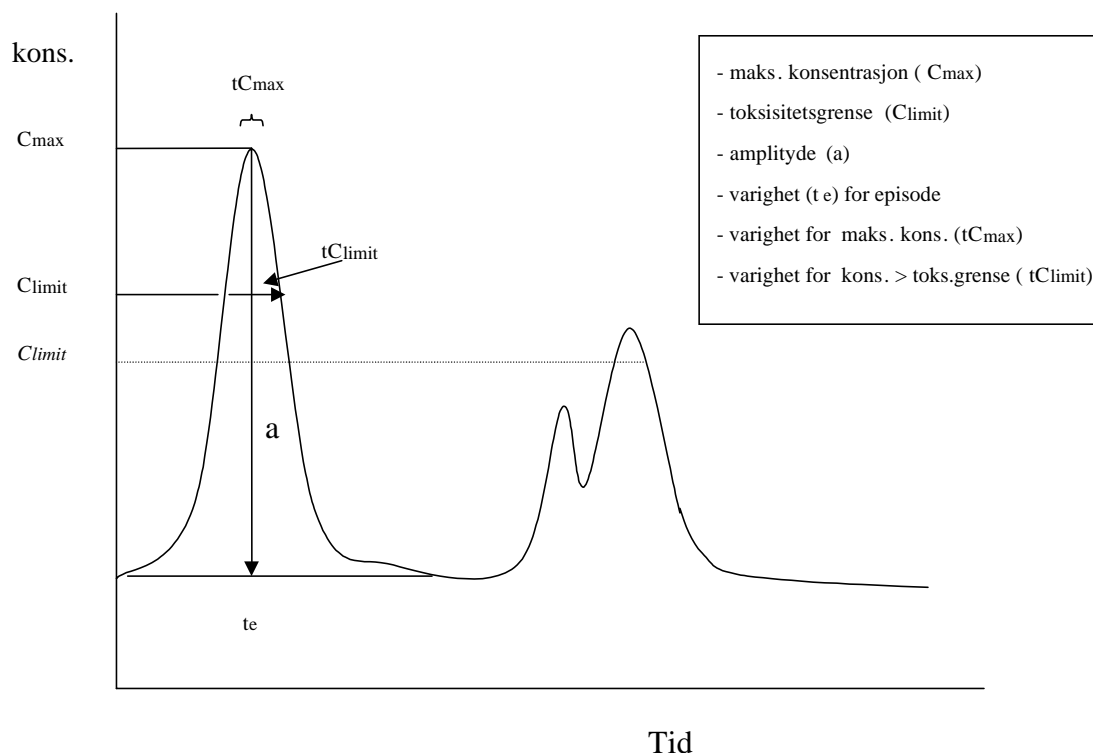
- ionebytteprosesser hvor særlig høy Ca og Mg konsentrasjon bidrar til utbytting av reversibelt bundet Al
- aggregering av partikler og kolloider med påfølgende sedimentering

Samtidig kan økt pH i estuariesonen bidra til at

- mobilisert Al hydrolyser, polymeriser og danner reaktivt Al med påfølgende avsetning på fiskegjeller, en prosess som avtar etterhvert som systemet kommer til likevekt

Flomforløp, varighet og hyppighet er tre faktorer som har betydning for eksponering og innhold av toksiske forbindelser i avrenning og dermed biologiske effekt. Figur 1 beskriver skjematisk en flomepisode hvor f. eks. konsentrasjonen av toksiske former av Al følger flomforløpet og viser maksimal konsentrasjoner under flomtoppen. Den kritiske konsentrasjonen for en gitt organisme er gitt som C_{limit} . Betydningen av forhistorie (forutgående flom) kan illustreres ved at C_{limit} , altså den kritiske konsentrasjonen, reduseres til C_{limit} ved neste flom, dvs tålegrensen er senket. Eksponering (dose) som en organisme er utsatt for er gitt som konsentrasjon x tid og ulike kombinasjoner av konsentrasjon og eksponeringstid kan gi samme effekt. En ny eksponering etter kort tid kan føre til senkning i organisms toleransenivået.

Figuren tar ikke hensyn til endringer i konsentrasjoner eller tilstandsformer under flom (ofte skjev fordeling), eller kompensatoriske mekanismer, aktiv unnvikelse eller annen adferd (drift) som kan fjerne organismen fra kritiske konsentrasjoner, men C_{limit} kan oppfattes som den kritiske konsentrasjonen gitt at slike mekanismer har inntrådt.

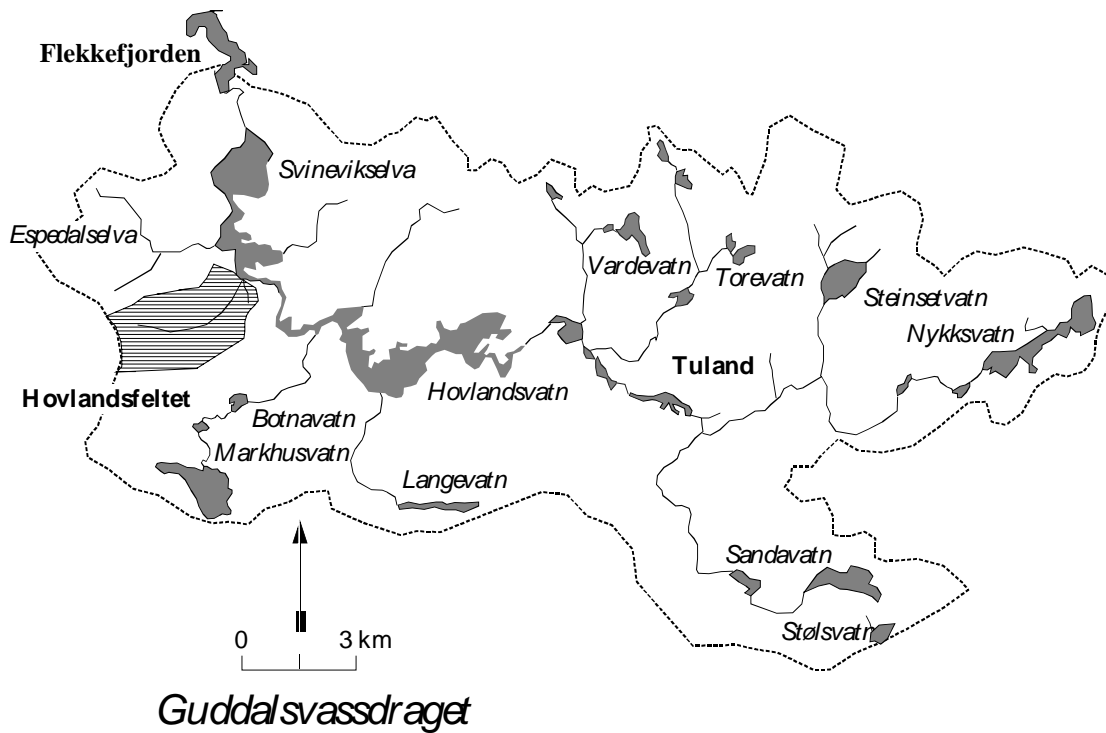
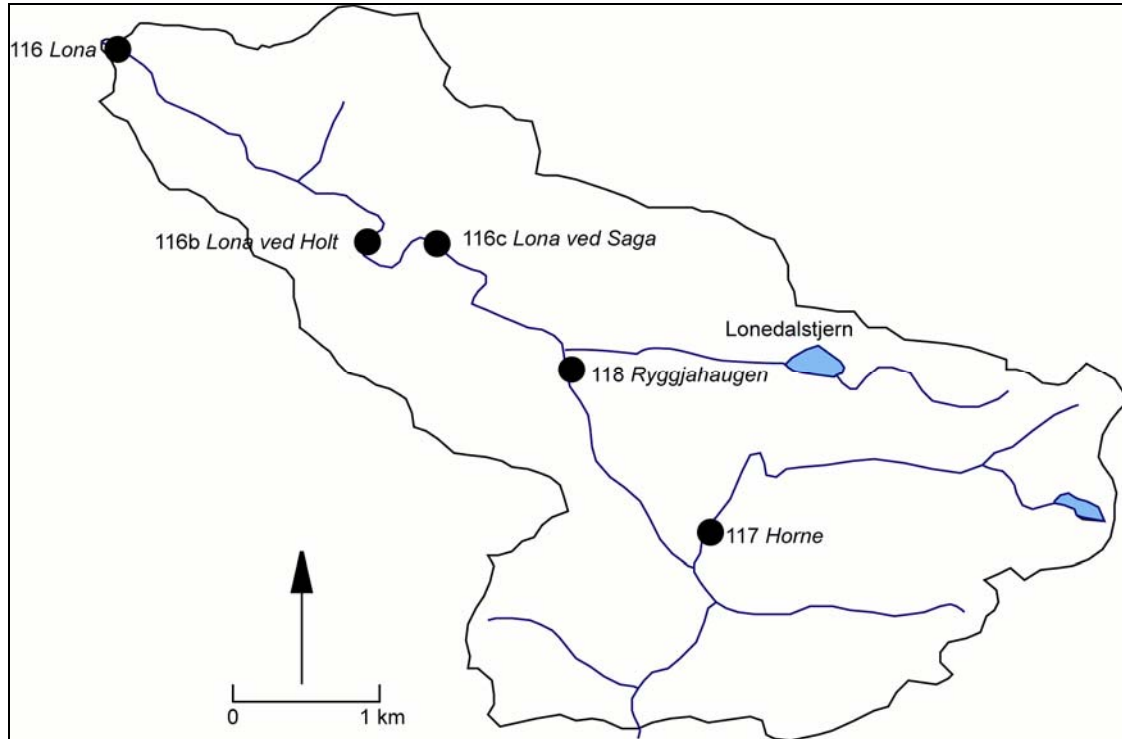


Figur 1. Karakterisering av en flomepisode, fritt etter Ormerod og Jenkins (1994). Konsentrasjon av et gitt toksisk stoff er avsatt mot tid. Betydningen av forhistorie kan illustreres ved at C_{limit} , altså den kritiske konsentrasjonen, reduseres til C_{limit} ved en foreksponering.

4. Materiale og metoder

4.1 Stasjonsvalg og prøvetaking

For å studere endringer av vannkvalitet i elv under flom ble det utført en feltstudie i to vassdrag i Dalsfjorden i Sogn og Fjordane, Espedalselva og Lona (Figur 2). Espedalselva (oppstrøms kalkdoserer) er kronisk forsuret, mens Lona er mer humøs og episodisk forsuret. Espedalselva er også benyttet som referansevassdrag til Hovlandselva som drenerer et terrengkalkingsområde. Begge vassdragene er relative kystnære vassdrag og det er tidligere registrert betydelige sjøsaltepisoder i vassdragene. Videre ble det lagt vekt på å ha kort reiseavstand til forsøkslokalitetene for å kunne følge flomepisoder ved hyppig innsamling av prøver. Hellevik Gård, ca 2 km til lokaliteten i Lona og ca. 30 km til lokaliteten i Espedalen, ble benyttet som bosted under prosjektet. Det ble etablert elvestasjoner i begge vassdrag og en estuariestasjon ved utløpet av Lona.

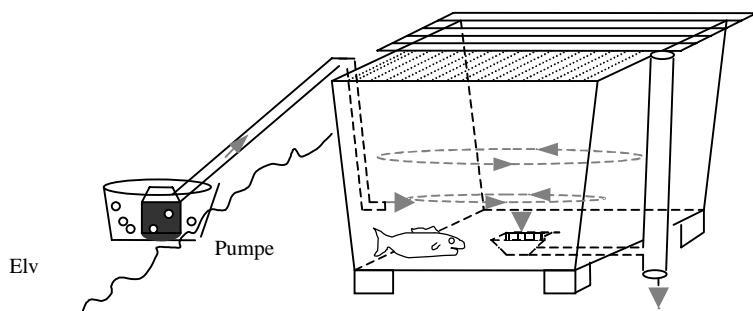


Figur 2. Lonavassdraget (øverst; fra Hindar et al. 2000b) og Flekke-Guddalvassdraget (fra Hindar og Skancke 2001).

Elvestasjoner

Det ble etablert elvestasjoner i Lona ved Saga (stasjon 116C i Figur 2) og i Espedalen oppstrøms kalkdoserer i sidevassdraget fra vest (terrengkalkingsprosjektets referansefelt). Ved hver stasjon ble vannkvaliteten overvåket og laksesmolt ble kontinuerlig eksponert til ellevannet. Vannet ble kontinuerlig pumpet opp til kar på land (Figur 3). I elva var det plassert en svart 60 L stamp. Stampen var gjennomhullet slik at vannivået i og utenfor stampen var lik og stampen var tildekt med et lokk. I stampen var det plassert en dykkpumpe samt flere steiner. Stampen fungerte dermed som en brønn og et isolert lokk hindret frost. På land var det plassert et kar (ca 900 L) som rommet ca 300 L ellevann til enhver tid og 60 fisk (*Salmo Salar*). Fisken ble kontinuerlig eksponert til ellevannet uten at variasjoner i vannhastighet stresset fisken. Karet var tildekt med not og halve åpningen var tildekt med trebord for å hindre fisken i å rømme og for å beskytte fisken mot kraftig sollys og tung snø. I karet var det en sirkulær vannstrøm; vannet kom inn gjennom et rør nær karveggen og toppen av vannflaten og rant ut i bunnen (midten) av karet. Vanngjennomstrømningen i karet var så stor at fisken ble stående i vannstrømmen. Gjennom utløpet i bunnen av karet og i utløpet på karveggen var det plassert en varmekabel som var selvregulerende og hindret at utløpet frøs til. Varmekablene hadde ingen effekt på vanntemperaturen i karet da vanngjennomstrømningen var stor.

På karveggen nær vannflaten var det plassert to elektroder som logget kontinuerlig temperatur og pH i karet. En kunne til enhver tid lese av variasjonen i pH og temperatur i den forutgående perioden. For å kunne dokumentere vannkvalitetsendringer under varierende vannføring under flom var prøvetakingen av vann og fisk hyppig.



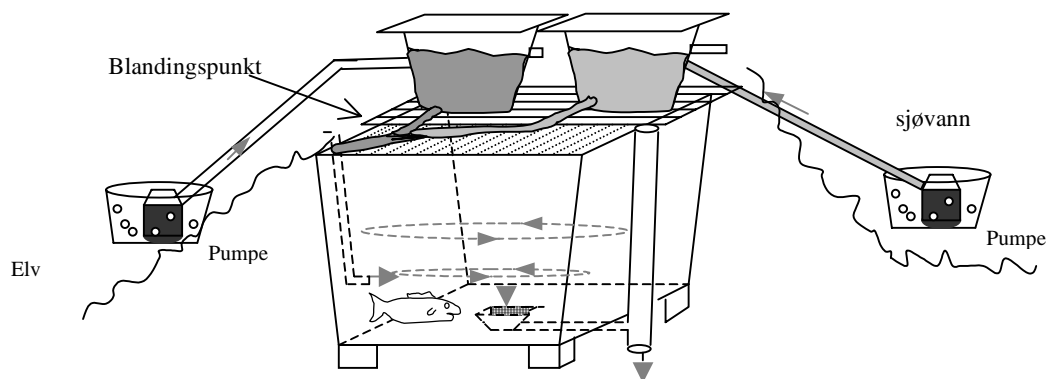
Figur 3. Elvestasjon med kontinuerlig logging av temperatur og pH, samt kontinuerlig eksponering av laksesmolt.

Estuarestasjonen

I estuariet ble ellevann fra Lona kontinuerlig blandet med sjøvann (ca 27 ‰) til 5-6 ‰ før vannet ble tilført et kar med ca. 60 fisk. Fisk ble kontinuerlig eksponert til denne brakkvannskvaliteten. Vha pumpe plassert i en brønn (tilsvarende elvestasjonene) ble vannet pumpet fra elva til et svart kar plassert på toppen av blandsonerekaret på land (Figur 4). Vha av en 100 m slange ble sjøvann (27 ‰) pumpet opp i et tilsvarende svart kar plassert på toppen av blandsonerekaret.

Vannstrømmene fra ferskvannskaret og sjøvannskaret (på toppen av blandsonerekaret) ble regulert via kraner før vannstrømmene ble blandet i et rør som ledet rett ned i karet under med fisk (Figur 4). Fiskekaret var fylt med ca 300 L vann og den totale gjennomstrømningen var ca. 30 L i minuttet. Nivået av ellevann og sjøvann i de enkelte stasjonene var konstant da store deler av tilført vann rant ut gjennom et overløp. Tilførsel av sjøvann og ferskvann og det resulterende blandingsforhold mellom sjøvann og ferskvann var stabilt gjennom hele forsøksperioden.

I utløpet av de enkelte karene var det plassert en varmekabel for å hindre frost tilsvarende som på elvestasjonene. pH, temperatur og salinitet ble kontinuerlig logget for å dokumentere stabilitet av blandingsforholdet mellom sjøvann og elvevann. *In situ* fraksjonering av vann fra blandsonerekaret ble benyttet for å dokumentere vannkvalitetsendringer mhp spormetallers tilstandsformer under flom.



Figur 4. Estuariestasjon med kontinuerlig måling av temperatur, pH og salinitet, samt kontinuerlig eksponering av laksesmolt.

For å få informasjon om remobilisering av Al fra kolloidalt materiale ble det i perioden 30. mars – 04. april utført blandsonedeforsøk hvor fraksjonert elvevann ble tilsatt sjøvann. Vannet som ble brukt til blandsonedeforsøket ble tatt fra hhv ferskvannskaret og sjøvannskaret (Figur 4). Vha peristaltiske pumper ble elvevannet enten membranfiltrert "in-line" ($< 0,45\mu\text{m}$: Millipore) eller ultrafiltrert ($< 8\text{ kDa}$: "tangential-flow" ultrafiltreringssystem, Millipore) før blanding med sjøvann til salinitet på ca. 5 – 6 ‰ i 20 L svarte kar. Fra de enkelte karene ble vannet ledet inn i et nytt 20 L svart kar før utløpet.

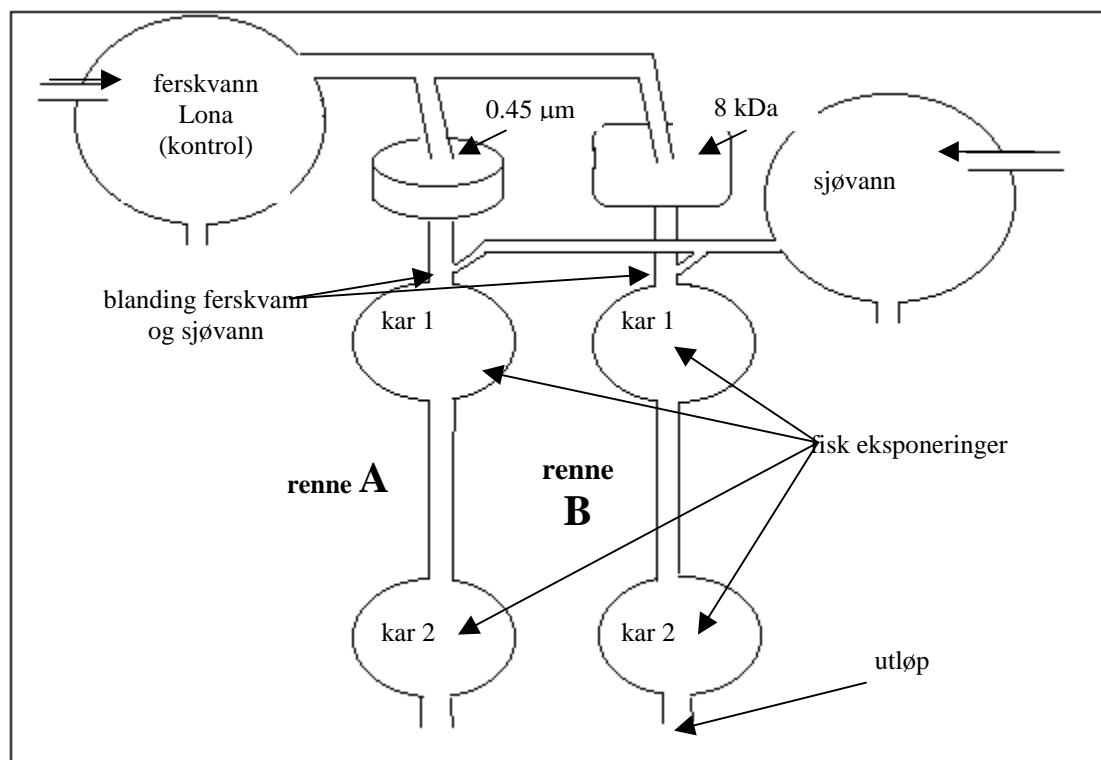
Figur 5 viser det eksperimentelle oppsettet. Laksesmolt ble derved eksponert kontinuerlig til to vannkvaliteter, nemlig "estuarie"-vann med og uten kolloidalt materiale fra elvevannet. Eksponeringen skjedde ved to tidspunkt etter blanding; øyeblikkelig etter blanding (ca. 0 – 30 minutter etter) og "lang" tid etter blanding (ca. 30 – 60 minutter etter) i 150 t i 20 L svarte kar. Parallelt ble 5 fisk kun eksponert til elvevannet som kontroll.

4.1.1 Prøvetaking

Prøvetakingen av vann og fisk startet 7. februar 2001 og ble avsluttet 5. april 2001. Generelt ble fisk og vann prøvetatt samtidig hver tredje dag gjennom hele forsøksperioden. I tilknytning til flommene ble det tatt prøver så hyppig som mulig på stigende og avtakende vannføring for å dokumentere vannkvaliteten minst 3-4 ganger under en flomepisode. Estuarieforsøket (150 t forsøk) ble utført under en flomepisode hvor vannkvaliteten ble dokumentert daglig og fisken ble prøvetatt etter hhv ca. 75 t og 150 t eksponering.

4.1.2 Vannkjemisk dokumentasjon

For å dokumentere endringer i nedbørskvalitet og mengde ble nedbør oppsamlet og døgngjennomsnitt beregnet (mm). Nedbøren ble samlet i en 1 L plastflaske påmontert en trakt (toppen). Feltstasjonen var plassert på tunet ved Hellevika Gård og ble avlest hvert døgn. For å dokumentere vannføring og endringer i vannføring ble eksisterende vannføringsmålere i Espedalselva og Hovlandselva (som er nabovassdraget til Espedalselva) benyttet. I Lona ble vannstanden registrert.



Figur 5. Korttids estuariestasjon. Kontinuerlig eksponering av laksesmolt (150 t) i estuarieblandsoner kort tid etter blanding (ca. 0 – 30 minutter etter blanding) og ”lang” tid etter blanding (ca. 30 – 60 minutter etter blanding) av elvevann og sjøvann til to vannkvaliteter A og B. **Renne A:** < 0.45 µm Lona vann inneholdende kolloidalt materiale blandet med sjøvann. **Renne B:** < 8 kDa Lona vann uten kolloidalt materiale blandet med sjøvann.

For å oppnå hyppig innsamling av vannprøver under enkeltepisoder ble det benyttet en automatisk prøvetaker. Prøvetakeren ble plassert på toppen av eksponeringskaret og prøver av vannet fra utløpet av dette karet ble innsamlet vha pumpe. Autosampleren bidro til økt dokumentasjon av raske vannkvalitetsendringer under varierende vannføring. Det var imidlertid noen små problemer knyttet til strømtilførselen av autosampleren slik at i enkelte tilfeller ble det ikke innsamlet noen ekstra vannprøver. Autosampleren samlet inn 0,4 L eller 1,2 L vannprøve. Vannprøvene som var innsamlet av autosamplere ble fraksjonert senere i felt.

Ved hvert prøvetakingstidspunkt ble det ved hver stasjon samlet inn prøver av vann (0.5 L) for analyse av full ionesammensetning og 100 ml vann for TOC analyse samt fisk. For å dokumentere endringer i tilstandsformene for Al ble det utført *in situ* fraksjonering av vannet i tilknytning til hver prøvetaking av fisk. I estuarieforsøkene ble vannprøver tatt ved alle stasjoner tilnærmet samtidig. Ved den enkelte prøvetaking ble vannet fraksjonert mhp størrelse og ladning *in situ* og ekstrahert mhp Al og TOC/DOC. Jern (Fe) ble også inkludert i estuarieblandsonerforsøkene. Alle prøvene ble lagret kjølig. Et utvalg av disse prøvene ble analysert senere på laboratoriet.

4.1.3 Forsøksfisken

Forsøksfisken var veterinærgodkjent laksesmolt produsert av Gjølanger Fisk A/S. I hver lokalitet ble det plassert 60 fisk. Fisken ble ikke føret under forsøket. For å hindre eksponering av sulteføret fisk ble fisken normalt eksponert i tre uker, deretter ble ny fisk satt ut i systemet. I tillegg ble fisk

eksponert gjennom hele forsøksperioden til Lona elvevann, hvor eksponeringstanken var delt i to med et nett; en fiskegruppe med 3 ukers eksponering og en fiskegruppe som ble eksponert til elvevannet gjennom hele forsøksperioden. I den kunstige estuarieblandsonen ble kun en gruppe fisk eksponert til brakkvannskvaliteten fra 1. mars til 9. april.

Laksesmolten ble fraktet med bil i svarte kar (en gang til Lona) eller i svart plastsekk fylt med vann og oksygen (standard metode for transport av fisk) til den enkelte lokalitet. Det ble ikke registrert noen negative effekter på fisken etter transport.

Hver enkelt prøvetaking av fisk omfattet alltid prøver av 5 fisk (n=5). Prøvetakingsprogrammet omfattet:

- lengde (mm) og vekt (g) til fisken ble målt
- blodprøver for bestemmelse av plasma-Cl og glukose ble tatt i felt vha sprøyte. Glukose ble målt i felt, mens resterende blod ble sentrifugert. Etter sentrifugering ble blodplasma pipperert ut og lagret frosset til senere analyser av plasma-Cl på laboratoriet (foreløpig ikke analysert).
- gjellebue nr 2 på høyre side ble skjært ut i felt, lagt på gjellebeholdere og lagret frosset til senere analyser av metallkonsentrasjon (laboratoriet).
- gjellebue nr 2 på venstre side ble innsamlet fra et begrenset utvalg fisk og lagret på fosfatformalin for evt. senere histologiske undersøkelser etter kategoriene A-D (ikke analysert).
- det ble samlet snuteprøver av enkelte fisk for bestemmelse av Al konsentrasjon. Snutene ble kuttet av i felt og lagret frosset på syrevaskede beholdere og målt senere på laboratoriet.

Det ble også benyttet fargeteknikk for å demonstrere Al-avsetninger på gjellene og på nesevev til fisken.

Eksponert fisk hadde en gjennomsnittlig vekt på $43,2 \pm 22,3$ g og en gjennomsnittlig lengde på $15,6 \pm 2,2$ cm. Fisk fra forsøkene er også lagret (frosset) for evt. studier av otolitter.

4.2 Analysemetodikk

4.2.1 I felt

Vannkjemisk dokumentasjon er basert på prøver tatt med ulik hyppighet, avhengig av variablene.

pH ble målt i felt med PHM80 Portable pH meter med radiometer elektrode PHC2005 i tilknytning til innsamling en vannprøver. Målt pH ble benyttet til å korrigere verdier fra den kontinuerlige pH-loggingen. I tillegg til måling av pH og temperatur ble konduktivitet (Conductivity meter LF323) samt alkalitet (titrering med 0,01 M HCl) målt i felt. Alkalitet er justert for H^+ konsentrasjon til ALK-E etter NIVAs metode. pH ble også målt i innsamlet nedbør.

For å få informasjon om eventuelle sjøsaltepisoder ble konsentrasjonen av Cl målt i felt vha DR2000. Cl konsentrasjonen ble målt under nedbørperioder når det ble registrert vannkvalitetsendringer. Cl konsentrasjonen ble målt i elvevann og innsamlet nedbør. For å få bedre informasjon om absolutte konsentrasjoner ble Cl konsentrasjonen også målt senere av NIVA.

For å få informasjon om fordelingen mellom partikulært, kolloidalt/høymolekylære og LMM former av Ca, Na, Mg, Si, Al og Fe ble det benyttet *in situ* størrelsesfraksjonering. Det ble benyttet 0,45 μ m membranfilter og 10 kDa hullfiber. De ulike størrelsesklassene for metaller omfattet:

total Me	= total konsentrasjon av Me i vannprøven
Me (<0,45 μ m)	= total konsentrasjon av Me i 0,45 μ m membranfiltrert prøve

LMM Me (<10 kDa)	= total konsentrasjon av lavmolekylære Me-specier i ultrafiltrert prøve (<10 kDa)
HMM Me	= total konsentrasjon av høymolekylære Me-specier, Me-LMM (10 kDa < Me-specier < 0,45 µm)

I tillegg ble det i felt benyttet en kombinasjon av partikkelfiltrering, hullfiber ultrafiltrering, og kationkromatografi for å få informasjon om både høymolekylære (HMM) og lavmolekylære (LMM) former samt positivt ladete ioner og negativt ladete eller uladete tilstandsformer av Al og Fe (estuarieblandsonen). Det ble benyttet en peristaltisk pumpe til å pumpe vannet direkte fra lokaliteten gjennom filtre før en ny peristaltisk pumpe ledet filtrert vann (LMM og 0,45 µm) til kromatografi, hvor positivt ladete tilstandsformer av metallene (Me⁺-tilstandsformer) holdes igjen på kationbytter. Vann ble fraksjonert *in situ* og "on-line" i felt. Membraner (0,45 µm) ble benyttet til å fjerne partikler og 10 kDa fibre ble benyttet til å fjerne både partikler og kolloider før kromatografi.

For å få kunnskap om reaktivitet av ulike Al (Fe)-tilstandsformer ble fraksjonerte prøver ekstrahert (ifl. Barnes/Driscoll: 1975/1984) i felt. Ekstraherte prøver ble senere målt på laboratoriet vha spektrofotometri (Shimadzu, UV-1601, 395 nm). Al ble korrigert for interferens av Fe som ble bestemt på bølgelengden 600nm. Konsentrasjonen av Fe i vannprøver fra den kunstige estuarieblandsonen ble bestemt spektrofotometrisk ved absorbans på 600nm.

Ulike reaktive Al og Fe tilstandsformer som ble bestemt er benevnt som følger:

Ferskvann:

- tot-Al:** Total Al-konsentrasjon i vannet, bestemt på laboratoriet vha. ICP-AES i surgjorte prøver (1% HNO₃ minimum 1 mnd etter surgjøring)
- Al_c:** Syrereaktivt Al, ofte benevnt kolloidalt partikulært Al, beregnet ved: $Al_c = tot-Al - Al_a$
- Al_a:** Reaktivt Al, vannprøve ekstrahert med 8-hydroxyquinoline og metylisobutylketon i 20 sekunder, lagret ved 4 °C i minst 2 dager før bestemmelse av Al-konsentrasjon vha. spektrofotometer
- Al_o:** Ekstrahert Al i eluat fra kationbytterkolonne (nøytrale eller negativt ladet), Al-konsentrasjon bestemt vha. spektrofotometer
- Al_i:** Monomert uorganisk Al. Retensjon i kationbytter, beregnet ved: $Al_i = Al_a - Al_o$

Brakkvann (bruk av en modifisert Barnes - Driscoll metode i kombinasjon med størrelsesfraksjonering):

- tot-Al tot-Fe/:** Total Al (Fe)-konsentrasjon i vannet, bestemt på laboratoriet ved ekstraksjon av surgjorte prøver (1 % HNO₃ minimum 1 mnd etter surgjøring), prøver lagret ved 4 °C i minst 2 dager før bestemmelse av Al-konsentrasjon vha. spektrofotometer
- Al_c/Fe_c:** Syrereaktivt Al, ofte benevnt kolloidalt partikulært Al, beregnet ved: $Al_c = tot-Al - Al_a$ (Tilsvarende for Fe_c)
- Al_a/Fe_r:** Reaktivt Al vannprøve ekstrahert med 8-hydroxyquinoline og metylisobutylketon i 20 sekunder, lagret ved 4 °C i minst 2 dager før bestemmelse av Al/Fe-konsentrasjon vha. spektrofotometer
- Al_{ech}/Fe_{och}:** Ekstrahert Al i eluat fra kationbytterkolonne med Chelex (nøytrale eller negativt ladete), Al-konsentrasjon bestemt vha. spektrofotometer
- Al_{chelex}/Fe_{chelex}:** Retensjon i kationbytter (Chelex), beregnet ved: $Al_{chelex} = Al_a - Al_{ech}$ (tilsvarende for Fe_{chelex})
- Al_{an}/Fe_{an}:** Retensjon i anionbytter XAD-8, beregnet ved differanse ved før og etter ionebytting.

4.2.2 På laboratoriet

Generell ionesammensetning ble målt i enkelte utvalgte prøver (500 mL innsamlet samtidig som *in situ* fraksjonering) på laboratoriet. SO₄, NO₃, Cl og F ble målt på NIVA. Ca, Mg, Na, K og Si ble målt i ulike størrelsesfraksjonerte prøver vha ICP-AES på NLH; Konsentrasjonen av ikke marint Na er beregnet med utgangspunkt i Na/Cl forholdet i sjøvann. "Konsentrasjonen" av Na kan derfor bli negativ hvis det skjer adsorpsjon av Na i jorda. Er konsentrasjonen av Na i vannet høyere enn det en skulle vente ut fra Cl konsentrasjonen er det en kilde til Na innenfor vassdragets grenser.

Organisk stoff, målt som total eller løst organisk karbon (TOC eller DOC), ble bestemt i totalprøver, filtrerte og ultrafiltrerte prøver vha Shimano TOC-5000 på NLH. Følgende organiske fraksjoner ble målt:

Total TOC = TOC i totale vannprøve

<0,45 µm-DOC = DOC i 0,45 µm filtrerte prøver

LMM DOC = DOC i ultrafiltrerte prøver (<10 kDa)

4.2.3 Databearbeiding

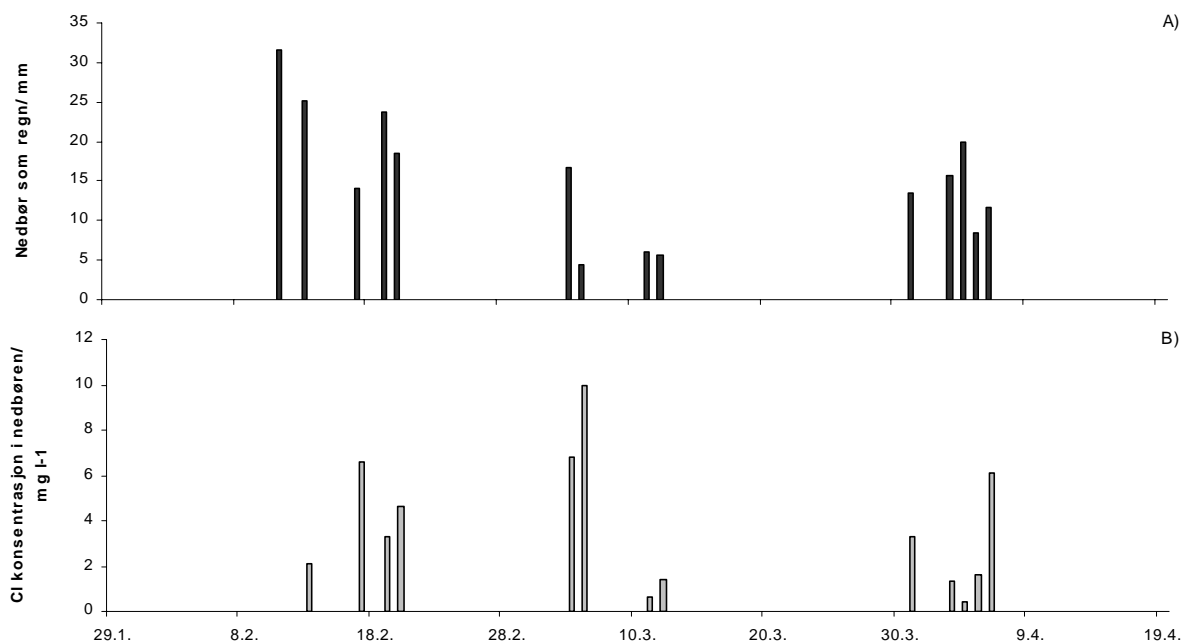
For å karakterisere hovedtrender og vise relasjoner mellom grupper av parametere ble flervariabelanalyser (multivariate metoder) dvs. prinsipial komponent-analyse (PCA) benyttet. Multivariansanalysen (PCA) er gjort i Unscrambler. Analysene ble basert på alle prøver innsamlet i Espedalen og Lona i perioden 7. februar til 9. april 2001, og 15 ulike parametere (vannføring, temperatur, pH, Alk, NO₃, SO₄, Cl, TOC, Al, Fe, Mg, Ca, Na, K, Si) med totalt 37 variable.

5. Resultater og diskusjon

Her viser vi først data for nedbør og hydrologi for stasjoner i området, deretter vannkjemi og fiskeresultater fra vassdragene. I og med at vannprøvene er fraksjonert etter størrelse før analyse, og at dette representerer informasjon som er lite kjent innenfor forsørings- og kalkingsvirksomheten, har vi valgt å vise tidsutviklingen for de fleste ioner som er analysert. Til slutt i dette kapittelet dokumenteres det eksperimentelle arbeidet med innblanding av sjøvann.

5.1 Nedbør og hydrologi

Den aktuelle forsøksperioden var unormalt nedbørsfattig og kald. Det ble observert de laveste temperaturer på 10 år (pers medd. fra lokale personer). Totalt ble det registrert tre perioder hvor det kom store nedbørmengder som regn (Figur 6): 10.-20. februar, 5.-12. mars og 31. mars - 6. april. Det kom også litt snø fra slutten av februar til 5. mars, da det også var svært kaldt. De største nedbørmengdene kom i midten av februar, mens nedbøren med høyest konsentrasjon av sjøsalter kom 5.-6. mars. Nedbørmengden i mars var lav i forhold til februar og begynnelsen av april, men inneholdt den sureste nedbøren og var mest påvirket av sjøsalter (Tabell 1).



Figur 6. A) Antall mm nedbør registrert pr. døgn i forsøksperioden fra 07.02. til 07.04.2001 og B) konsentrasjon av Cl i nedbøren.

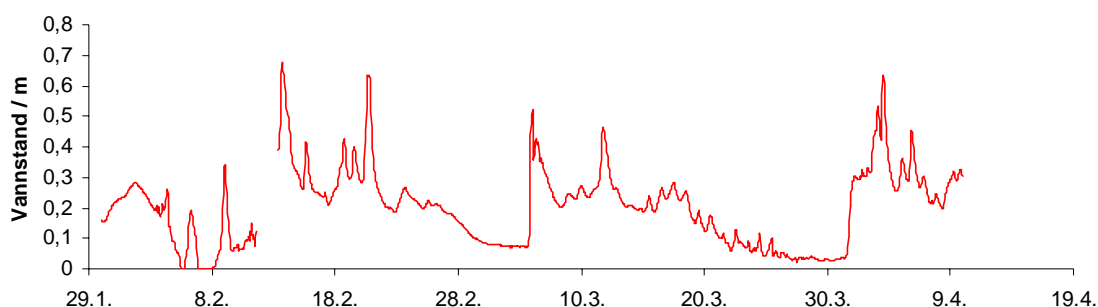
Tabell 1. Tidspunkt ved registrering av nedbør, målt mengde (mm), pH og Cl konsentrasjon (mg/l) i nedbøren.

Innsamlingsperiode	Mengde (mm)	pH	Cl (mg/l)
10.02 kl 22:00- 11.02 kl 14:00	32	5,00	
13.02 kl 09:00- 13.02 kl 18:00	25	5,26	2,1
13.02 kl 18:00- 17.02 kl 15:00	14	5,15	6,6
18.02 kl 09:00- 19.02 kl 23:00	24		3,3
19.02 kl 23:00- 20.02 kl 23:00	18	5,32	4,6
litt snø fra tidligere 05.03 kl 18:00	17	4,39	6,8
05.03 kl 18:00- 06.03 kl 22:00	4	4,68	10
10.03 kl 09:00- 11.03 kl 10:00	6	4,25	0,6
11.03 kl 10:00- 12.03 kl 08:00	6	4,86	1,4
31.03 kl 01:00- 31.03 kl 23:00	13	4,54	3,3
02.04 kl 08:00- 03.04 kl 01:30	16	4,28	1,3
03.04 kl 01:30- 03.04 kl 23:00	20		0,4
03.04 kl 23:00- 04.04 kl 23:00	8	4,71	1,6
05.04 kl 09:00- 06.04 kl 09:00	12	5,13	6,1

Totalt ble det registrert tre flomepisoder ved stasjonen i Hovlandsvassdraget (Figur 7):

- 1) 11.-20. februar. Rask økning av vannstand 11.-12. februar med påfølgende reduksjon i vannstand og økning igjen til den 20. februar før vannstanden gradvis ble lavere til en svært lav vannstand 5. mars.
- 2) 5.-11. mars. Rask økning i vannstand 5.-6. mars, påfølgende reduksjon før økning igjen den 11. mars før vannstanden gradvis ble lavere til en svært lav vannstand med lite vann i elvene den 30. mars.

3) 31.-4. april. Startet med en rask økning i vannstand 31. mars som fortsatte 2.-3. april før vannstanden avtok igjen.



Figur 7. Variasjon i vannstand i Hovlandselva, nabovassdraget til Espedalselva.

5.2 Resultater fra Espedalselva

5.2.1 Vannkjemi

I Espedalen ble det ved to av flomepisodene registrert økt vannføring og redusert pH (Figur 8). Under en episode ble det registrert økt vannivå, redusert pH og økt Cl konsentrasjon samtidig (se også Figur 9). Ved de enkelte flomepisodene var det en økning i temperatur fra 0 til 2-3 °C.

Konsentrasjonen av organisk karbon var relativt stabil i Espedalselva (ca. 3 mg/l TOC), med noe økning (1 mg/l) under de enkelte flomepisodene. En betydelig andel av det organiske materialet forelå som kolloidale forbindelser større enn 10 kDa, som vist i Figur 8.

Konsentrasjonen av Na varierte gjennom forsøksperioden, men var generelt lavere enn 6 mg/l som vist i

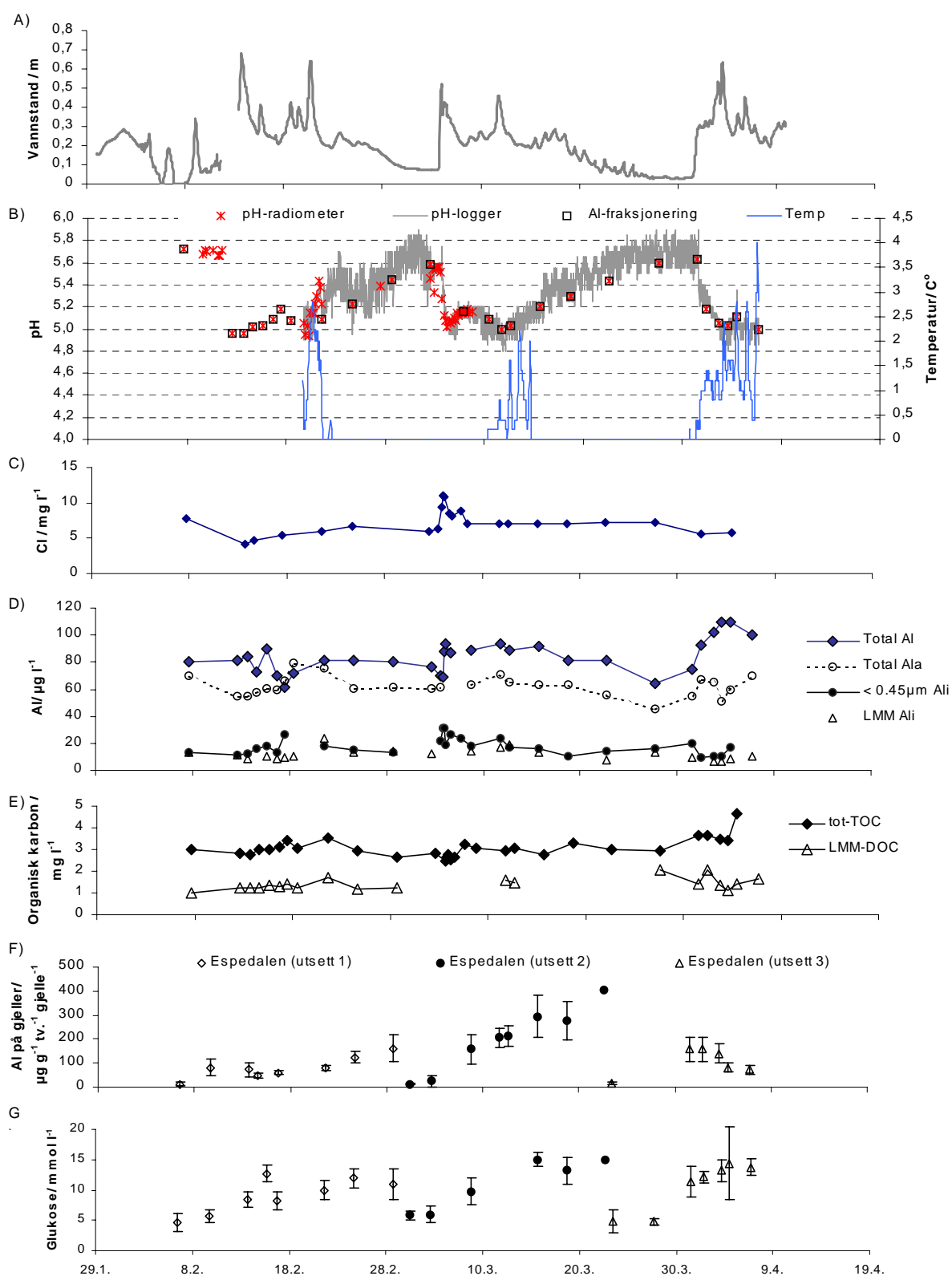
Figur 9. Gjennom hele perioden var den relativt godt korrelert med Cl konsentrasjonen. Spesielt under den første og siste flomepisoden, som var uten store bidrag av sjøsalter, var det en betydelig økning av ikke-marint Na (Figur 10).

Figur 9 viser at økningen i ikke-marint Na måles som partikulært Na. Under sjøsaltepisoden var det et netto opptak av Na i jorda som måles som et negativt bidrag av ikke-marint Na i vannet. Alkaliniteten avtok gjennom forsøksperioden fra 24 til -14µeq/l, som også vist i Figur 10.

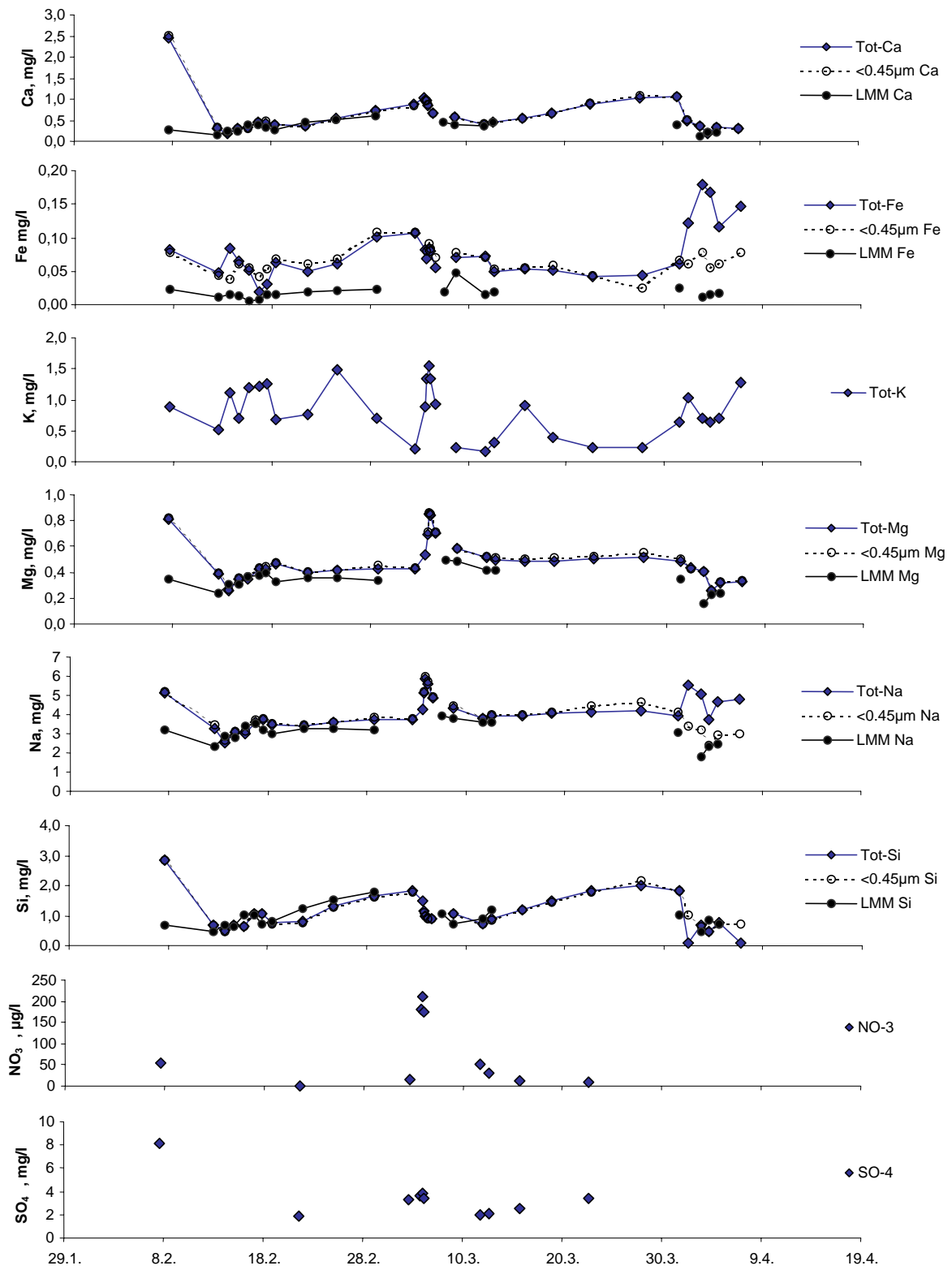
Mg konsentrasjonen var generelt lavere enn 0,5 mg/L med unntak av sjøsaltepisoden hvor konsentrasjonen økte raskt til ca. 1 mg/L. Under flomepisodene uten økning i Cl-konsentrasjon var det en reduksjon av Mg-konsentrasjonen. Tilnærmet all Mg foreligger som lavmolekylære former. Ca konsentrasjonen var generelt lavere enn 1 mg/L. Under flomepisodene avtok Ca konsentrasjonen raskt (ca 0,5 mg/L). Etter flomepisoden økte konsentrasjonen av Ca sakte før den igjen avtok raskt ved neste episode. Generelt ble det observert rask reduksjon under flomepisoden og treg oppbygging av konsentrasjonen etter en flomepisode.

Si konsentrasjonen var generelt lavere enn 2 mg/L. Silisium varierte som Ca; rask reduksjon (ca 1 mg/L) under flomepisoden og treg oppbygging av konsentrasjonen etter en flomepisode.

Konsentrasjon av Fe var generelt lavere enn 200 µg/L. Under flomepisodene uten tilførsel av sjøsalter økte generelt konsentrasjonen av jern, spesielt under den siste flomepisoden. Under sjøsaltepisoden avtok konsentrasjonen av jern i vannet. En betydelig andel av Fe forelå som kolloidale forbindelser og kun en liten fraksjon forelå som LMM former. Under den siste flommen økte konsentrasjonen av partikulært bundet jern signifikant.



Figur 8. Variasjon av vannnivå, pH, temperatur og konsentrasjon av TOC og DOC, aluminium i vann, konsentrasjon av Al på gjeller og glukose i blodet gjennom forsøksperioden i Espedalselva.



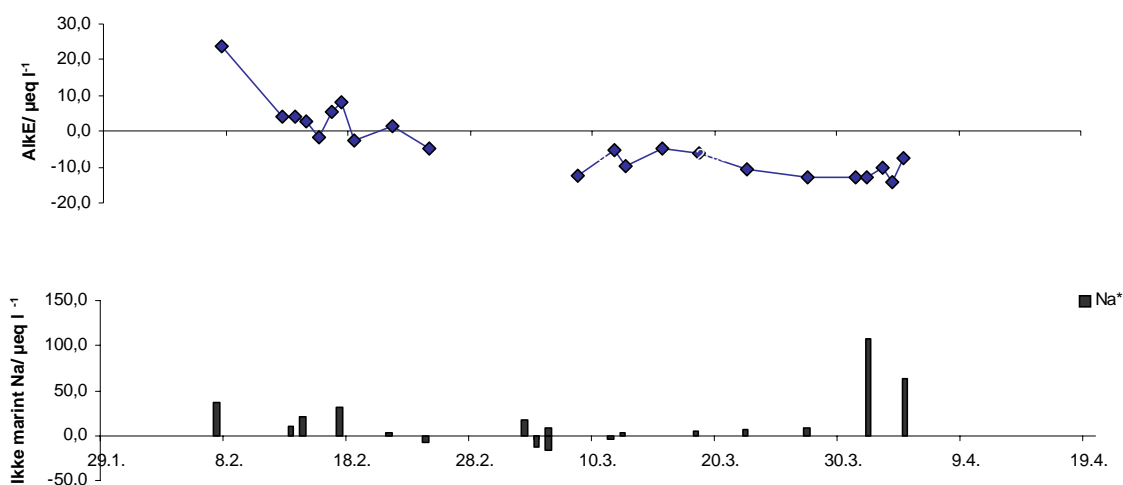
Figur 9. Konsentrasjoner av Ca, Mg, K, Na, Si, Fe, NO₃ og SO₄ i Espedalelva i forsøksperioden.

Konsentrasjonen av NO_3 var normalt mindre enn $50 \mu\text{g/L}$, men konsentrasjonen økte momentant under sjøsaltepisoden til nærmere $225 \mu\text{g/L}$ før den igjen avtok langsomt til bakgrunnsnivået. Konsentrasjon av SO_4 var høy (8 mg/L) helt i starten av forsøksperioden og var under 4 mg/L ved andre måletidspunkt.

Aluminium

Konsentrasjonen av total Al varierte innenfor $60 - 110 \mu\text{g/L}$. Konsentrasjonen var lavest rett før flomepisodene og økte under flommen, før konsentrasjonen avtok sakte før neste flom. Tilnærmet alt aluminium forelå på en form som var mindre enn $0,45 \mu\text{m}$. En stor andel forelå som kolloidalt Al.

Konsentrasjonen av reaktivt Al var tilnærmet stabil rundt $60-80 \mu\text{g/L}$, og mindre enn $30 \mu\text{g/L}$ forelå som positivt ladet Al. Konsentrasjonen av positivt ladet Al økte under flomepisodene i februar og spesielt under sjøsaltepisoden i mars. En betydelig andel av positivt ladet Al forelå som LMM former.

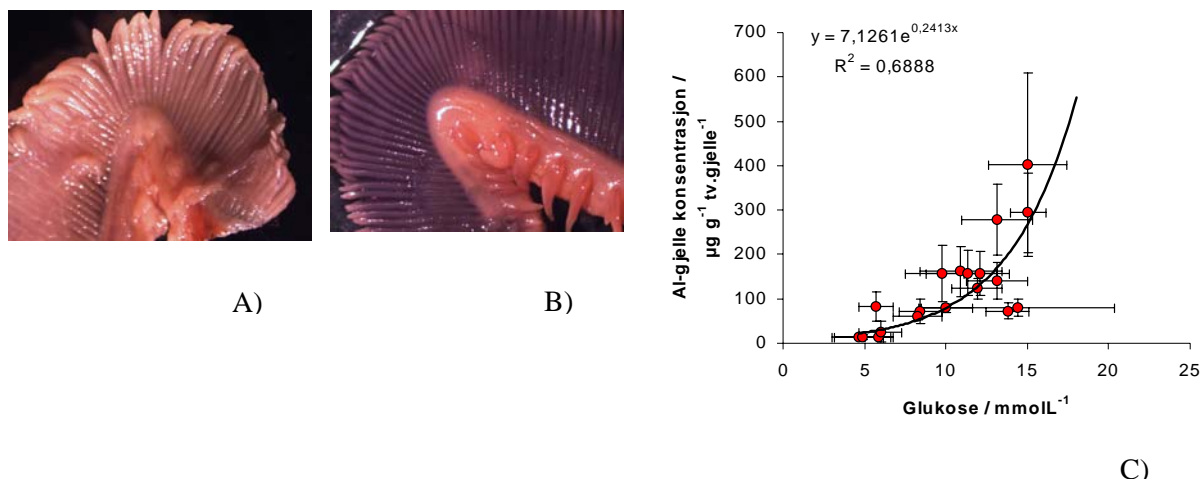


Figur 10. Alkalitet og ikke-marint Na gjennom forsøksperioden.

5.2.2 Fiskerespons

Det ble ikke observert dødelighet ved eksponering av laksesmolt til ellevannet (temperaturen i ellevannet var lav og nær $0 \text{ }^\circ\text{C}$). Før de enkelte flomepisodene ble fisken eksponert til ellevannet i hhv. 5, 3 og 7 dager. Det ble målt økt avsetning av Al på fiskegjeller under flomepisoden i forhold til perioden før flom (Figur 11). Etter to av flomepisodene avtok ikke Al konsentrasjonen på gjellene til fisken, men avsetningen fortsatte derimot å øke (observasjoner ca 1 uke etter flom). I flommen med tilførsel av sjøsalter ble det registrert en spesiell høy avsetning av Al på gjellene til fisken.

Under og etter hver flomepisode ble det også registrert økt fysiologisk stress, dvs. økt glukosenivå i blodet. Nivået av glukose avtok ikke etter flomepisoden (observasjoner ca. 1 uke etter flom). Generelt var det en god korrelasjon mellom glukosenivåene og konsentrasjonen av Al på gjellene ($r^2=0,69$).



Figur 11. Lysmikroskopibilde av gjellebue behandlet med Zolochrome Azurine A) før flom B) etter flom, hvor blått indikerer Al avsatt på fiskegjelle. C) korrelasjon mellom glukose målt i blod og Al avsatt på gjeller.

5.3 Resultater fra Lona

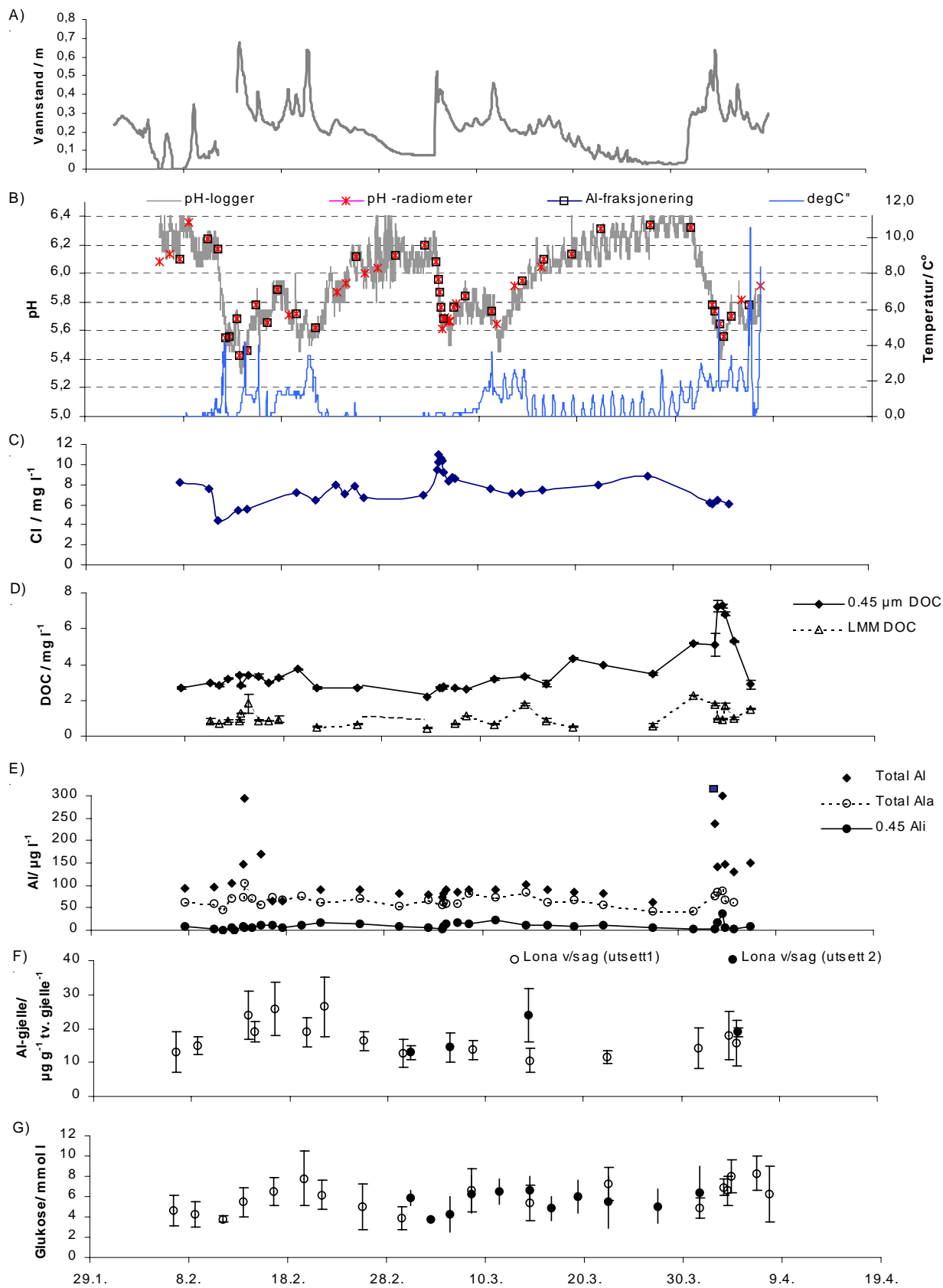
5.3.1 Vannkjemi

I Lona ble det ved to flomepisoder målt økt vann-nivå og redusert pH og under en flomepisode ble det målt økt vann-nivå, redusert pH og økt Cl konsentrasjon (fra 6 til 11 mg/l), som vist i Figur 12. Ved enkelte flomepisodene økte vanntemperaturen til 6 °C. Generelt var det også en økning i vanntemperaturen fra februar (0 °C) til mars, da temperaturen var rundt 1 °C på dagtid. I mars var det en klar døgnvariasjon i vanntemperaturen; fra 0 °C natterstid til 1 °C dagtid.

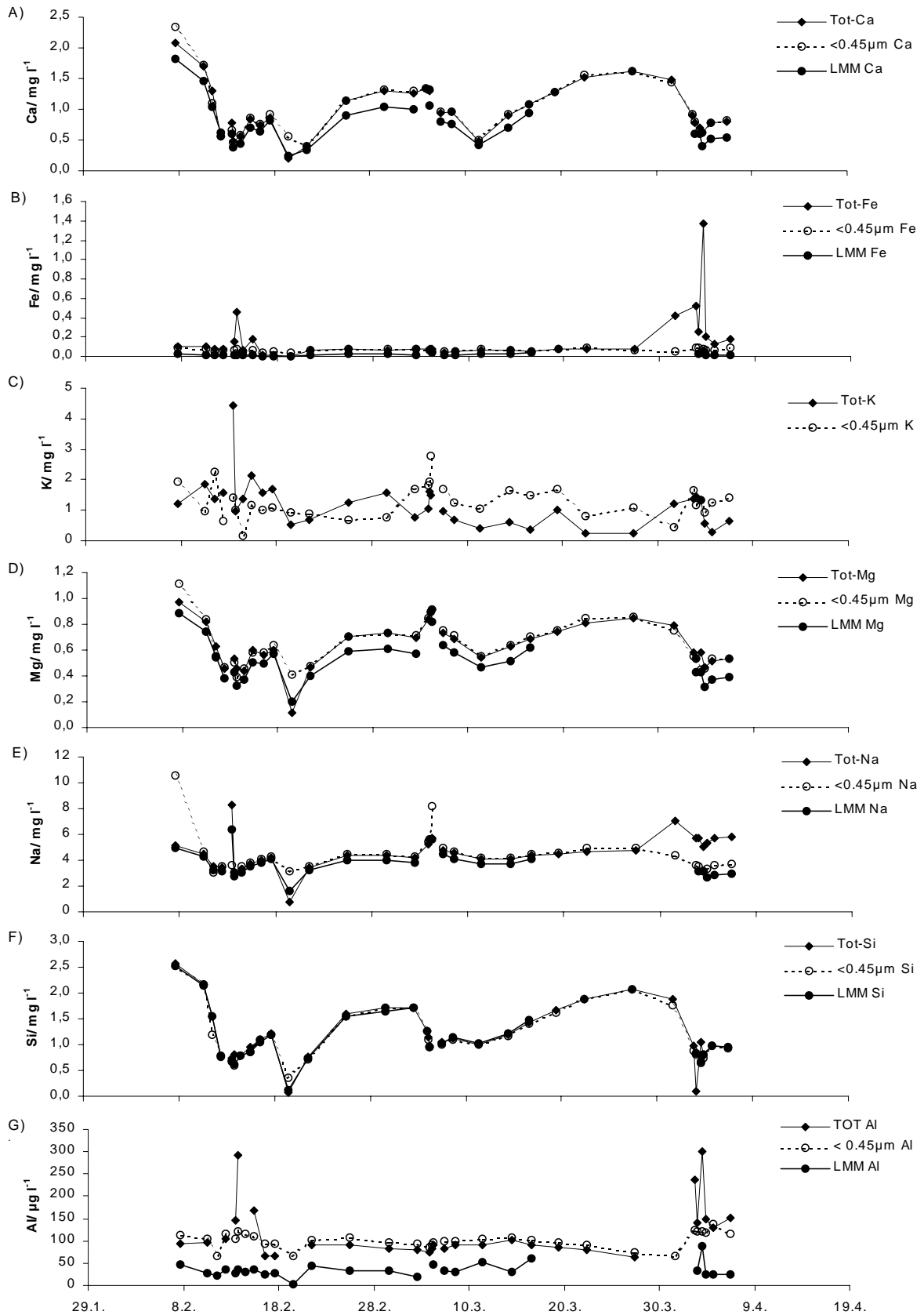
Konsentrasjonen av løst organisk karbon (DOC) var relativt konstant rundt 3-4 mg/L (Figur 12). Generelt økte DOC-nivået under flomepisodene og dessuten økte DOC-konsentrasjonen fra 20. mars og utover. I den siste flomepisoden i Lona var det ikke markfrost, og det ble målt en betydelig økt konsentrasjon av løst organisk karbon, som avtok igjen etter flomtoppen. En betydelig andel av det organiske materialet forelå som kolloidalt materiale og kun en mindre fraksjon (ca. 1-1,5 mg/L) forelå som LMM former.

Alkalitet ble målt til 40-60 µeq/L før de enkelte flomepisodene, som vist i Figur 14. Under flomepisodene avtok alkalitet raskt og det tok lang tid å bygge opp nivået etter flomepisodene. Under siste flomepisode ble det målt negativ alkalitet på -12 µeq/L.

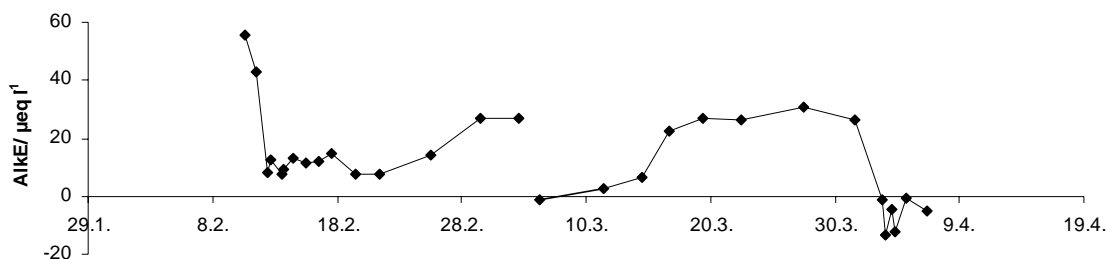
Konsentrasjonen av Na varierte gjennom forsøksperioden, men var generelt lavere enn 5 mg/l (Figur 13). Gjennom hele forsøksperioden var Na relativt godt korrelert med Cl konsentrasjonen, men spesielt under første og siste flomepisode uten bidrag av sjøsalter ble det målt betydelig økning i ikke marint Na (Figur 16). Det var betydelig mobilisering av Na under flomepisoder uten bidrag av sjøsalter. I motsetning til første flomepisode, økte Na i form av partikulært Na under siste flomepisode.



Figur 12. A-G) Variasjon i vannivå, pH, temperatur, konsentrasjon av TOC/DOC og aluminium i vann, konsentrasjon av Al på gjeller og glukose i blodet til fisken gjennom forsøksperioden i Lona.



Figur 13. A-G) Konsentrasjonsvariasjon av Ca, Fe, K, Mg, Na, Si og Al i Lona gjennom forsøksperioden.



Figur 14. Alkalitet i Lona gjennom forsøksperioden.

Konsentrasjonen av Mg varierte gjennom forsøksperioden og konsentrasjonen var generelt lavere enn 0,8 mg/L, som vist i Figur 13. Konsentrasjonen av Mg avtok under flomeepisodene med unntak av under sjøsaltepisoden. Generelt var det bidrag av ikke-marint Mg gjennom hele forsøksperioden, også under sjøsaltepisoden (Figur 16). Ca 20 % av Mg forelå som kolloidalt materiale i vannet, mens det resterende var lavmolekylære former.

Konsentrasjonen av Ca varierte gjennom forsøksperioden slik som Mg. Konsentrasjonen var generelt lavere enn 1,5 mg/L (Figur 13). Konsentrasjonen av Ca avtok under flomeepisodene som for Mg, med unntak av sjøsaltepisoden hvor Ca var konstant i første fase for deretter å avta. Med unntak av sjøsaltepisoden var det generelt et bidrag av ikke-marint Ca gjennom hele forsøksperioden. Opptil 25 % av Ca forelå som kolloidalt materiale, mens det resterende forelå på LMM former.

Konsentrasjonen av SO_4 varierte gjennom forsøksperioden (Figur 15). Generelt var konsentrasjonen 2-4 mg/L, med avtak under flomeepisoden uten sjøsalter og økning under flomeepisoden med sjøsalter med etterfølgende reduksjon. Under sjøsaltepisoden var det et betydelig bidrag av SO_4 , men før sjøsaltepisoden og lang tid etter sjøsaltepisoden var opptil 50 % av SO_4 fra ikke-marine kilder. Generelt gjennom hele forsøksperioden var det bidrag av SO_4 fra ikke-marine kilder (Figur 16).

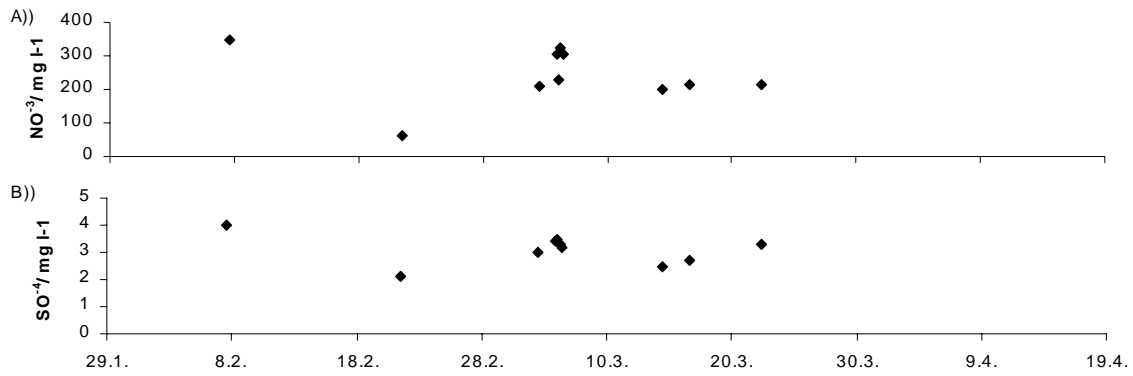
Konsentrasjonen av NO_3 varierte gjennom forsøksperioden (Figur 15), fra 61 til 350 mg/L. Konsentrasjonen av NO_3 økte under sjøsaltepisoden, mens NO_3 avtok under den første flomeepisoden.

Konsentrasjonen av Si varierte mellom 0,5 og 2,5 mg/L gjennom forsøksperioden (Figur 13). Generelt avtok konsentrasjonen raskt under flomeepisodene og økte sakte etter flommen. Konsentrasjonen av Fe varierte under forsøksperioden (Figur 13). Generelt var konsentrasjonen av Fe lavere enn 0,1 mg/L, men betydelig høyere konsentrasjon ble målt under første og siste flomepisode (uten sjøsalt) med økt vannføring og økt partikkeltransport i elva. Økt konsentrasjon av Fe under siste flomepisode kunne tilskrives binding til partikulært materiale; ingen økning i kolloidal eller LMM former. Resultatet indikerer at Fe tilføres vannmassene som partikler og at det ikke er signifikant mobilisering av Fe fra partikulære og kolloidale overflater som følge av sjøsaltepisoden.

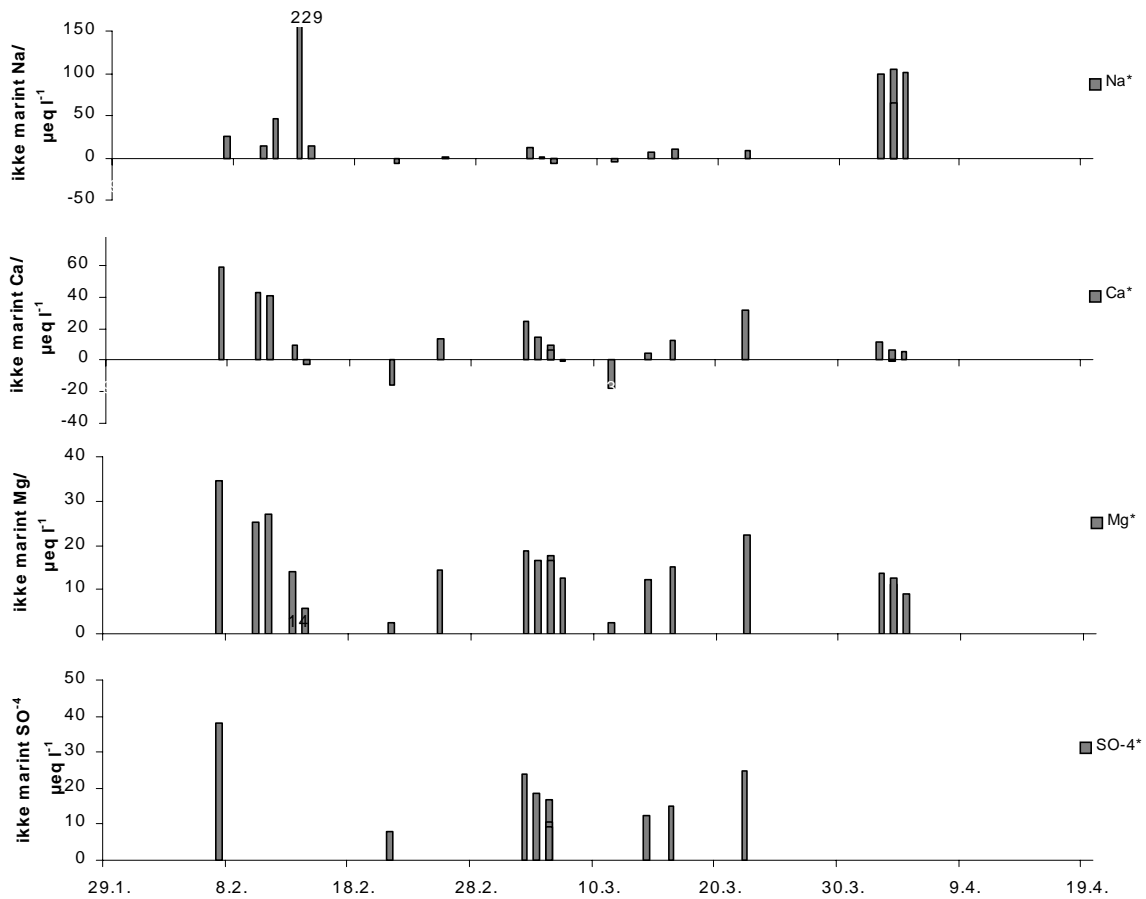
Aluminium

Konsentrasjonen av Al varierte gjennom forsøksperioden (Figur 12 og Figur 13). Konsentrasjonen av Al fulgte på mange måter Fe; konsentrasjonen av partikulært Al økte i første og siste flomepisode. Forøvrig forelå Al som kolloidale og LMM former. Al var hovedsakelig assosiert til kolloidalt materiale; ca 70% . Generelt økte konsentrasjon av kolloidalt og LMM Al under flomeepisodene.

Tilnærmet alt kolloidalt Al var reaktivt, men kun en liten fraksjon forelå som positivt ladete former. Konsentrasjonen av reaktivt og positivt ladet Al økte noe under flomeepisodene, som vist i Figur 12.



Figur 15. Variasjon av NO_3^- og SO_4^{2-} i Lona gjennom forsøksperioden.

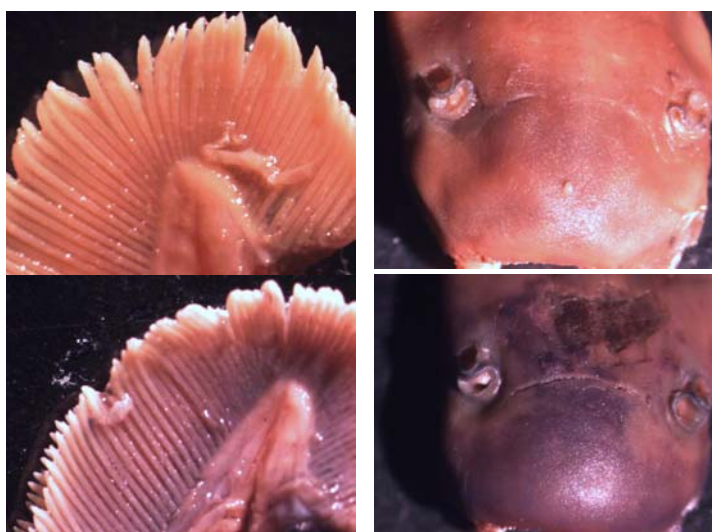


Figur 16. Konsentrasjon av ikke-marint Na^+ , Ca^+ , Mg^+ og SO_4^{2-} i Lona under forsøksperioden.

5.3.2 Fiskerespons

Det ble ikke observert dødelighet ved eksponering av laksesmolt til ellevannet i Lona. Før flomeepisodene i Lona ble fisken eksponert hhv. 5, 3 og 29 dager til ellevannet. Den første fiskegruppen ble eksponert gjennom hele forsøksperioden og den andre fiskegruppen ble eksponert gjennom de to siste flomeepisodene. Generelt var det ingen betydelig avsetning av Al på gjellene til fisken i Lona under forsøksperioden ($< 40\mu\text{g Al/g tv gjelle}$). Generelt økte Al konsentrasjonen noe under flomeepisodene og fisk eksponert til vannkvaliteten "lang" tid hadde lavere konsentrasjoner enn fisk eksponert kort tid.

Etter hver flomepisode ble det registrert en tendens til økt stress hos fisken, målt som økt glukose i blodet. Nivået av glukose avtok igjen etter flomeepisodene til verdier før flommen (Figur 12). Ved bruk av fargeteknikk med zolochrome azurine ble det registrert økt blåfarge på nesevevet etter flomeepisoden i forhold til perioden før flom, se Bilde 1. Dette indikerer økt avsetning av Al på nesevev til fisken under flomeepisoden.



Bilde 1.

Lysmikroskopibilde av en gjellebue og snute til fisk farget med zolochrome azurine. Fisken er prøvetatt 4. mars, ca. ett døgn før sjøsaltepisoden. Bildene viser ingen avsetning av Al.

Lysmikroskopibilde av en gjellebue og nesevev til fisk farget med zolochrome azurine (prøvetatt 6. mars ca. 4 timer etter flomtoppen). Bildene viser en liten avsetning av Al på gjellen og betydelig avsetning på nesevevet til fisken.

5.4 Innblanding av sjøvann til ellevannet fra Lona

5.4.1 Vannkvalitet og fiskerespons

Ellevannet fra Lona ble blandet med sjøvann, og fisk ble kontinuerlig eksponert til denne blandingen i fem uker (1. mars til 7. april). Perioden omfattet de to siste flomeepisodene, hhv 5. mars og 3. april, hvor det ble målt økt konsentrasjon av organisk materiale og økt konsentrasjon av Al assosiert til partikulært og kolloidalt materiale i ellevannet. I forsøksperioden var blandingsforholdet mellom ellevann og sjøvann relativt konstant (Figur 17B). Saliniteten i blandingssonen var $5,6\pm 0,9\text{‰}$ og pH ca. 6.9. Salinitet og pH varierende noe gjennom døgnet pga flo-fjære effekter og påfølgende endringer i sjøvannets salinitet. I tillegg ble pumpe slangen for sjøvann skiftet flere ganger under forsøket pga slitasje og redusert pumpeeffekt, noe som medførte endringer i salinitet og pH. Vanntemperaturen varierte også gjennom døgnet (ca. 1 °C) og økte gjennom forsøksperioden ($0,5\text{--}3\text{ °C}$).

I blandingen varierte Al-konsentrasjonen gjennom forsøksperioden (Figur 17C) mellom 73 og 173 $\mu\text{g/L}$ og fulgte variasjonen i ellevannet. Der ble de høyeste konsentrasjonene målt under flom og de laveste konsentrasjoner ble målt ved lav vannføring. I motsetning til i ellevannet forelå tilnærmet alt Al på størrelsesformer mindre enn $0,45\mu\text{m}$ og mer enn 50% av Al forelå som LMM Al kort tid etter

blanding av sjøvann. Figur 18 viser en tydelig økning av LMM Al_{chelex} etter blanding med sjøvann. Total konsentrasjonen av Al var tilnærmet konstant før og etter blanding (ca. 15 minutter etter blanding). Etter økning i ionestyrke var det en betydelig mobilisering av LMM positivt ladet Al, mens sedimentasjonen (aggregering av kolloider) var ubetydelig.

En stor andel av Al i blandingen forelå som reaktivt Al (30-50 %) og positivt ladet Al (chelex reaktiv), som vist i Figur 18B. Konsentrasjonen av Al som måles som Al_{chelex} var betydelig høyere enn konsentrasjonen som måles som $Al_{anion} \cdot Al_{chelex}$ antas derfor å foreligge som positive LMM former.

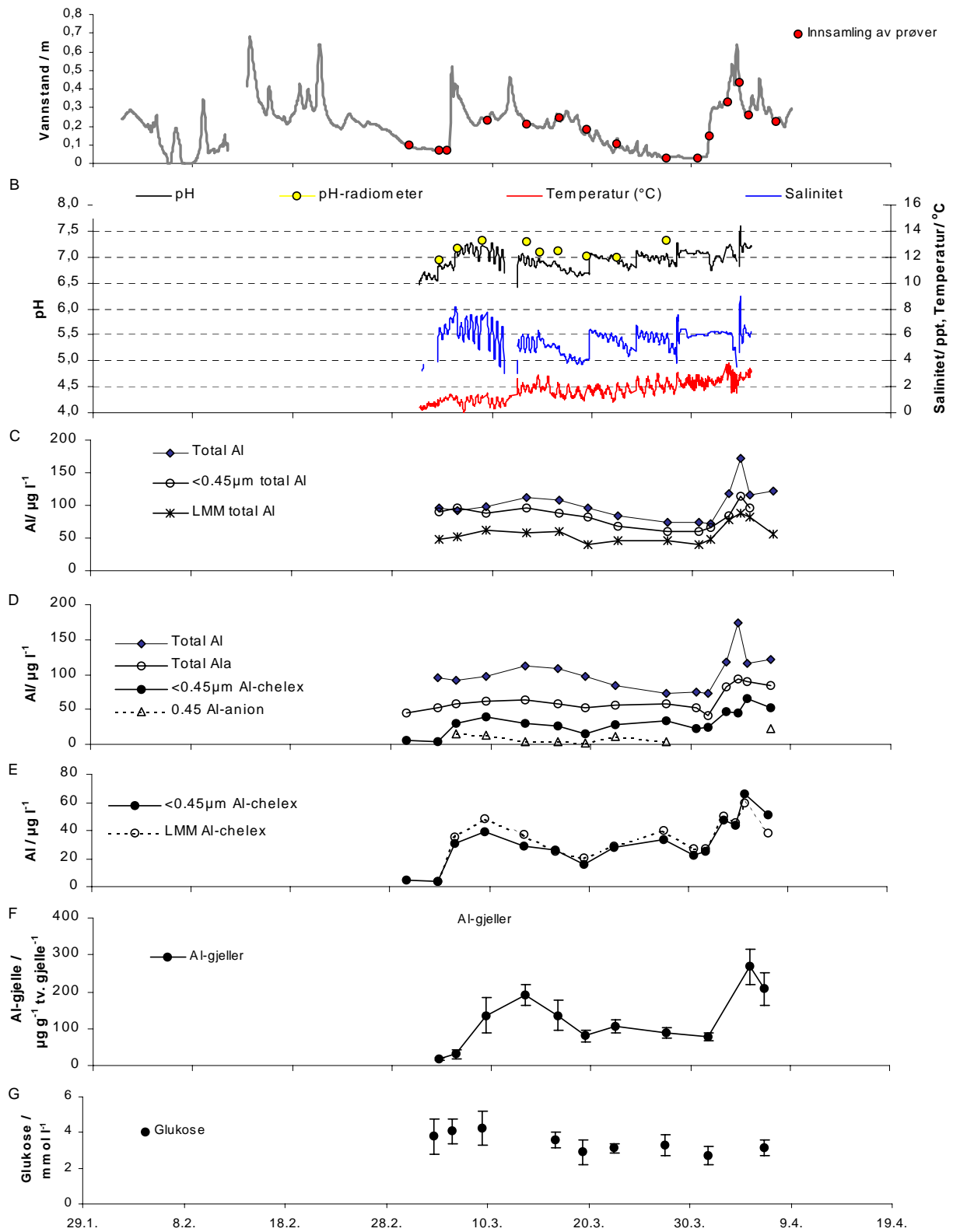
Etter blanding med sjøvann økte avsetningen av Al på gjellene sammenlignet med gjeller fra fisk eksponert til Lonavann (Figur 17F). Al avsetningen økte betydelig under flomeepisoder og avtok med økende tid etter flomeepisoden. Al-avsetningen økte imidlertid igjen under neste flomepisode. Økningen av positivt ladet Al i denne produserte ”estuarieblandsonen” sett i forhold til Lonavannet og den økte mobiliseringen under flomepisodene samsvarer bra med den avsetningen av Al på gjellene som ble målt i ”estuarieblandsonen”. Det ble ikke registrert økning i fysiologisk stress på fisken i forsøksperioden (Figur 17G). Al avsetningen på fiskegjellene medførte ikke målbare endringer i glukose.

Målte konsentrasjoner av Fe gjennom forsøksperioden er vist i Figur 19A. Konsentrasjoner av Fe varierte mellom 76 og 181 $\mu\text{g/L}$ og variasjonen fulgte Fe-nivåene i elvevannet, med høyeste konsentrasjoner målt under flom og hvor de laveste konsentrasjoner ble målt ved lav vannføring i elva. I ”estuarieblandsonen” økte konsentrasjonen av kolloidalt og LMM Fe i forhold til i Lona. Ca. 50 % av Fe forelå som partikulært materiale og kun 20 % forelå som lavmolekylære former. Dette indikerer at mobiliseringen av Fe var betydelig mindre enn mobiliseringen av Al etter innblanding av sjøvann til elvevannet.

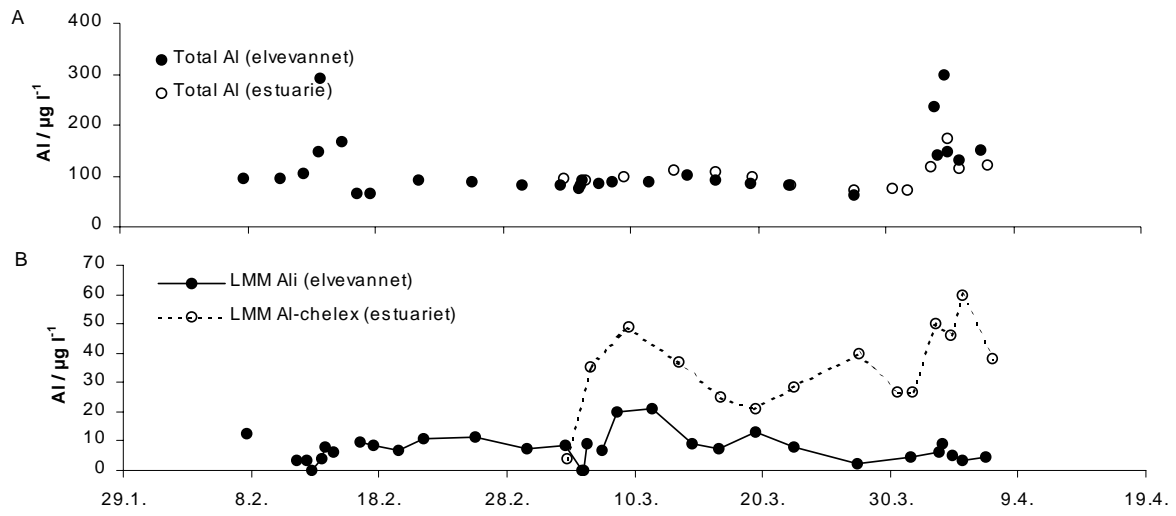
En betydelig andel av det Fe som forelå som LMM former var positivt ladet (chelex reaktivt). Konsentrasjonen av det Fe som måles som Fe_{chelex} var betydelig større enn konsentrasjonen av det som måles som $Fe_{anion} \cdot Fe_{chelex}$ antas derfor å foreligge som positive LMM former (Figur 19B). Konsentrasjonen av LMM positivt ladete Fe tilstandsformer økte noe under flomepisodene (Figur 19C), men økningen var mindre enn for Al.

Konsentrasjonen av Fe målt i fiskegjeller var relativt konstant, rundt 200-300 $\mu\text{g/g}$ tv gjelle. Dette tilsvarer normalverdier hos fisk (Fe tilskudd fra blod og hemoglobin i gjeller). Fe konsentrasjonen i gjellene varierte systematisk (Figur 19D), noe som indikerer vannkvalitetseffekter. Fe konsentrasjonen økte betydelig under flomeepisoder og avtok med økende tid etter flomeepisoden. Fe -avsetningen på gjeller økte signifikant under siste flomepisode hvor det var en betydelig økning av Fe assosiert til partikulært materiale. Dette indikerer mobilisering av Fe fra partikkeloverflater etter innblanding av sjøvann, økt reaktivt Fe i vannet og avsetning på fiskegjeller. Fe avsetningen på fiskegjellene medførte verken alene eller i tillegg til Al konsentrasjonene på gjeller målbart stress, dvs. ingen endring i glukose-nivået i blodet (Figur 19E).

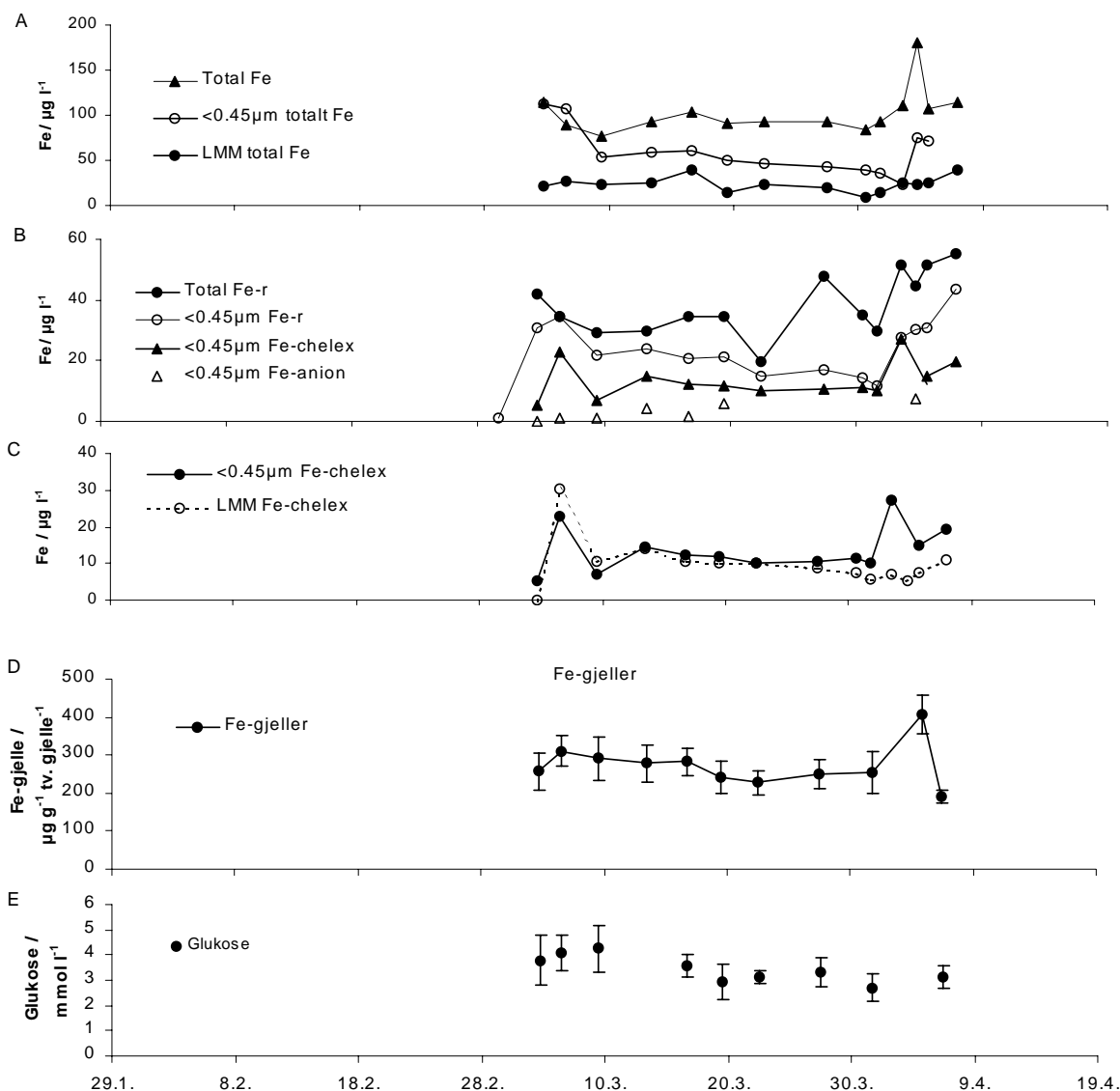
Generelt er det en god korrelasjon mellom konsentrasjonen av Al og Fe etter blanding av sjøvann med Lonavann, men konsentrasjonen av kolloidale og LMM reaktive former var høyere for Al enn for Fe.



Figur 17. A) Tidspunkt for innsamling av prøver i "estuarieblandsonen" i forhold til vannivå i Lona, B-G) variasjon av salinitet, pH, temperatur, konsentrasjon av Al tilstandsformer og påfølgende avsetning av Al på gjeller og glukose i fiskeblod.



Figur 18. A-B) Konsentrasjon av total Al og $\text{Al}_{\text{chelax}}$ i vannet før og etter tilsetning av sjøvann.



Figur 19 A-E) Tilstandsformer for Fe i vann, påfølgende avsetning av Fe på gjeller og glukose i blodet til eksponert fisk målt ved enkelte tidspunkt i den produserte "estuarieblandsonen".

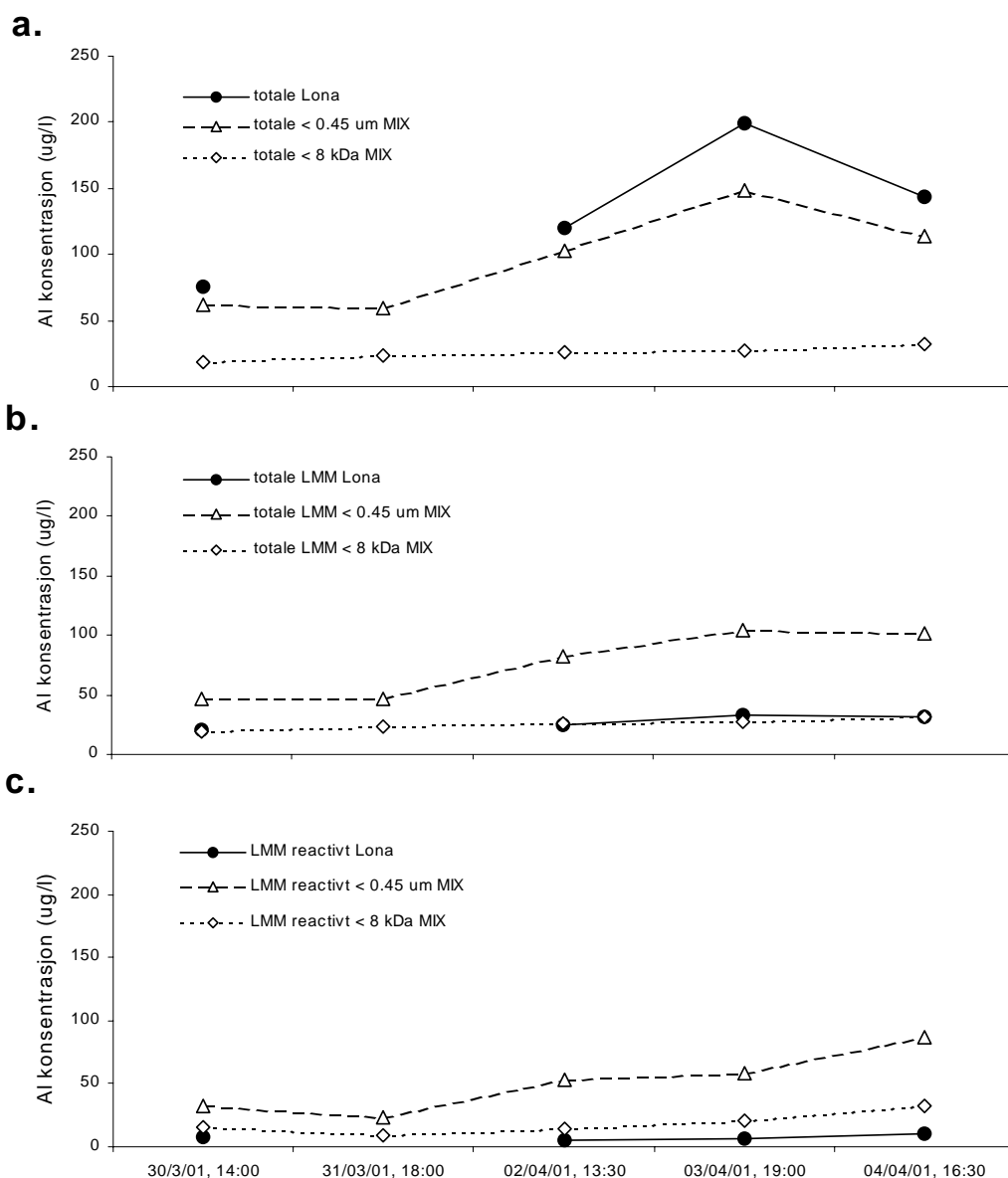
5.4.2 Mobilitetsforsøk i "estuarieblandsonen"

De samme trendene som ble registrert i "estuarieblandsonen" ble også observert i korttidsforsøket hvor fraksjonert elvevann ble blandet med sjøvann. Forsøkene ble utført parallelt under den siste flomeepisoden. Elvevannet inneholdt betydelige mengder partikulært og kolloidalt materiale gjennom hele eksponeringsperioden (150 t) og en stor andel av Al og Fe var assosiert til dette materialet. Kontrollgruppen (fisk i Lonavann) var derfor eksponert til den høyeste Al-konsentrasjonen.

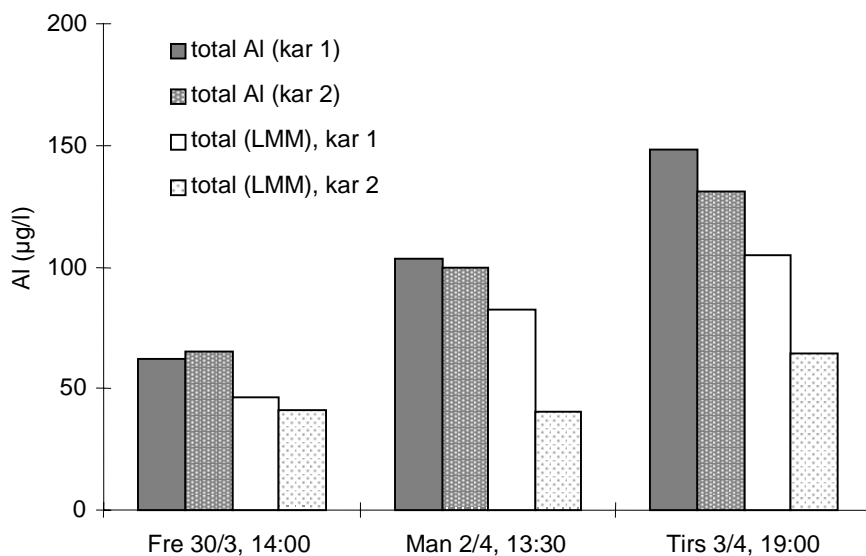
Ved filtrering (0,45 μm) av elvevannet ble ca 10-20 % Al fjernet og ved ultrafiltrering (8 kDa) ble mer enn 90 % av Al fjernet. Total konsentrasjon av Al (Figur 20A) var derfor høyere i renne A, som inneholdt kolloidalt Al, enn i renne B, hvor kolloidalt materiale ble fjernet. Begge renner hadde samme konsentrasjon av LMM Al. pH i Lona var ca. 6,3 før flomeepisoden og falt til ca. 5,8 under flommen. Etter innblanding av sjøvann var saliniteten relativt konstant, rundt 5,5 - 6 ‰ og pH var ca. 7 i renne A og B. Gjennom flomeepisoden økte konsentrasjonen av kolloidalt Al i renne A, mens konsentrasjonen av LMM Al var relativt stabil i renne B.

Etter blanding av filtrert Lonavann med sjøvann (Renne A) økte konsentrasjonen av LMM Al og reaktivt LMM Al i renne A, og var betydelig høyere enn i renne B og i Lonavannet (Figur 20, B og C). Dette indikerer mobilisering av LMM Al i reaktive former fra kolloidoverflater etter blanding med sjøvann. Mobiliseringen av LMM Al var størst under flomtoppen.

Figur 21 viser total konsentrasjonen av Al og LMM Al rett etter blanding (kar 1) og ca. 30 – 60 minutter etter blanding (kar 2) for renne A, som inneholdt kolloidalt materiale. Før flomepisoden (30. mars) var konsentrasjonen av total Al og totalt LMM Al tilnærmet lik i kar 1 og 2, dvs. ingen endring i blandsonen som følge av økt tid etter blanding. Ved økt vannføring (2.-3. april) økte konsentrasjonen av total Al og LMM Al i kar 1. Samtidig avtok konsentrasjonen av LMM Al i kar 2, dvs. LMM Al som var tilstede rett etter blanding av sjøvann hydrolyserte til HMM Al former i løpet av ca. 30 minutter (total konsentrasjonen av Al var tilnærmet konstant).



Figur 20. Total konsentrasjon av Al (a), total LMM Al (b) og reaktiv LMM Al (c) i Lona, Renne A (< 0.45 μm MIX) rett etter blanding med sjøvann og Renne B (< 8 kDa MIX) rett etter blanding med sjøvann, ved forskjellige tidspunkt under forsøket.



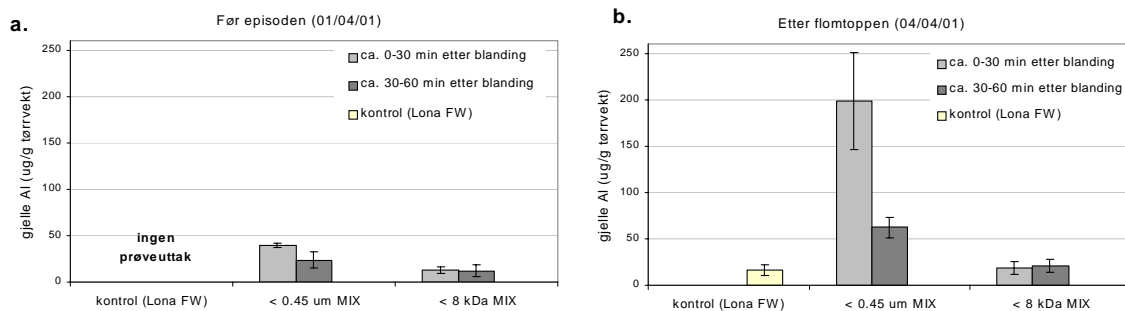
Figur 21. Konsentrasjonen av total Al og LMM Al i kar 1 (kort tid etter blanding) og kar 2 (ca. 30 – 60 minutter etter blanding) for renne A. flom episoden

Figur 22 presenterer konsentrasjonen av Al i gjeller for fisk eksponert til hhv Lonavann, Renne A (kar 1 og 2) og Renne B (kar 1 og 2) før flommen og etter flomtoppen. Avsetning av Al på gjeller var relativt lav før flomepisoden (ca 75 t eksponering). Under flomtoppen økte avsetningen av Al på gjeller betydelig i renne A og konsentrasjonen var signifikant høyere for fisk i Renne A enn for fisk i Renne B og i Lona. Dette viser at Lonavann inneholdt lite gjellereaktivt Al, at LMM Al fra Lona ikke dannet reaktivt Al ved blanding med sjøvann i noe stor grad (Renne B) og at Al bundet til kolloidalt materiale transportert i Lona under flommen ble mobilisert i kontakt med sjøvann og dannet gjellereaktivt Al (Renne A).

Konsentrasjonen av Al på fiskegjeller avtok med tiden etter blanding i Renne A. Dette indikerer at gjellereaktive tilstandsformer av Al, som var til stede rett etter blanding, ble mindre reaktive overfor gjeller med tiden etter blanding. Dette stemmer overens med resultatene knyttet til kationebytting hvor positivt ladet LMM Al (LMM chelex reaktivt Al) avtok ca 30 – 60 % fra kar 1 (ca. 0 – 30 min. etter blanding) til kar 2 (ca. 30 – 60 min etter blanding). Til tross for avsetning av Al på gjeller ble det ikke påvist målbart fysiologisk stress (glukose) på fisken i noen renner under forsøket.

Resultatene samlet viser at episodiske flomepisoder og økt transport av Al bundet til kolloidalt, sannsynligvis organisk, materiale har biologisk relevans for estuarine økosystemer. Al bundet til kolloidalt materiale mobiliseres i kontakt med sjøvann og danner positivt ladet LMM Al. Ved pH 7 hydrolyserer disse forbindelsen til reaktive HMM Al former som avsettes på fiskegjeller. De reaktive HMM Al formene har begrenset levetid. Avsetningen av Al på fiskegjeller inntre derfor kort tid etter at flomvannet er blandet med sjøvann i estuariesoner.

Resultatene er i god overensstemmelse med den kunnskap vi har om Al kjemi i ustabile blandsoner og effekt på fisk. Resultatene viser også at flomepisoder er dynamiske, at kunnskap om prosesser som skjer under flomepisoder må baseres på *in situ* teknikker og at fiskegjeller kan benyttes som indikator på den økte konsentrasjonen av reaktivt Al i vann som kan inntre under flomepisoder.



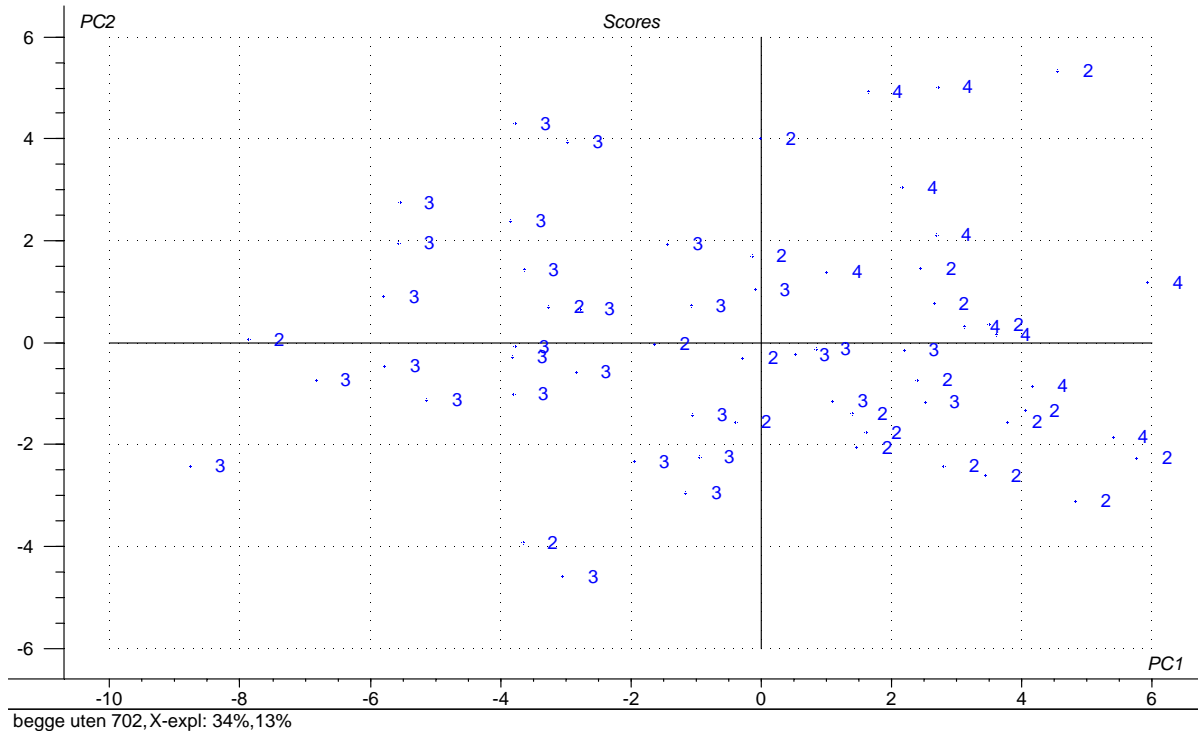
Figur 22. Konsentrasjoner av Al i gjeller (n = 5) fra fisk eksponert til forskjellige vannkvaliteter a) før flomepisoden tidlig i april og b) etter flomtoppen.

5.5 PCA-analyse

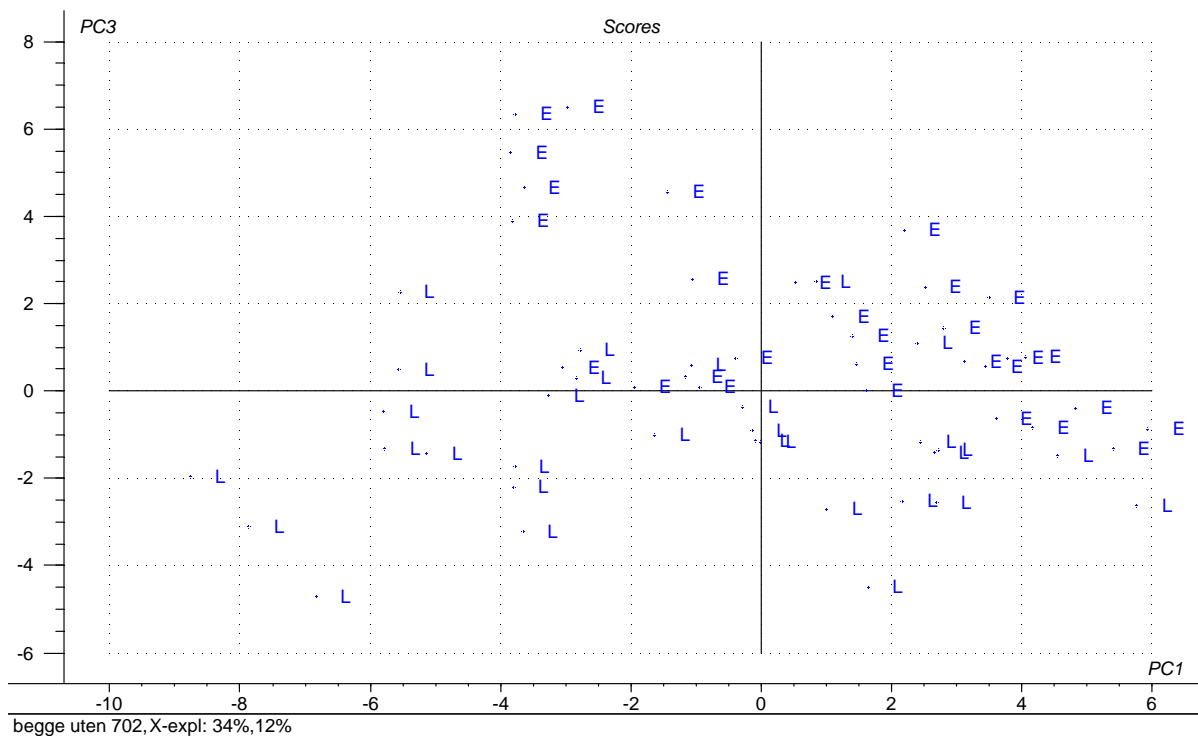
Det er utført en prinsippal komponent analyse (PCA) på et datasett som består av 64 prøvesett av elvevann innsamlet i Espedalselva og Lonaelva fra 8. februar til 9. april 2001. Prøven fra 7. februar skiller seg ut fra resten av materialet, trolig pga lang tid fra forrige nedbørsperiode, og er derfor ikke tatt med i analysen. Materialet omfatter 37 variable, hvorav 10 variable representerer ulike fraksjoner av Al. Variable i prøver fra Lona og Espedalen er analysert hver for seg og sammen i tre ulike PCA analyser.

Basert på hele datamaterialet (begge vassdrag; Figur 23) forklarer prinsippal komponentene 1 og 2 (akse 1 og 2), 47 % av variansen. Hovedtrenden i materialet kan forklares med prøvetakingstidspunkt, hvor PC1 (34% av variasjonen) representerer sjøsaltepisodene. Alle prøver fra mars, som stort sett er påvirket av sjøsaltepisoden, er samlet til venstre i figuren. Prøver som ble innsamlet i februar og april, dvs. under flomepisoder uten økt saltkonsentrasjon, ligger samlet til høyre i figuren.

Basert på hele datamaterialet (begge vassdrag; Figur 24) forklarer prinsippal komponentene 1 og 3 (akse 1 og 3), 46 % av variansen. Hovedtrenden i Figur 24 kan forklares med prøvetakssteds, hvor PC3 (12% av variasjonen) skiller mellom Espedalen og Lona. Prøvene fra Lona er plassert lengst nede og mange mot venstre, mens prøver fra Espedalen er plassert i øvre del og mange i øvre, venstre hjørne.



Figur 23. PCA-plott av prinsipal komponentene 1 og 2 basert på hele prøvematerialet fra 8. februar til 9. april og 37 variable. Punktene 2, 3 og 4 representerer prøver innsamlet i hhv februar, mars og april. PC1 og PC2 representerer 47 % av variansen i datamaterialet.



Figur 24. PCA-plott av prinsipal komponentene 1 og 3 basert på hele prøvematerialet fra 8. februar til 9. april og 37 variable. Punktene "L" og "E" representerer prøver innsamlet i hhv Lona og Espedalen. PC1 og PC3 representerer 46 % av variansen i datamaterialet.

Basert på datamaterialet fra Lona (Figur 25) forklarer prinsipal komponentene 1 og 2, 56 % av variansen. Variablene som følger de samme trender ble samlet i følgende grupper:

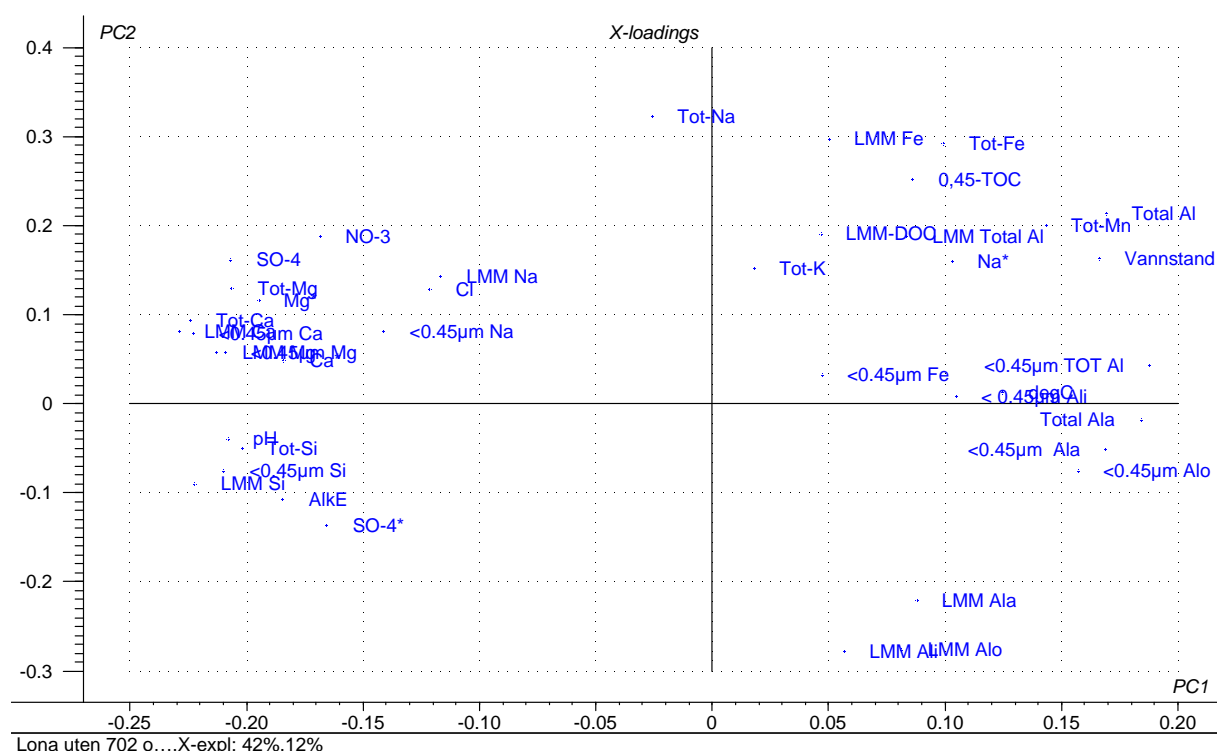
- 1) SO₄, NO₃, Ca, Mg og Na-former som er mindre enn 0,45µm
- 2) pH, Si, Alk
- 3) Fe, total Al, totalt Mn, organisk materiale, vannstand
- 4) Al former som er mindre enn 0,45µm
- 5) LMM Al former

Total konsentrasjonen av K og Na følger ikke de samme trender som de øvrige gruppene.

Resultatene viser at pH, sjøsalter og vannføring har stor betydning (PC1, forklarer 42% av variansen). Sjøsalter er representert ved basekationer (Ca, Mg, Na) og Cl, samt NO₃-økningen under sjøsaltepisoden. Vannføring er representert ved Al, Fe, vannstand, temperatur og organisk materiale.

Resultatene viser også at partikulært og kolloidalt materiale har betydning (PC2, forklarer 12 % av variansen), representert ved gruppen totalkonsentrasjoner av Al og Fe, organisk materiale øverst til høyre og gruppen LMM aluminium nederst til venstre.

PCA analysene viser også at den høye konsentrasjonen av basekationer i vannet samvarierer med lave konsentrasjoner av LMM Al tilstandsformer, og at lav pH, alkalitet og Si-nivåer samvarierer med høy vannstand og høye konsentrasjonen av organisk materiale, samt partikulært bundet Al og Fe.



Figur 25. PCA-plott av prinsipal komponentene 1 og 2 basert på hele prøvematerialet fra 8. februar til 9. april og 37 variable fra Lona. PC1 og PC2 representerer 56 % av variansen i datamaterialet.

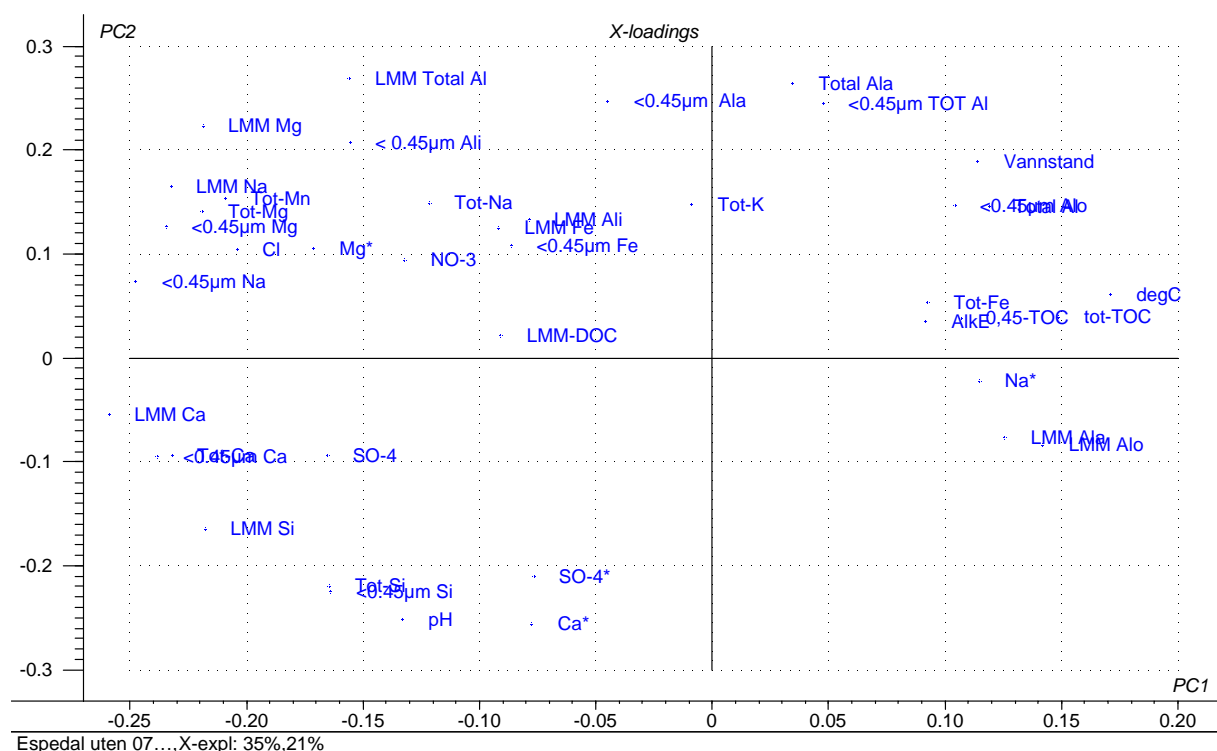
Basert på datamaterialet fra Espedalselva (Figur 26) forklarer prinsipal komponentene 1 og 2, 56 % av variansen. Variablene som følger de samme trender ble samlet i følgende grupper:

- 1) SO₄, Ca, pH, Si
- 2) Mg, Mn, <0.45µ Na, Cl, NO₃, Ali
- 3) Alk, totalt Fe, total Al og Alo, organisk materiale, vannstand, og temperatur

Totalkonsentrasjonen av K følger ikke de samme trender som de angitte gruppene.

Resultatene viser at sjøsalter og vannføring har stor betydning (PC1, forklarer 35% av variansen). Sjøsalter er representert ved basekationer (Ca, Mg, Na), og Cl. Vannføring er representert ved vannstand, temperatur, organisk materiale, partikulært og kolloidalt Al, samt partikulært Fe. Resultatene viser også at pH (og lave nivåer av SO₄ og Si) og Al konsentrasjonene (totale og <0.45µm Ala) har betydning (PC2, forklarer 21 % av variansen).

PCA analysene viser også at høy vannføring, partikulært og kolloidalt Al og partikulært Fe, samsvarer med lav pH og lave konsentrasjoner av Ca og Si. Lav pH og lave konsentrasjoner av Ca og Si kan skyldes fortykning under flom.



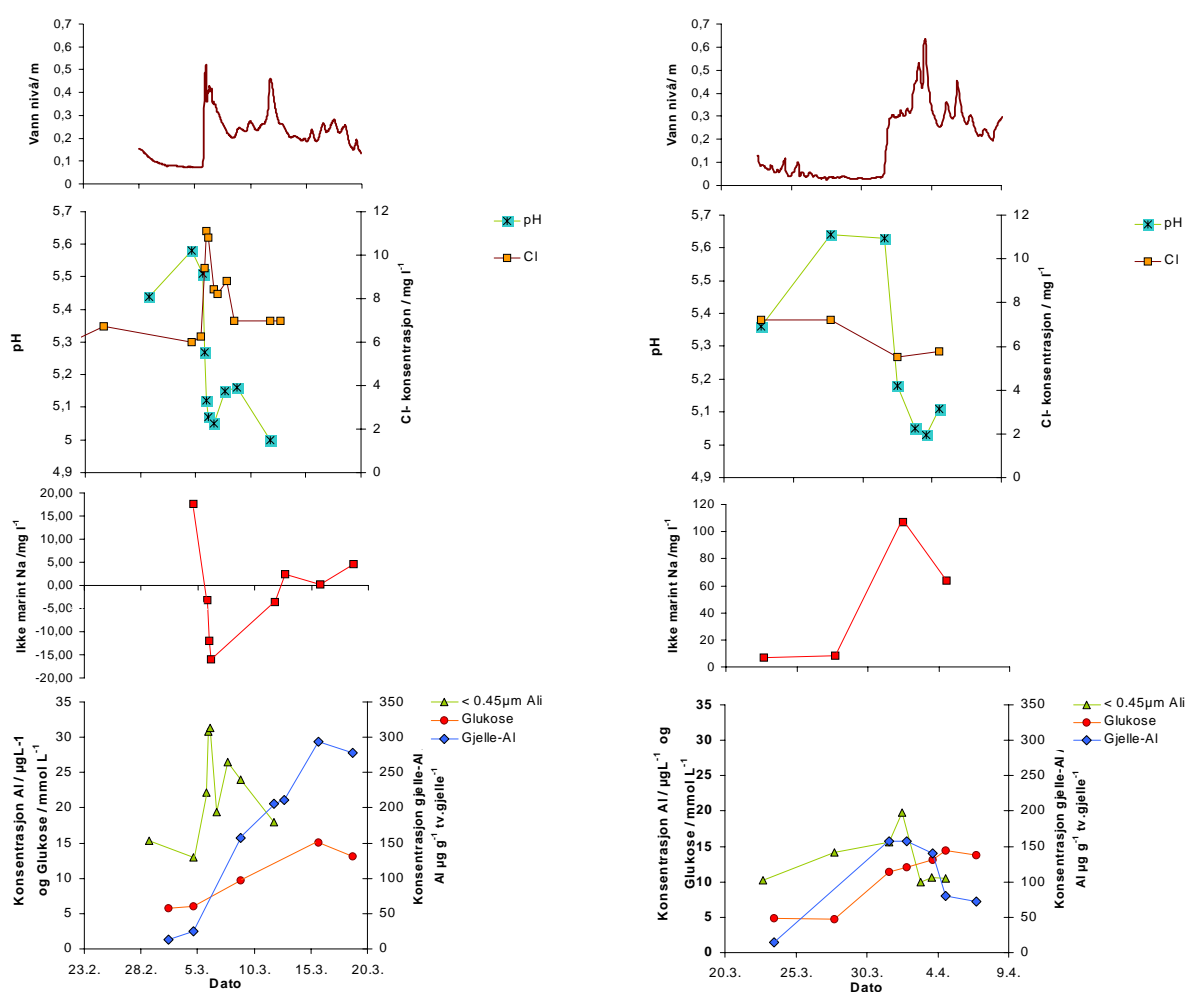
Figur 26. PCA-plott av prinsippal komponentene 1 og 2 basert på hele prøvematerialet fra 8. februar til 9. april og 37 variable fra Espedalen. PC1 og PC2 representerer 56 % av variansen i datamaterialet.

Hele datamaterialet viser generelt at det er samvariasjon mellom pH og konsentrasjonen av Si som tidligere vist for Mandalsvassdraget og Tovdalsvassdraget. PCA analysen indikerer at økende konsentrasjoner av sjøsalter i den forsured og humusfattede Espedalselva bidrar til økt konsentrasjon av Ali. Økt vannføring i den mer humusrike Lona bidrar til økt partikkel- og kolloidaltransport av Al og Fe, som har betydning for estuarieblandsonen.

6. Diskusjon og konklusjon

Til tross for en kald og nedbørfattig vinter på Vestlandet viser resultater fra Espedalen en klar sammenheng mellom stor nedbørintensitet med høy konsentrasjon av sjøsalter og økt mobilisering av positivt ladet Al. Dette medførte økt avsetning av Al på fiskegjeller og økt fysiologisk stress. Sammenhengen er klart vist i Figur 27A, men også ved PCA analyse.

Stor nedbørintensitet uten økt sjøsaltkonsentrasjon bidro til økt vannføring, men både konsentrasjonen av Cl og pH avtok i vannet (Figur 27B). Dette er trolig en fortyningseffekt. At konsentrasjonen av ikke-marint Na økte kan delvis skyldes at noe av det Na som ble ionebryttet under sjøsaltepisoden ble mobilisert igjen. Dette forholdet er vist av Hindar et al. (1995), kan strekke seg over lang tid (mange måneder) og kan trolig gi en forholdsvis stor variasjon i vannkvalitet i og med at Na-utlekking på denne måten representerer en bufferreaksjon. Også for Ca og Mg ble dette vist i våre forsøk.



Figur 27. A) Samvariasjon under sjøsaltepisoden mellom økning i vannføring, økt Cl- konsentrasjon og påfølgende reduksjon i ikke-marint Na. Det resulterte i lavere pH, økning av positivt ladet Al, med påfølgende økt avsetning av Al på gjeller og økt glukose hos fisken. B) Tilsvarende samvariasjon i en "normal" nedbørperiode. Økt vannføring, lavere pH og reduksjon i Cl-konsentrasjon skjedde parallelt med økning i ikke-marint Na, svak økning av positivt ladet Al (før reduksjon) og med påfølgende avsetning og reduksjon av Al på gjeller, samt økt glukosenivå i fisken.

Økende vannføring og lav pH bidro til en viss mobilisering av positivt ladet Al, men konsentrasjonen av reaktiv LMM Al avtok raskt pga fortykning. Økning av total konsentrasjoner av Al og Fe i flomvannet var forårsaket av økt partikkeltransport under flomepisoden.

Under sjøsaltepisoden bidro økte konsentrasjoner av salter og H^+ til ionebytting av Al som var reversibelt bundet til overflater av partikler og kolloider.

I et parallelt forsøk utført i Hovlandselva (nabofelt til Espedalselva) ble det ikke registret tilsvarende mobilisering av Al og påfølgende avsetning av Al på gjellene til fisken (Kroglund et al, in prep). Hovlandelva drenerer et terrengkalkingsområde og konsentrasjonen av LMM Al i bekkevann og Al på fiskegjeller var lavere under begge flomepisoder her. Det viser at terrengkalking kan redusere effektene av sjøsaltepisoder og sur nedbørsepisoder.

Resultatene fra et mer humøst vassdrag som Lona viser samme trender som for Espedalselva; økt deponering av marint Na, Ca og Mg i nedbørfeltet under sjøsaltepisoden, som igjen mobiliseres under neste flomepisode. I vassdraget økte konsentrasjon av Al i vannet under flomepisodene pga økt transport av Al bundet til kolloidalt og partikulært materiale. Konsentrasjoner av positivt ladet Al var lav. Positivt ladet Al ble ikke mobilisert i nevneverdig grad under flomepisodene, avsetning av Al på fiskegjeller var lav, mens avsetningen av Al på nesevev var klart målbar.

Avgiftningen av Al i Lona skyldes sannsynligvis de relativt høye konsentrasjonene av organisk materiale og at Al sannsynligvis var bundet til humus eller fulvusforbindelser i flomvannet (målt som TOC og DOC).

Nedbørepisodene som ble observert i dette feltstudiet er imidlertid betydelig mindre enn hva som normalt finner sted og som kan finne sted i vassdragene. Dette feltstudiet kan betraktes som et "best case" tilfelle, som viser at flom som følge av små sjøsaltepisoder ikke medfører negative vannkvalitetseffekter på fisk i Lona. Det er imidlertid registrert betydelig høyere konsentrasjoner av Al avsatt på fiskegjeller i Lona under tidligere flomepisoder. Under større og hyppigere flomepisoder i et humøst vassdrag som Lona kan mobiliseringen av Al derfor være betydelig og kan være betydelig større enn det som ble observert i Espedalselva.

I et estuarieområde blandes elvevann med sjøvann. De utførte eksperimentene med blanding av elvevann fra Lona og sjøvann viser at sjøvannet med høy ionestyrke og høy pH bidro til at Al som er bundet til kolloidalt materiale i Lonavannet ble mobilisert fra kolloidoverflater. Dermed oppstod en blandings- eller blandsoneneffekt ved at Al-formene endres. Vi tror dette er parallelt med det som faktisk skjer i selve estuariet, og har i teksten antydning at dette kjemisk sett representerer estuarieblandsonen.

Konsentrasjonen av reaktivt Al (LMM Al og LMM Al_{chel}) i denne "blandsonen" økte i forhold til i Lonavannet og Al ble avsatt på fiskegjeller. Konsentrasjonen av reaktivt Al (Al_{chel}) i vannet og påfølgende avsetning av Al på fiskevev avtok med økende tid etter blanding av elvevann og sjøvann. Dette indikerer at gjellereaktivt Al, som kan dannes i estuarieblandsonen, har en viss levetid. Under flomepisodene økte konsentrasjonen av Al bundet til partikulært og kolloidalt materiale i Lona og dette bidro til betydelig høyere mobilisering av Al i estuarieblandsonen og økt avsetning av Al på fiskegjellene. Etter flomtoppene avtok vannføringen og derved transporten av partikulært og kolloidalt materiale som igjen medførte mindre mobilisering av Al, og konsentrasjonen av Al i vann avtok raskt mens gjellenivået avtok saktere.

I estuarieblandsonen pågår det minst tre prosesser: 1) Mobilisering av reversibelt bundet Al på overflater av partikler/kolloider som følge av økt ionestyrke og ionebytting, 2) hydrolyse og polymerisering av positivt ladet Al (Al mobilisert fra kolloidoverflater) som følge av økt pH og 3) aggregering og partikkelvekst som leder til utfelling og sedimentering pga høy ionestyrke. Prosjektet

har framskaffet eksperimentelle data som bekrefter 1) og 2), mens 3) ikke er påvist da total konsentrasjonen av Al i vannet var relativt konstant 1 t etter blanding.

Under den siste flomeepisoden, hvor det ikke var markfrost, bidro store nedbørmengder og påfølgende overflateavrenning til økt partikkeltransport og økt konsentrasjon av partikulært Fe. Det ble ikke påvist mobilisering av LMM Fe under flomepisodene. Ved blanding av flomvann og sjøvann ble Fe også mobilisert fra partikkeloverflater, konsentrasjon av positivt ladet Fe i vannet økte og det ble målt økt avsetning av Fe på fiskegjeller.

Økt avsetning av Fe på gjeller under flom kan prinsipielt ha 2 årsaker; 1) Under flom mobiliseres reaktivt Al. Al avsettes på fiskegjeller og bidrar til at oksygenopptaket over gjellene reduseres. Fisken pumper mer blod over gjellene for å øke oksygenopptaket og økt Fe innhold i gjellene kan skyldes økt innhold av blod (Fe i hemoglobin) i gjellene. 2) Under flom øker transporten av Fe bundet til partikulært materiale. Ved innblanding av sjøvann øker ionestyrken, Fe mobiliseres fra partikkeloverflater og foreligger som reaktive former som avsettes på fiskegjellene. Flomepisodene med stor transport av metaller reversibelt bundet til partikulært og kolloidalt materiale kan derfor bidra til økte konsentrasjoner av reaktive metall-specier i estuariesoner. Selv om vi ikke kan se bort fra 1) økt hemoglobinninnhold i gjeller under Al-stress er 2) reaktive Fe tilstandsformer dannet etter blanding mellom flomvann og sjøvann påvist.

I estuarieblandsonen gir økt konsentrasjonen av Al og Fe i gjelleepiteliet til fisk ikke målbart fysiologisk stress, målt som glukose. Dette samsvarer med tidligere estuarieblandsonedeforsøk hvor en ikke har kunnet påvise økning i fysiologiske stressparametren, som plasma-Cl, hematokrit og glukose som følge av Al-avsetning på gjeller (Rosseland et al. 1998). Dødelighet ble observert ved 800 µg Al /g tv gjelle. I dette arbeidet ble det målt opptil 330 µg Al/g tv gjelle. Det er også observert stor dødelighet i akvakulturanlegg i fjord flere km fra vassdrag i flom, hvor fisken hadde betydelig avsetning av Al på gjellene (Bjerknes et al. in prep).

I elva ble Al avsatt på nesevev. Dette er også vist i tidligere undersøkelser utført i vassdrag i det samme området (Hindar et al. 2000b). Avsetning av Al i neseepitelet til fisken antas å bidra til nedsatt følsomhet overfor vannkvaliteten, som igjen kan bidra til økt feilvanding.

Disse forsøkene viser økt fysiologisk stress hos fisk i vassdrag og i simulerte estuarieblandsoner under sjøsaltepisoder. Dette kan trolig bidra til negative biologiske effekter på kystøkosystemet og på akvakulturproduksjon som er plassert i kystområder nær utløp av store vassdrag.

7. Anbefalinger

Resultatet fra dette arbeidet viser at flommer, særlig i forbindelse med sjøsaltepisoder, i episodisk forsurede vassdrag kan mobilisere Al. Det kan medføre avsetning av Al på fiskegjeller og neseepitel, samt gi økt fysiologisk stress. Selv i en periode med kaldt vær, forholdsvis små flommer og begrenset deposisjon av sjøsalter ble disse forholdene godt dokumentert. Samme mønster er funnet for jern.

- For å få en bedre dokumentasjon på hvor store disse effektene kan være under mer typiske forhold på Vestlandet, anbefales at det utføres tilsvarende forsøk i Lona, Espedalselva og også i Hovlandselva (terrengkalket) under minst en stor sjøsaltepisode.

Resultatet fra dette arbeidet viser at estuarieblandsoner i tilknytning til forsurede vassdrag kan være særlig utsatt under sjøsaltepisoder. Vi kan ikke se bort fra økt fysiologisk stress pga mobilisering av Al og også Fe.

- Det anbefales at et nytt estuarieforsøk utføres i Lona under minst en stor sjøsaltepisode slik at omfanget av de påviste effekter kan estimeres under mere typiske forhold på Vestlandet. Det anbefales at mer følsomme stressindikatorer enn glukosemålinger inkluderes i nye forsøk.

8. Referanser

- Barnes, R.B. 1975. The determination of specific forms of aluminium in natural water. *Chem. Geol.*, 15: 177-191.
- Driscoll, C. T. 1984. A procedure for the fractionation of aqueous aluminium in dilute acidic water. *Intern. J. Environ. Anal. Chem.* 16: 267-283.
- Hindar, A., Henriksen, A., Kaste, Ø., Tørseth, K. 1995. Extreme acidification in small catchments in southwestern Norway associated with a sea salt episode. *Water, Air Soil Pollut.* 85: 547-552.
- Hindar, A., Henriksen, A., Tørseth, K. and Semb, A. 1994. Acid water and fish death. *Nature* 372: 327-328.
- Hindar, A. og Kroglund, F. 2000. Forsuringssituasjonen for laks i Vosso og vurdering av behov for ytterligere kalkingstiltak. NIVA-rapport 4255-2000. 41 s.
- Hindar, A. og Skancke, L.B. 2001. Terrengkalking av Hovlandsdalen i Guddalsvassdraget-effekter på vannkvalitet i 1999, s. 47-61. I: Terrengkalkingsprosjektet. Årsrapporter 1998 og 1999. DN-notat 2001-1.
- Hindar, A., Teien, H.-C., Salbu, B., Lierhagen, S. og Oug, E. 2000. Faktorer som påvirker aluminiumskjemien og dermed vannkvalitetsmålet for laks i Tovdal- og Mandalsvassdraget. NIVA-rapport 4229-2000. 81 s.
- Hindar, A., Åtland, Å., Teien, H.-C., Salbu, B., Johansen, M.-B., Raddum, G.G., Bjerknæs, V. og Skancke, L.B. 2000b. Vannkjemiske og biologiske undersøkelser for å studere mulige forsureningsproblemer i vassdrag i Sogn og Fjordane under flomepisoder i 1999. NIVA-rapport 4256-2000. 88 s.
- Ormerod, S.J. and Jenkins, A. 1994. The biological effects of acid episodes, pp. 259-272. In: Steinberg, C.E.W. and Wright, R.F. (eds.). *Acidification of Freshwater Ecosystems. Implications for the Future.*
- Rosseland, B.O., Salbu, B., Kroglund, F., Hansen, T., Teien, H.-C., Håvardstun, J., Åtland, Å., Østby, G., Kroglund, M., Kvellestad, A., Pettersen, O., Bjerknæs, V., Wendelaar Bonga, S., van Ham, E.H., Lucassen, E., Berntssen, M. H.G., Weinhoven, S. og Lohne, S. 1998. Endringer av metallers tilstandsform i overgangen fra ferskvann til sjøvann (estuarier) og virkningen på laks og marine organismer (Estumix). Sluttrapport for prosjektnr. 108102/122 Marine ressurser og miljø Fagkode: 470- Biofag.

Vedlegg A.

Tabell A1.

Vassdrag	Dato	pH	kond.	AlkE	NO-3	Cl	SO-4	F	TOC	0,45-DOC	LMM-DOC	Total Al	Total Ala	<0.45µm TOT Al	<0.45µm Ala	<0.45µm Alo	< 0.45µm Ali	LMM Total Al	LMM Ala	LMM Alo	LMM Ali
				µeq/l	µg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
Espedalen	07.02.01 15:00	5,72	54,0	24	54	7,7	8,1	0,05	2,2	2,2	1,0	80	70	95	0	41		49	39	26	13
Espedalen	12.02.01 14:30	4,96	33,0	4					3,0	3,4	1,2	81	54	95	55	42	13	49	31	19	11
Espedalen	13.02.01 16:30	4,96	22,0	4		4,2			2,8	3,2	1,2	84	55	77	51	40	12	27	26	18	8
Espedalen	14.02.01 16:00	5,02	20,0	3		4,7			2,8	3,0	1,3	73	58	91	56	43	13	37	20	29	
Espedalen	15.02.01 16:00	5,03	28,0	-2					3,0	3,4	1,4	90	61	100	62	46	16	39	30	20	10
Espedalen	16.02.01 17:30	5,09		5					3,0	3,2	1,3	70	60	89	62	45	18	33	32	23	9
Espedalen	17.02.01 11:30	5,18	21,0	8		5,4			3,1	3,2	1,4	62	66	89	62	49	13	28	33	24	9
Espedalen	18.02.01 11:00	5,07		-3					3,4	1,5	1,2	71	79	103	89	63	26	44	34	24	11
Espedalen	21.02.01 15:00	5,09		1	<1	6,0	1,9	<0,03	3,1	3,3	1,7	81	75	99	69	63		32	49	26	23
Espedalen	24.02.01 16:00	5,22		-5		6,7			3,5	3,1	1,2	82	60	101	62	44	18	47	35	21	13
Espedalen	28.02.01 18:00	5,44							2,9	3,0	1,3	80	61	99	61	45	15	44	36	22	14
Espedalen	04.03.01 15:00	5,58	34,6			15	6,0	3,3	<0,03	2,7	1,1	77	61	88	56	43	13	34	31	19	12
Espedalen	05.03.01 15:30	5,51							2,8			70	62			35					
Espedalen	05.03.01 19:30	5,27				180	9,4	3,6	<0,03	2,4		69		88	63	41	22				
Espedalen	05.03.01 23:30	5,12				210	11,1	3,8	<0,03	2,7		88		99	75	45	31				
Espedalen	06.03.01 3:30	5,07				175	10,8	3,4	<0,03	2,8		94		107	75	44	31				
Espedalen	06.03.01 15:30	5,05					8,4		2,5			87		104	66	47	19				
Espedalen	07.03.01 15:30	5,15					8,8		2,6						66	40	26				
Espedalen	08.03.01 19:00	5,16	38,2	-12					3,2	3,7		89	64	102	67	43	24	47	33	20	14
Espedalen	11.03.01 18:30	5,00		-5	51	7,0	2	<0,03	3,1	3,4	1,6	94	71	100	63	45	18	62	39	21	17
Espedalen	12.03.01 16:30	5,03	35,2	-10	31	7,0	2,1	<0,03	2,9	3,6	1,5	89	65	100	68	44	23	46	36	17	19
Espedalen	15.03.01 17:30	5,20		-5	11	7,1	2,5	<0,03	3,1	3,4		92	63	105	64	46	17	49	34	21	13
Espedalen	18.03.01 17:00	5,30	40,5	-6		7,1			2,7	3,0		81	63	92	56	40	16				
Espedalen	22.03.01 16:00	5,36	38,5	-11	8	7,2	3,4	<0,03	3,3	3,7		81	56	89	59	49	10		27	19	8
Espedalen	27.03.01 17:00	5,64	38,0	-13		7,2			3,0	2,8	2,1	64	45	56	48	34	14		29	16	13
Espedalen	31.03.01 13:00	5,63		-13					3,0	3,6	1,4	74	55	91	55	40	16		27	17	10
Espedalen	01.04.01 12:00	5,18	29,7	-13		5,5			3,6	3,8	2,0	93	67	101	71	51	20	43		22	
Espedalen	02.04.01 19:30	5,05	32,2	-10					3,6	3,9	1,4	102	66	104	57	47	10		24	17	7
Espedalen	03.04.01 14:30	5,03	19,7	-14					3,5	3,8	1,1	110	51	93	52	41	11	20	15	8	7
Espedalen	04.04.01 13:00	5,11	24,3	-7		5,8			3,4	3,9	1,4	110	59	106	62	51	11	33	21	12	9
Espedalen	06.04.01 17:00								4,7	3,8	1,6	101	70	115	76	59	17	32	28	17	10

Tabell A2.

Vassdrag	Dato	Tot-Ca mg/l	<0.45µm Ca mg/l	LMM Ca mg/l	Tot-Fe mg/l	<0.45µm Fe mg/l	LMM Fe mg/l	Tot- K mg/l	Tot- Mg mg/l	<0.45µm Mg mg/l	LMM Mg mg/l	Tot-Na mg/l	<0.45µm Na mg/l	LMM Na mg/l	Tot-Si mg/l	<0.45µm Si mg/l	LMM Si mg/l	Tot-Zn mg/l	Tot- Mn mg/l	Na* µeq/l	Mg* µeq/l	Ca* µeq/l	SO-4* µeq/l
Espedalen	07.02.01 15:00	2,47	2,51	2,08	0,08	0,08	0,03	0,88	0,81	0,82	0,71	5,10	5,22	4,73	2,84	2,86	2,85	<0,01	0,02	36,01	24,2	80,7	126,3
Espedalen	12.02.01 14:30	0,31	0,33	0,27	0,05	0,04	0,02	0,51	0,39	0,40	0,35	3,30	3,44	3,20	0,69	0,69	0,67	<0,01	0,01				
Espedalen	13.02.01 16:30	0,19	0,20	0,16	0,08	0,04	<0,02	1,11	0,26	0,26	0,23	2,55	2,64	2,31	0,50	0,47	0,47	<0,01	0,01	10,03	-1,9	-13,3	
Espedalen	14.02.01 16:00	0,30	0,30	0,25	0,06	0,06	0,02	0,71	0,34	0,36	0,31	3,05	3,10	2,84	0,69	0,67	0,67	<0,01	0,01	20,08	2,7	-10,6	
Espedalen	15.02.01 16:00	0,32	0,31	0,24	0,05	0,05	<0,02	1,19	0,35	0,36	0,30	3,01	3,11	2,81	0,64	0,63	0,63	<0,01	0,01				
Espedalen	16.02.01 17:30	0,44	0,46	0,39	0,02	0,04	<0,02	1,22	0,43	0,44	0,37	3,58	3,71	3,39	1,07	1,05	1,03	<0,01	0,01				
Espedalen	17.02.01 11:30	0,43	0,48	0,39	0,03	0,05	<0,02	1,25	0,43	0,45	0,38	3,71	3,82	3,52	1,05	1,04	1,03	<0,01	0,01	31,12	5,6	-8,1	
Espedalen	18.02.01 11:00	0,39	0,40	0,33	0,06	0,07	0,02	0,68	0,46	0,48	0,40	3,46	3,53	3,23	0,75	0,73	0,74	<0,01	0,01				
Espedalen	21.02.01 15:00	0,35	0,35	0,27	0,05	0,06	0,02	0,77	0,39	0,40	0,32	3,41	3,46	3,03	0,81	0,79	0,80	<0,01	0,01	3,57	-0,7	-15,6	6,6
Espedalen	24.02.01 16:00	0,53	0,52	0,44	0,06	0,07	0,02	1,48	0,42	0,41	0,35	3,57	3,58	3,29	1,30	1,26	1,25	<0,01	0,01		-2,5	-10,4	
Espedalen	28.02.01 18:00	0,73	0,73	0,53	0,10	0,11	0,02	0,71	0,43	0,45	0,35	3,74	3,84	3,24	1,64	1,61	1,53	<0,01	0,01				
Espedalen	04.03.01 15:00	0,87	0,84	0,61	0,11	0,11	0,02	0,20	0,43	0,44	0,34	3,73	3,80	3,20	1,82	1,79	1,78	<0,01	0,01	17,54	2,1	10,6	35,7
Espedalen	05.03.01 15:30	1,02			0,08			0,88	0,54			4,29			1,49			<0,01	0,01				
Espedalen	05.03.01 19:30	0,97	0,98		0,07	0,08		1,34	0,69	0,71		5,14	5,22		1,16	1,13		<0,01	0,02	-3,26	5,4	-3,5	23,3
Espedalen	05.03.01 23:30	0,97	0,98		0,08	0,09		1,54	0,85	0,86		5,89	6,00		0,97	0,97		<0,01	0,02	-11,95	8,6	-12,9	18,1
Espedalen	06.03.01 3:30	0,84	0,88		0,08	0,08		1,34	0,84	0,86		5,63	5,75		0,93	0,91		<0,01	0,02	-15,97	9,8	-17,7	11,4
Espedalen	06.03.01 15:30	0,65	0,67		0,06	0,07		0,93	0,71	0,72		4,87	4,91		0,91	0,87		<0,01	0,02		11,7	-13,8	
Espedalen	07.03.01 15:30																						
Espedalen	08.03.01 19:00	0,56	0,57	0,46	0,07	0,08	0,02	0,23	0,58	0,58	0,50	4,35	4,49	3,93	1,08	1,08	1,05	<0,01	0,01				
Espedalen	11.03.01 18:30	0,41	0,41	0,39	0,07	0,07	0,05	0,16	0,51	0,52	0,49	3,80	3,82	3,77	0,73	0,71	0,73	<0,01	0,01	-3,53	3,7	-18,2	3,1
Espedalen	12.03.01 16:30	0,44	0,45	0,35	0,05	0,05	0,02	0,31	0,50	0,51	0,42	3,94	3,97	3,57	0,89	0,86	0,89	<0,01	0,01	2,48	2,4	-16,6	5,2
Espedalen	15.03.01 17:30	0,54	0,55	0,45	0,05	0,06	0,02	0,91	0,49	0,50	0,41	3,95	3,98	3,57	1,21	1,19	1,21	<0,01	0,01	0,20	1,2	-12,0	13,0
Espedalen	18.03.01 17:00	0,66	0,67		0,05	0,06		0,40	0,49	0,52		4,04	4,14		1,50	1,45		<0,01	0,01	4,51	1,2	-6,1	
Espedalen	22.03.01 16:00	0,87	0,91		0,04	0,04		0,23	0,51	0,53		4,15	4,44		1,82	1,79		<0,01	0,01	6,85	2,3	3,7	31,2
Espedalen	27.03.01 17:00	1,04	1,10		0,04	0,02		0,23	0,52	0,55		4,19	4,64		2,02	2,15		<0,01	0,01	8,02	2,8	12,2	
Espedalen	31.03.01 13:00	1,05	1,05		0,06	0,07		0,63	0,49	0,50		3,94	4,15		1,84	1,84		<0,01	0,01				
Espedalen	01.04.01 12:00	0,50	0,52	0,39	0,12	0,06	0,03	1,02	0,43	0,43	0,35	5,52	3,43	3,05	0,10	1,02	1,04	<0,01	0,01	107,22	5,3	-5,5	
Espedalen	02.04.01 19:30	0,36	0,36		0,18	0,08		0,70	0,41	0,40		5,09	3,20		0,66	0,66		<0,01	0,01				
Espedalen	03.04.01 14:30	0,19	0,21	0,12	0,17	0,05	<0,02	0,64	0,26	0,26	0,16	3,76	2,37	1,79	0,48	0,46	0,47	<0,01	0,01				
Espedalen	04.04.01 13:00	0,33	0,33	0,21	0,12	0,06	0,02	0,70	0,32	0,33	0,22	4,67	2,91	2,33	0,76	0,74	0,85	<0,01	0,01	64,03	-5,4	-15,0	
Espedalen	06.04.01 17:00	0,30	0,32	0,21	0,15	0,08	0,02	1,29	0,33	0,34	0,24	4,81	3,02	2,43	0,07	0,73	0,74	<0,01	0,01				

Tabell A3.

Stasjon	Dato	pH	kond.	AlKE	NO-3	Cl	SO-4	F	0.45 µm		LMM		Total Al	Total Ala	<0.45µm		<0.45µm		LMM Total	LMM Ala	LMM Alo	LMM Ali
									DOC	stdav	DOC	stdav			TOT	Al	Ala	Alo				
					µg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l		mg/l		µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
Lona v/saga	07.02.01 15:00	6,1			350	8,2	4	<0,03	2,7	0,0			94	63	113	65	58	8	47	38	26	13
Lona v/saga	10.02.01 13:00	6,24	46	55		7,6			3,0	0,0	0,9	0,1	95	59	104	57	53	4	27	27		
Lona v/saga	11.02.01 12:30	6,17	34	43		4,4			2,8	0,2	0,7	0,0	46	67	67	38	37	1	22	23	19	4
Lona v/saga	12.02.01 9:30	5,55	31	8					3,2	0,1	0,8	0,1	106	70	117	68	62	6	35	28	24	3
Lona v/saga	13.02.01 12:00	5,68	29	8		5,4			3,4	0,1	0,8	0,1	147	74	104	63	55	9	28	30	26	4
Lona v/saga	13.02.01 18:00	5,43	23	9					2,8	0,1	1,3	0,0	293	105	121	67	60	7	36	33	25	8
Lona v/saga	14.02.01 11:00	5,46	22	13		5,5			3,4	0,0	1,8	0,5	70	70	116	68	61	7	29	30	24	6
Lona v/saga	15.02.01 10:30	5,78	33	11					3,4	0,0	0,9	0,0	169	58	111	56	43	13	34	20	29	
Lona v/saga	16.02.01 12:30	5,66		12					3,0	0,0	0,8	0,0	65	73	93	74	61	13	24	36	26	10
Lona v/saga	17.02.01 14:00	5,89	26	15					3,3	0,1	0,9	0,2	66	69	93	66	60	6	29	33	24	8
Lona v/saga	19.02.01 12:00	5,72	33	7					3,7	0,1			76	67	73	62	11	3	29	22	7	
Lona v/saga	21.02.01 11:00	5,62		8	61	6,5	2,1	<0,03	2,7	0,1	0,5	0,0	91	63	103	67	49	17	44	32	21	11
Lona v/saga	25.02.01 12:30	6,12		14		7,8			2,7	0,0	0,7	0,0	90	71	107	70	56	15	34	35	24	12
Lona v/saga	01.03.01 13:30	6,13		27									82	53	96	51	44	8	32	27	19	8
Lona v/saga	04.03.01 13:00	6,2	41,9	27	210	7,0	3	<0,03	2,2	0,0	0,5	0,1	81	69	92	66	60	6	19	33	24	8
Lona v/saga	05.03.01 22:00	5,96			305	9,5	3,4	<0,03	2,7	0,0			75	56	86	48	45	3				
Lona v/saga	06.03.01 2:00	5,87			230	10,2	3,5	<0,03	2,7	0,0			82	61	92	57	49	8				
Lona v/saga	06.03.01 6:00	5,76		-1	325	10,6	3,3	<0,03	2,8	0,0			91	60	96	63	50	13	47	29	20	9
Lona v/saga	07.03.01 11:00	5,76				8,7			2,7	0,1	0,7	0,1	84	61	100	64	48	16	33	25	19	7
Lona v/saga	08.03.01 15:00	5,84	40,3						2,6	0,0	1,1	0,0	90	81	101	79	63	16	29	40	20	20
Lona v/saga	11.03.01 9:30	5,84	35,4	3		7,6			3,2	0,1	0,7	0,0	90	75	105	72	50	22	52	42	21	21
Lona v/saga	14.03.01 11:03	5,95	35	7	200	7,2	2,5	<0,03	3,3	0,1	1,8	0,1	101	85	108	72	60	12	29	28	19	9
Lona v/saga	16.03.01 15:00	6,1	38,9	23	215	7,5	2,7	<0,03	2,9	0,0	0,9	0,1	91	61	101	61	50	12	60	39	32	8
Lona v/saga	19.03.01 10:00	6,16	44,5	27					4,3	0,1	0,5	0,0	86	67	95	61	52	9		35	22	13
Lona v/saga	22.03.01 10:00	6,31	47,5	27	215	8,0	3,3	<0,03	4,0	0,1			81	56	91	59	49	10		27	19	8
Lona v/saga	27.03.01 11:03	6,34		31					3,5	0,0	0,6	0,1	64	43	75	37	31	6		17	15	2
Lona v/saga	31.03.01 15:30	6,32		26					5,2	0,1	2,3	0,0		43	66	37	35	2		18	13	5
Lona v/saga	02.04.01 18:30	5,78	36,6	-1		6,2			5,1	0,1	1,8	0,1	237	77	124	61	57	3		20	13	6
Lona v/saga	03.04.01 1:00	5,74	29,8	-13		6,0			7,2	0,1	1,0	0,0	141	84	121	87	71	17	34	28	19	9
Lona v/saga	03.04.01 13:00	5,65	29,3	-5		6,5			7,3	0,1	0,9	0,0	300	89	121	97	61	36	89	46		
Lona v/saga	03.04.01 21:00	5,56	29,1	-12					6,8	0,1	1,7	0,1	149	68	120	61	55	6	25	13	8	5
Lona v/saga	04.04.01 17:00	5,7	28,7	-1		6,1			5,3	0,1	1,0	0,1	130	62	137	57	55	2	26	14	11	3
Lona v/saga	06.04.01 11:00	5,78	29,5	-5					2,873	0,109	1,521	0,036	151		117	91	81	10	25	33	28	5

Tabell A4.

Stasjon	Dato	Tot-Ca mg/l	<0.45µm Ca mg/l	LMM Ca mg/l	Tot-Fe mg/l	<0.45µm Fe mg/l	LMM Fe mg/l	Tot-K mg/l	<0.45µm K mg/l	Tot-Mg mg/l	<0.45µm Mg mg/l	LMM Mg mg/l	Tot-Na mg/l	<0.45µm Na mg/l	LMM Na mg/l	Tot-Si mg/l	<0.45µm Si mg/l	LMM Si mg/l	Tot-Zn mg/l	Tot-Mn mg/l	Na* µeq/l	Mg* µeq/l	Ca* µeq/l	SO-4* µeq/l
Lona v/saga	07.02.01 15:00	2,09	2,34	1,83	0,10	0,10	0,02	1,22	1,94	0,97	1,11	0,89	5,14	10,53	4,95	2,57	2,53	2,53	<0,01	0,01	25	35	59	38
Lona v/saga	10.02.01 13:00	1,70	1,73	1,47	0,10	0,07	<0,02	1,87	0,97	0,81	0,84	0,74	4,52	4,65	4,29	2,17	2,18	2,14	<0,01	0,01	13	25	43	
Lona v/saga	11.02.01 12:30	1,30	1,10	1,04	0,07	0,05	<0,02	1,36	2,26	0,63	0,54	0,55	3,52	3,09	3,26	1,55	1,19	1,56	<0,01	0,01	46	27	41	
Lona v/saga	12.02.01 9:30	0,55	0,56	0,62	0,07	0,06	<0,02	1,56	0,63	0,45	0,47	0,38	3,43	3,57	3,12	0,78	0,79	0,77	<0,01	0,01				
Lona v/saga	13.02.01 12:00	0,79	0,65	0,60	0,15	0,06	<0,02	4,46	1,43	0,53	0,50	0,43	8,25	3,62	6,37	0,74	0,70	0,68	<0,01	0,01	229	14	10	
Lona v/saga	13.02.01 18:00	0,47	0,45	0,37	0,45	0,08	<0,02	0,96	1,01	0,45	0,39	0,32	3,01	3,07	2,76	0,81	0,59	0,61	<0,01	0,02				
Lona v/saga	14.02.01 11:00	0,56	0,58	0,44	0,06	0,06	<0,02	1,36	0,16	0,44	0,46	0,38	3,38	3,54	3,07	0,78	0,79	0,79	<0,01	0,01	14	6	-2	
Lona v/saga	15.02.01 10:30	0,85	0,85	0,70	0,18	0,07	<0,02	2,16	1,17	0,60	0,58	0,50	3,70	3,82	3,49	0,96	0,87	0,86	<0,01	0,02				
Lona v/saga	16.02.01 12:30	0,75	0,75	0,65	0,01	0,04	<0,02	1,56	1,02	0,56	0,58	0,50	4,00	4,11	3,81	1,09	1,09	1,06	<0,01	<0,01				
Lona v/saga	17.02.01 14:00	0,87	0,91	0,82	0,01	0,05	<0,02	1,68	1,10	0,60	0,64	0,57	4,17	4,33	4,10	1,22	1,20	1,19	<0,01	<0,01				
Lona v/saga	19.02.01 12:00	0,19	0,56	0,25	0,00	0,03	<0,02	0,51	0,91	0,11	0,41	0,20	0,80	3,12	1,61	0,08	0,36	0,12	0,01	<0,01				
Lona v/saga	21.02.01 11:00	0,39	0,40	0,33	0,06	0,07	0,02	0,68	0,89	0,46	0,48	0,40	3,46	3,53	3,23	0,75	0,73	0,74	<0,01	0,01	-6	2	-16	8
Lona v/saga	25.02.01 12:30	1,14	1,15	0,89	0,08	0,08	0,03	1,25	0,67	0,70	0,70	0,59	4,35	4,51	3,97	1,60	1,55	1,55	<0,01	0,01	0	15	14	
Lona v/saga	01.03.01 13:30	1,30	1,31	1,04	0,07	0,07	0,02	1,59	0,75	0,73	0,74	0,61	4,37	4,46	3,97	1,71	1,72	1,65	<0,01	0,01				
Lona v/saga	04.03.01 13:00	1,27	1,30	1,01	0,08	0,08	0,02	0,77	1,70	0,70	0,71	0,57	4,19	4,33	3,79	1,71	1,71	1,70	<0,01	0,01	13	19	25	24
Lona v/saga	05.03.01 22:00	1,34	1,34		0,07	0,06		1,06	1,81	0,84	0,85		5,28	5,42		1,25	1,26		<0,01	0,01	0	17	14	19
Lona v/saga	06.03.01 2:00	1,31	1,32		0,08	0,06		1,60	1,92	0,90	0,90		5,61	5,64		1,13	1,09		0,01	0,01	-2	18	9	17
Lona v/saga	06.03.01 6:00	1,29	1,32	1,07	0,08	0,05	0,03	1,51	2,77	0,91	0,91	0,82	5,71	8,19	5,61	0,99	0,96	0,95	0,01	0,01	-7	17	6	10
Lona v/saga	07.03.01 11:00	0,94	0,96	0,80	0,04	0,04	<0,02	0,97	1,70	0,73	0,75	0,64	4,80	4,91	4,48	1,04	1,00	1,02	0,01	0,01	-1	13	-1	
Lona v/saga	08.03.01 15:00	0,96	0,96	0,76	0,05	0,05	0,02	0,68	1,25	0,69	0,71	0,58	4,57	4,65	4,07	1,11	1,09	1,15	<0,01	0,01				
Lona v/saga	11.03.01 9:30	0,49	0,50	0,41	0,06	0,07	0,03	0,40	1,04	0,54	0,55	0,47	4,10	4,22	3,74	1,01	1,00	1,04	<0,01	0,01	-5	3	-17	
Lona v/saga	14.03.01 11:03	0,89	0,91	0,70	0,06	0,06	0,02	0,59	1,66	0,63	0,64	0,52	4,13	4,21	3,72	1,20	1,17	1,22	<0,01	0,01	6	12	5	12
Lona v/saga	16.03.01 15:00	1,08	1,09	0,94	0,06	0,06	0,04	0,37	1,47	0,68	0,70	0,62	4,38	4,44	4,13	1,43	1,41	1,47	<0,01	0,01	10	15	12	15
Lona v/saga	19.03.01 10:00	1,28	1,29		0,08	0,07		1,00	1,69	0,74	0,75		4,49	4,58		1,67	1,63		<0,01	0,01				
Lona v/saga	22.03.01 10:00	1,51	1,56		0,08	0,09		0,23	0,80	0,81	0,85		4,62	4,96		1,89	1,89		<0,01	0,01	8	22	31	25
Lona v/saga	27.03.01 11:03	1,61	1,62		0,07	0,07		0,23	1,10	0,84	0,86		4,73	4,94		2,08	2,07		<0,01	0,01				
Lona v/saga	31.03.01 15:30	1,49	1,44		0,42	0,05		1,22	0,45	0,79	0,75		7,06	4,43		1,89	1,76		<0,01	0,01				
Lona v/saga	02.04.01 18:30	0,91	0,93		0,52	0,08		1,37	1,64	0,58	0,55		5,73	3,66		0,98	0,88		<0,01	0,01	99	14	11	
Lona v/saga	03.04.01 1:00	0,79	0,80	0,59	0,25	0,09	0,03	1,46	1,16	0,54	0,53	0,43	5,72	3,55	3,14	0,08	0,82	0,83	<0,01	0,01	104	11	6	
Lona v/saga	03.04.01 13:00	0,70	0,65	0,61	1,37	0,07	0,05	1,31	1,32	0,59	0,44	0,43	5,09	3,18	3,14	1,04	0,64	0,68	0,01	0,02	65	12	-1	
Lona v/saga	03.04.01 21:00	0,62	0,63	0,39	0,21	0,07	<0,02	0,58	0,94	0,47	0,46	0,31	5,33	3,33	2,64	0,79	0,74	0,82	<0,01	0,01				
Lona v/saga	04.04.01 17:00	0,78	0,79	0,51	0,12	0,06	<0,02	0,26	1,27	0,52	0,53	0,37	5,73	3,61	2,90	0,97	0,98	0,97	<0,01	0,01	101	9	5	
Lona v/saga	06.04.01 11:00	0,81	0,81	0,53	0,17	0,09	0,02	0,64	1,43	0,53	0,53	0,39	5,80	3,67	2,99	0,94	0,93	0,95	0,04	0,01				

Tabell A5.

Stasjon	Dato	pH	Temp. °C	salinitet ‰	Total Al µg/l	total Alc µg/l	Total Ala µg/l	<0.45µm total Al µg/l	<0.45µm Alc µg/l	<0.45µm Total- Ala µg/l	<0.45µm Alo µg/l	<0.45µm Al- chelex µg/l	<0.45µm Al-anion µg/l	LMM total Al µg/l	LMM Alc µg/l	LMM Ala µg/l	LMM Alo µg/l	LMM Al- chelex µg/l	LMM Al- anion µg/l
Estuarie	04.03.01 18:00	6,94	0,9	6,5	95	42	53	90	46	44	41	3		48	13	35	31	4	
Estuarie	06.03.01 12:30	7,17	1,2	7,6	91	33	58	96	41	55	25	30	14	51	3	48	13	35	10
Estuarie	09.03.01 11:30	7,32	1,4	7,7	98	36	62	88	28	60	20	39	12	61	2	59	10	49	12
Estuarie	13.03.01 10:30	7,3	1,9	5,2	112	47	64	96	37	58	29	29	4	57	7	50	13	37	9
Estuarie	16.03.01 16:30	7,11	2,1	5,1	109	51	58	89	41	47	22	26	3	59	20	40	15	25	4
Estuarie	19.03.01 12:00	7,01	1,8	4,1	97	44	53	82	39	43	28	15	1	40	5	35	14	21	2
Estuarie	22.03.01 12:00	7,23	1,8	5,7	83	28	55	67	18	50	22	28	12	47	5	42	14	29	8
Estuarie	27.03.01 12:30	7,33	2,7	6,0	73	16	58	61	12	49	15	33	4	45	0	49	9	40	4
Estuarie	30.03.01 14:00		2,4	6,0	75	23	52	60				22		41				27	
Estuarie	31.03.01 18:00				73	32	41	67				25		48				27	
Estuarie	02.04.01 13:30		3,0	6,1	118		82	85				47		79				50	
Estuarie	03.04.01 19:00		2,5	5,7	173		93	115				44		89				46	
Estuarie	04.04.01 16:30		2,7	6,0	116		89	97				66		83				60	
Estuarie	07.04.01 0:00	7,13	2,5	6,1	121	38	83			79	28	52	22	55	3	52	14	38	7

Tabell A6.

Stasjon	Dato	Total Fe- r µg/l	<0.45µm totalt Fe µg/l	<0.45µm Fe-r µg/l	<0.45µm Fe-o µg/l	<0.45µm Fe- chelex µg/l	<0.45µm Fe- anion µg/l	LMM total Fe µg/l	LMM Fe- r µg/l	LMM Fe- o µg/l	LMM Fe- chelex µg/l	LMM Fe- anion µg/l
Estuarie	04.03.01 18:00	42	112	31	25	5		21	6	6	0	7
Estuarie	06.03.01 12:30	34	107	34	12	23		27	30	<4	30	9
Estuarie	09.03.01 11:30	29	53	22	15	7	0	24	13	<4	11	0
Estuarie	13.03.01 10:30	30	59	24	9	15	1	25	11	<4	14	1
Estuarie	16.03.01 16:30	34	61	21	8	12	1	40	10	<4	11	0
Estuarie	19.03.01 12:00	34	50	21	10	12	4	14	8	<4	10	1
Estuarie	22.03.01 12:00	19	46	15	4	10	1	24	8	<4	10	4
Estuarie	27.03.01 12:30	48	43	17	6	11	6	19	6	<4	9	
Estuarie	30.03.01 14:00	35	40	14	<4	11		9	4	<4	7	
Estuarie	31.03.01 18:00	30	36	11	<4	10		15	3	<4	6	
Estuarie	02.04.01 13:30	51	23	28	<4	27		25	8	<4	7	
Estuarie	03.04.01 19:00	45	76	30	28			24	10	4	5	
Estuarie	04.04.01 16:30	51	71	31	16	15		25	11	<4	8	
Estuarie	07.04.01 0:00	55		43	24	19	8	39	12	<4	11	0

Vedlegg B. Fiskedata

Tabell B1.

Stasjon	Dato	Vekt g	St.avvik	Lengde cm	St.avvik	Glukose mmol/l	St.avvik	Gj.vekt Gj.vekt	Snitt µg/g tv. Gjelle	St.avvik	Fe µg/g tv. Gjelle	St.avvik
Gjøllanger	06.02.01 11:00	43,7	8,5	15,6	1,0	4,7	1,5	0,0231	13	6	210	37
Espedalen (utsett 1)	09.02.01 17:00	39,5	4,8	14,9	0,7	5,7	1,1	0,0177	82	33	223	36
Espedalen (utsett1)	12.02.01 13:00							0,0191				
Espedalen (utsett1)	13.02.01 16:00	45,3	14,5	15,9	1,4	8,4	1,3	0,0217	72	27		
Espedalen (utsett1)	13.02.01 16:00							0,0237				
Espedalen (utsett1)	14.02.01 16:00							0,0353	48	10		
Espedalen (utsett1)	15.02.01 15:00	52,3	6,9	16,8	0,7	12,7	1,3	0,0359				
Espedalen (utsett1)	16.02.01 18:00	43,1	8,3	15,9	0,9	8,2	1,5	0,0249	61	10	310	82
Espedalen (utsett1)	17.02.01 10:30							0,0184				
Espedalen (utsett1)	18.02.01 11:30							0,0187				
Espedalen (utsett1)	21.02.01 15:30	39,4	8,8	15,8	0,9	10,0	1,6	0,0259	79	10	280	50
Espedalen (utsett1)	24.02.01 16:00	42,9	8,1	16,0	0,9	11,9	1,6	0,026	123	24	338	67
Espedalen (utsett1)	28.02.01 17:30	43,1	5,9	16,0	0,9	10,9	2,5	0,0229	162	56	256	36
Gjøllanger	02.03.01 10:00	48,0	10,3	16,1	1,1	5,8	0,8	0,0211	13	2	236	51
Espedalen (utsett2)	04.03.01 15:00	49,1	8,1	16,5	0,9	6,0	1,3	0,0216	25	24	207	18
Espedalen (utsett2)	08.03.01 19:00	54,3	9,0	17,0	1,0	9,7	2,2	0,0262	157	62	258	48
Espedalen (utsett2)	10.03.01 12:00							0,0179				
Espedalen (utsett2)	11.03.01 18:30							0,024	206	42	336	120
Espedalen (utsett2)	12.03.01 16:30							0,0185	211	42	276	97
Espedalen (utsett2)	15.03.01 17:00	44,9	7,5	15,8	1,0	15,0	1,1	0,0186	294	89	299	162
Espedalen (utsett2)	18.03.01 17:00	54,4	22,8	16,9	2,4	13,2	2,2	0,0262	278	80	342	91
Espedalen (utsett2)	22.03.01 16:00	45,2	6,5	16,2	0,9	15,0	2,4	0,0278	402	208	363	84
Gjøllanger	23.03.01 11:00	126,6	165,3	16,9	0,9	4,9	1,9	0,0255	14	6	214	49
Espedalen (utsett 3)	27.03.01 17:00	53,8	10,2	16,9	1,3	4,8	0,5	0,0217				
Espedalen (utsett3)	31.03.01 13:00	54,9	15,1	17,3	1,6	11,3	2,5	0,0345	158	51	245	38
Espedalen (utsett 3)	01.04.01 19:30	54,4	14,1	17,1	1,4	12,1	1,0	0,0243	157	49	64	
Espedalen (utsett 3)	03.04.01 15:00	41,0	7,0	15,6	0,9	13,2	1,9	0,0133	141	41	240	32
Espedalen (utsett 3)	04.04.01 13:00	48,5	18,1	16,4	2,1	14,4	6,0	0,0191	80	19	364	118
Espedalen (utsett3)	06.04.01 17:00	57,7	13,1	17,1	1,2	13,8	1,3	0,0479	73	18	304	78

Tabell B2.

Stasjon	Dato	Vekt g	St.avvik	lengde cm	St.avvik	Glukose mmol/l	St.avvik	Gj.vekt	Al-gjelle µg/g tv. Gjelle	St.avvik	Fe-gjelle µg/g tv. Gjelle	St.avvik
El-fiske (Lona v/saga)	07.04.01 17:30	7,7	2,1	8,1	1,0	3,9	1,1	0,0088				
Gjøllanger	06.02.01 11:00	43,7	8,5	15,6	1,0	4,7	1,5	0,0231	13	6	210	37
Lona v/sag (utsett1)	08.02.01 14:00	48,2	14,0	16,2	1,3	4,2	1,3	0,0221	15	3	295	51
Lona v/sag (utsett1)	11.02.01 11:00	45,0	6,2	15,7	0,8	3,8	0,3	0,0332				
Lona v/sag (utsett1)	13.02.01 11:00	45,3	7,6	15,9	0,9	5,4	1,5	0,0292				
Lona v/sag (utsett1)	13.02.01 18:30							0,027	24	7		
Lona v/sag (utsett1)	14.02.01 11:30							0,036	19	3		
Lona v/sag (utsett1)	16.02.01 13:00	43,9	4,3	15,9	0,6	6,5	1,4	0,0244	26	8	245	28
Lona v/sag (utsett1)	19.02.01 16:50	34,5	10,1	14,6	1,7	7,8	2,7	0,0091	19	4	339	71
Lona v/sag (utsett1)	21.02.01 12:00	36,3	10,8	15,1	1,8	6,2	1,4	0,0167	26	9	284	35
Lona v/sag (utsett1)	25.02.01 12:30	49,4	4,4	16,7	0,5	5,0	2,2	0,0209	16	3	290	22
Lona v/sag (utsett1)	01.03.01 13:30	40,1	7,9	15,7	1,0	3,9	1,1	0,0286	13	4	219	70
Lona v/sag (utsett1)	08.03.01 15:30	46,7	8,7	16,6	0,9	6,6	2,1	0,0214	14	3	256	88
Lona v/sag (utsett1)	14.03.01 12:00	45,5	11,0	16,1	1,1	5,4	1,8	0,0291	11	4	252	32
Lona v/sag (utsett1)	22.03.01 11:00	36,1	7,5	14,9	1,1	7,2	1,6	0,0245	12	2	255	58
Lona v/saga (utsett1)	31.03.01 17:00	35,0	3,4	15,2	0,6	4,9	1,0	0,0201	14	6	229	34
Lona v/saga (utsett 1)	03.04.01 1:00	34,9	3,6	14,7	0,7	6,9	0,8	0,0201				
Lona v/saga (utsett 1)	03.04.01 13:00	45,3	5,9	16,5	0,7	6,6	1,4	0,0187				
Lona v/saga (utsett 1)	03.04.01 21:20	28,0	10,1	14,2	1,8	8,0	1,6	0,0231	18	7	311	65
Lona v/sag (utsett 1)	04.04.01 16:00	31,1	13,1	14,3	2,4			0,0075	16	7	210	87
Lona v/saga (utsett 1)	06.04.01 10:20	44,7	8,9	16,3	1,1	8,3	1,7	0,0237			292	79
Lona v/saga (utsett 1)	07.04.01 16:00	34,0	15,6	14,4	2,7	6,2	2,7	0,0158				
Gjøllanger	02.03.01 10:00	48,0	10,3	16,1	1,1	5,8	0,8	0,0211	13	2	236	51
Lona v/sag (utsett 2)	04.03.01 13:00	47,5	6,1	16,2	0,9	3,8	0,4	0,0245			213	42
Lona v/sag (utsett 2)	06.03.01 10:00	47,6	10,5	16,3	1,1	4,3	1,8	0,0228	14	4	291	67
Lona v/sag (utsett 2)	08.03.01 14:00	46,7	14,1	16,3	1,6	6,2	1,8	0,022			200	38
Lona v/sag (utsett 2)	11.03.01 10:30	46,5	4,1	16,4	0,6	6,5	1,2	0,0215			209	18
Lona v/sag (utsett 2)	14.03.01 11:00	50,3	7,6	16,7	0,9	6,6	1,4	0,0234	24	8	278	48
Lona v/sag (utsett2)	16.03.01 15:00	44,4	5,9	16,2	0,7	4,8	1,2	0,0198				
Lona v/saga (utsett2)	19.03.01 10:00	46,6	10,4	16,5	1,4	6,0	1,6	0,0264				
Lona v/sag (utsett2)	22.03.01 10:30	42,2	12,7	15,9	1,5	5,5	2,6	0,0263			228	32
Lona v/saga (utsett2)	27.03.01 11:30	46,3	15,3	16,2	1,6	5,0	1,7	0,0392				
Lona v/saga (utsett2)	31.03.01 16:30	32,5	1,1	14,5	0,1	6,4	2,6	0,0211			212	29
Lona v/sag (utsett 2)	04.04.01 16:45	15,3	5,2	14,8	1,8			0,0153	19	1	365	95

Tabell B3.

Lokalitet	Dato	vekt g	St.avvik	lengde cm	St.avvik	Glukose mmol/l	St.avvik	Gj.vekt	Al-gjeller µg/g tv. Gjelle	St.avvik	Fe-gjeller µg/g tv. Gjelle	St.avvik
Estuarie	04.03.01 18:00	44,3	10,5	15,9	1,1	3,8	1,0	0,0331	18	4	257	50
Estuarie	06.03.01 12:30	49,7	5,3	16,6	0,6	4,1	0,7	0,024	31	13	311	40
Estuarie	09.03.01 11:30	44,0	7,7	15,9	0,6	4,3	0,9	0,0239	136	49	291	56
Estuarie	13.03.01 10:30							0,0267	191	28	278	48
Estuarie	16.03.01 16:30	54,1	8,1	17,3	0,8	3,6	0,4	0,0353	136	41	284	36
Estuarie	19.03.01 11:30	49,2	13,1	16,2	1,5	2,9	0,7	0,0203	80	15	242	43
Estuarie	22.03.01 12:00	54,3	9,6	16,8	1,2	3,1	0,2	0,0187	106	17	227	33
Estuarie	27.03.01 13:00	47,7	7,0	16,4	0,9	3,3	0,6	0,025	89	14	249	38
Estuarie	31.03.01 18:00	50,9	20,1	17,0	2,3	2,7	0,5	0,0261	78	11	254	57
Estuarie	04.04.01 21:45	15,4	7,0	10,9	1,6			0,009	268	47	407	51
Estuarie	06.04.01 10:00	30,3	12,0	14,2	1,9	3,1	0,4	0,0132	208	44	189	17