



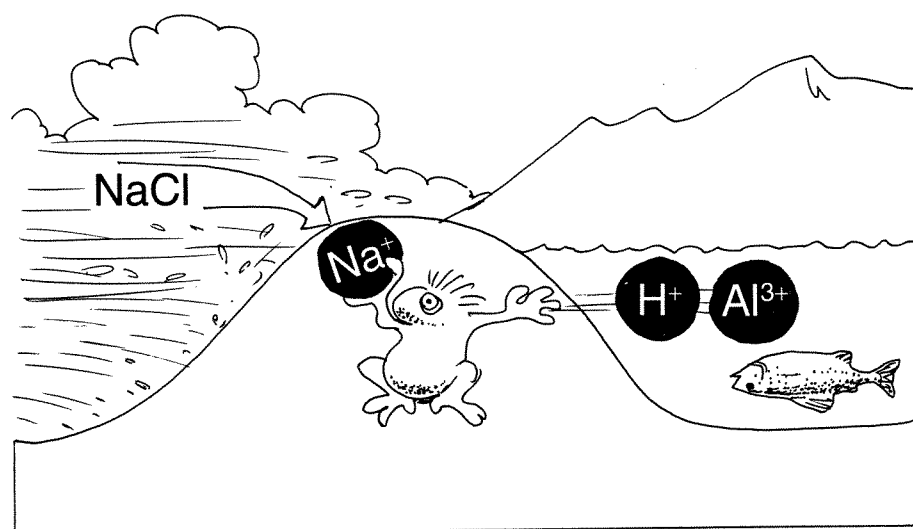
O-93129

Betydningen av

## sjøsaltanriket nedbør

i vassdrag og mindre nedbørfelt

Forsuring og fiskedød etter  
sjøsaltepisoden i januar 1993



# NIVA - RAPPORT

Norsk institutt for vannforskning  NIVA

Prosjektnr.:	Undernr.:
O-93129	
Løpenr.:	Begr. distrib.:
2917	

<b>Hovedkontor</b>	<b>Sørlandsavdelingen</b>	<b>Østlandsavdelingen</b>	<b>Vestlandsavdelingen</b>	<b>Akvaplan-NIVA AS</b>
Postboks 69, Korsvoll	Televeien 1	Rute 866	Thormøhlensgt 55	Søndre Tollbugate 3
0808 Oslo 8	4890 Grimstad	2312 Ottestad	5008 Bergen	9000 Tromsø
Telefon (47) 22 18 51 00	Telefon (47) 37 04 30 33	Telefon (47) 62 57 64 00	Telefon (47 5) 32 56 40	Telefon (47 83) 85 280
Telefax (47) 22 18 52 00	Telefax (47) 37 04 45 13	Telefax (47) 62 57 66 53	Telefax (47 5) 32 88 33	Telefax (47 83) 80 509

<b>Rapportens tittel:</b> Betydningen av sjøsaltanriket nedbør i vassdrag og mindre nedbørfelt. Forsuring og fiskedød etter sjøsaltepisoden i januar 1993.	<b>Dato:</b> 07.07.93	<b>Trykket:</b> NIVA 1993
<b>Forfatter(e):</b> Atle Hindar Arne Henriksen Kjetil Tørseth (NILU) Leif Lien	<b>Faggruppe:</b> Sur nedbør	<b>Geografisk område:</b> Sør-Norge
	<b>Antall sider:</b> 42	<b>Opplag:</b> 200

<b>Oppdragsgiver:</b> Direktoratet for naturforvaltning	<b>Oppdragsg. ref. (evt. NTNf-nr.):</b> 4862/93-311.1
--	--

**Ekstrakt:**

I februar og mars 1993 ble det rapportert om fiskedød i en rekke vann og vassdrag i Vest-Agder og i Hordaland, samt i klekkerier i Sogn og Fjordane. Fiskedøden fant sted etter en periode med uvanlig sterk vind, høy temperatur for årstiden og store nedbørmengder. Nedbøranalyser viser at det ble tilført store mengder sjøsalter i nedbøren, i konsentrasjoner som var 3-10 ganger høyere enn normalt. Data fra pågående overvåkingsprogram viser at en rekke elver i Sør-Norge hadde uvanlig høye konsentrasjoner av sjøsalter forut for fiskedøden og var ekstremt sure og aluminiumsrike. Dette er første gang det er dokumentert fiskedød i vann og vassdrag som følge av sjøsaltepisoder i Norge.

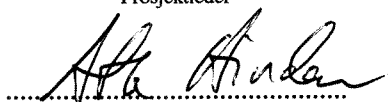
4 emneord, norske

1. Sjøsalter
2. Forsuring
3. Fiskedød
4. Vannkjemi

4 emneord, engelske

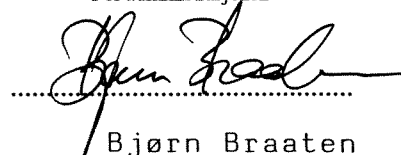
1. Sea salts
2. Acidification
3. Fish kills
4. Water chemistry

Prosjektleder



Atle Hindar

For administrasjonen



Bjørn Braaten

ISBN 82-577-2328-2

**O-93129**

**Betydningen av sjøsultanrikt nedbør  
i vassdrag og mindre nedbørfelt.**

**Forsuring og fiskedød etter sjøsaltepisoden i januar 1993.**

Saksbehandler: Atle Hindar  
Medarbeidere: Arne Henriksen  
Kjetil Tørseth (NILU)  
Leif Lien

## FORORD

I februar og mars 1993 ble det registrert omfattende fiskedød i en rekke vann og vassdrag i Sør-Norge. Fiskedøden ble satt i forbindelse med stor tilførsel av sjøsalter med nedbør i siste del av januar. Overvåkingen av nedbør og vann og vassdrag i regi av Statens forurensningstilsyn (SFT) ga grunnlag for å vurdere årsaksforhold, effekter og utbredelse av sjøsaltepisoden. Direktoratet for naturforvaltning (DN) ga Norsk institutt for vannforskning (NIVA), i samarbeid med Norsk institutt for luftforskning (NILU) i oppdrag å utarbeide en rapport om disse forholdene.

Rapporten skulle, ved siden av en bearbeiding av innsamlede overvåkingsdata, inneholde vurdering av resultater fra andre prosjekter og rapporterte fiskeskader. Data fra forskningsprogrammet "Nitrogen fra fjell til fjord", et samarbeidsprosjekt mellom NIVA, NILU, NISK og JORDFORSK, og fra overvåkingen NIVA gjør for DN i forbindelse med kalking av Lygna er brukt i rapporten. Vi vil takke Dag Olav Andersen ved ADH, Bjørn Barlaup ved Universitetet i Bergen og Espen Enge ved MV-avd. i Rogaland for materiale som er brukt i rapporten. Fra DN har vi også fått tilgang på en oversikt over fiskeskader i Vest-Agder fra MV-avd. hos Fylkesmannen som er benyttet i rapporten.

Arbeidet med rapporten er finansiert av Direktoratet for naturforvaltning, mens innsamlingen av datamaterialet i det vesentligste er finansiert av Statens forurensningstilsyn.

Grimstad, juli 1993

Atle Hindar

**INNHold:****SIDE:**

1. Sammendrag	4
2. Innledning	6
3. Resultater og diskusjon	9
3.1. Luft og nedbør	9
3.2. Snøprøver	18
3.3. Feltforskningsområder og vassdrag	20
3.4. Registrert fiskedød i februar og mars	37
3.5. Andre observasjoner	39
4. Referanser	41

# 1. Sammendrag

I februar og mars 1993 ble det rapportert om fiskedød i en rekke vann og vassdrag i Vest-Agder og i Hordaland, samt i klekkerier i Sogn og Fjordane. Fiskedøden fant sted etter en periode med uvanlig sterk vind, høy temperatur for årstiden og store nedbørmengder. Nedbøranalyser viser at det ble tilført store mengder sjøsalter i nedbøren, i konsentrasjoner som var 3-10 ganger høyere enn normalt. Data fra pågående overvåkingsprogram viser at en rekke elver i Sør-Norge hadde uvanlig høye konsentrasjoner av sjøsalter forut for fiskedøden og var ekstremt sure og aluminiumsrike. Dette er første gang det er dokumentert fiskedød i vann og vassdrag som følge av sjøsaltepisoder i Norge.

I januar 1993 falt det på Sør- og Vestlandet betydelige nedbørmengder i forbindelse med uvanlig sterk vind fra sørvest. I Rogaland og Vest-Agder var det nedbør praktisk talt alle dagene i perioden 7.-23. januar. Samtidig var det uvanlig mildt for årstiden og snøsmelting opp mot 1000 m.o.h. De observerte konsentrasjonene av sjøsaltkomponenter i nedbøren i januar var 3-5 ganger høyere enn i foregående år. Samtidig var nedbørmengdene i januar nær dobbelt så høye som normalt for januar de siste 30 år. På grunn av de høye vindstyrkene ble sjøsaltene fra havoverflaten brakt høyt opp i atmosfæren og det ble registrert høye sjøsaltkonsentrasjoner så langt inn i landet som ved Vatnedalen (Bykle) og Valle i Setesdalen. De største mengdene av sjøsalter kom imidlertid på Sør- og Vestlandet vest for Lindesnes og sør for Stad.

De lave pH-verdiene og de høye aluminiumskonsentrasjonene i vassdragene forklares ved den såkalte sjøsalteffekten; natrium fra nedbør holdes tilbake ved ionebytte i jordsmonnet og erstattes med hydrogenioner og aluminium. Vannet kan dermed bli ekstremt surt og giftig for fisk. Hvis ionebyttet skjer kun med basekationer som kalsium og magnesium, vil vannets surhet ikke bli vesentlig endret.

Sjøsalteffekten var begrenset til områder som er forsuringfølsomme og påvirket av forurenset nedbør. I nedbørfelt som ikke er forsuret skjedde ionebyttet hovedsakelig med basekationer og ikke med hydrogenioner og aluminium. Sjøsalteffekten kan derfor ikke forklare den kroniske forsuringen av overflatevann. Ionebyttet skjer når natriumkonsentrasjonen i jordvæsken forandres radikalt, men er forbigående fordi jordsmonnet ikke er noe permanent sluk for natrium. Det sure vannet kan imidlertid oppholde seg lenge i innsjøer og dermed gi surt avrenningsvann til vassdrag over et visst tidsrom. Innsjøer kan også virke utjevnende på den ekstreme vannkvaliteten, men det avhenger bl.a. av gjennomstrømningsforhold og om innsjøen er isdekket.

Sjøsalteffekten var av størst betydning i kystnære områder, men områder mellom 50 og 100 km inn i landet ble også rammet. Det skyldtes store relative forskjeller i saltkonsentrasjoner før og etter episoden. Et skogdekket område fanget opp ekstra store mengder sjøsalter og effektene i avrenningsvannet ble spesielt store.

Av død fisk er det først og fremst aure og sjøaure som er funnet i vassdragene. I Sogndalsvassdraget vest for Kristiansand døde aure i alle årsklasser. I Kvina og sidevassdraget Litleåna ble det også funnet død ål sammen med død aure. Det ble registrert død bekkerøye i dette vassdraget, en art som er relativt forsuringstolerant. I Arna og Lindås ved Bergen ble det funnet død fisk i innsjøer. I samme periode ble det også registrert

fiskedød i klekkerier i Sogn og Fjordane.

Data fra Nidelva ved Arendal og overvåkingselvene videre østover viser ingen markert påvirkning av sjøsalt. Det er først når en kommer til Tovdalselva at virkningen var merkbar. Lygna i Vest-Agder og Dirdalselva i Rogaland viser markert høye forholdstall mellom klorid etter og før episoden. Forholdstallet er høyest i Ekso og Gaula, dvs. området omkring Sognefjorden. I Ekso ble det registrert fiskedød i forbindelse med episoden. De høyeste konsentrasjonene av klorid etter nedbørepisoden ble funnet i Øyensåa i Nord-Trøndelag, men forholdstallet var relativt lavt. Området er ikke forsuret og vannkvaliteten ble derfor ikke forverret. Omfanget av episoden videre nordover fra Øyensåa er ikke kjent.

Bare i områder som mottar forurenset nedbør vil episoder med ekstremt høye sjøsaltskonsentrasjoner kunne gi episoder med akutt giftige forhold for fisk og andre organismer. Det gjelder også i vassdrag som normalt har en akseptabel vannkvalitet for fisk. I områder som mottar moderate mengder forurenset nedbør, men med sparsomt jordsmonn, meget "tynt" vann og liten eller ingen bufferkapasitet, kan sannsynligvis sterke sjøsaltepisoder medføre fiskedød. Dette er idag lite kjent. Norge har en meget lang kystlinje med nettopp tynt jordsmonn. Sjøsalteffekten kan derfor være av større betydning enn tidligere antatt, og kan ha betydning for å forklare episodisk forsuring på Vestlandet og Nordvestlandet. Eventuelle problemer for fiskebestander i slike områder kan skyldes en kombinasjon av moderat forsuring og sjøsaltepisoder.

Det har ikke vært registrert en så ekstrem sjøsaltepisode i den undersøkte perioden 1977-1993. Hvis slike værforhold gjentar seg hyppigere, eventuelt på grunn av klimaendringer, vil sjøsalteffekten gjøre seg sterkere gjeldende i framtida. Vi vet idag lite om dose/responsforholdene. Det er derfor av stor betydning å gjennomføre forsøk som kan kvantifisere nærmere hvilke kombinasjoner av forsuring, sjøsaltdoser og jordkjemiske egenskaper som skal til for å frambringe avrenningsvann som er giftig for fisk og andre organismer.

## 2. Innledning

I februar og mars 1993 ble det rapportert om fiskedød i vann og vassdrag en rekke steder i Vest-Agder og i Hordaland, samt i klekkerier i Sogn og Fjordane. Fiskedøden fant sted etter en periode med uvanlig sterk vind, høy temperatur og store nedbørmengder. Flere av elvene hadde ekstremt surt og aluminiumsholdig vann med uvanlig høye konsentrasjoner av salter. Det ble derfor antatt at fiskedøden kunne skyldes en såkalt sjøsaltepisode, evt. i kombinasjon med snøsmelting. I følgende vassdrag ble fiskedød dokumentert i denne perioden: Nedre del av Sira (Enge 1993, MV i V-Agder 1993), Feda + Kvina + Mandalselva + Songdalselva + Lygna i Vest-Agder (MV-avd. i V-Agder 1993), Tyssevassdraget + Spåkevattnet + Andåsvatnet + Daleelva + Æneselva + Ekso i Hordaland (Barlaup 1993).

Episodiske endringer i den vannkjemiske sammensetningen av elver og innsjøer inntreffer ofte når det kommer mye nedbør og under snøsmeltingen om våren. Disse endringene ytrer seg oftest som kortvarig nedgang i pH og ANC (syre-nøytraliserende kapasitet) og kan skyldes flere forhold. De viktigste er: "titrering" i nedbørfeltet med sterke syrer fra nedbøren, øket utvasking av organiske syrer fra nedbørfeltet, fortykning med vann med lavere ANC-konsentrasjon eller ionebytting av kationer (særlig natrium) i høye konsentrasjoner med hydrogen og/eller aluminium-ioner. Ionebyttingen av natrium med hydrogen- og aluminiumioner og den resulterende forsurening kalles sjøsalteffekten.

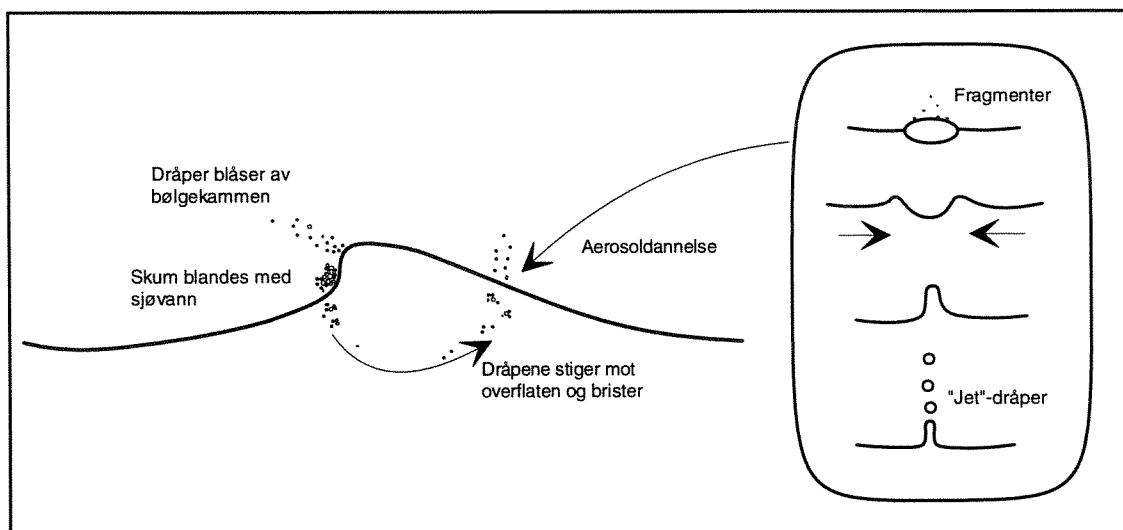
Dannelse av sjøsaltaerosoler på havoverflaten skjer ved moderate vindstyrker ved at luftbobler brister. Mengden av sjøsaltaerosoler øker sterkt når økende vind gir hvite skumtopper på bølgekammene. En ny økning i aerosolmengden skjer ved vindstyrker som river dråper løs fra bølgekammene slik at det dannes frådeliknende skum og sjøsprøyt (figur 1). Innholdet av sjøsaltaerosoler i luft øker derfor sterkt med vindstyrken. En annen årsak til denne økningen er at vindstyrken også øker den vertikale transporten i det turbulente grenselaget nærmest havoverflaten.

Det er foretatt en mengde undersøkelser av sjøsaltaerosolkonsentrasjoner, størrelsesfordelinger og vertikalfordeling i forhold til vindstyrke og andre meteorologiske fenomener. En litteraturundersøkelse over emnet er foretatt av Vitols (1976), som også har sammenliknet målte sjøsaltaerosolkonsentrasjoner på Karmøy med observerte vindstyrker.

Sjøsaltene i luften kan transporteres over betydelige avstander, særlig over havområder. Vindstyrken kan variere, slik at konsentrasjonene kan være høye også ved lave vindstyrker. Det er ikke bare vindstyrken på stedet, men også i stor utstrekning over hvor lang havstrekning den store produksjonen og innblandingen av sjøsaltaerosoler har foregått som er utslagsgivende for konsentrasjonene. Dette forløpet har særlig betydning for konsentrasjonen av sjøsalter i høyere luftlag og innenfor selve kystsonen.

Avsetningen av sjøsalter skjer ved utfelling med nedbør, og som tørravsetning ved sedimentasjon og impaksjon på ruhetselementer på overflater. Sjøsaltaerosolene er relativt store (2-20 $\mu$ m) og vil effektivt kunne fjernes med fallende nedbør. Chamberlain (1953) beregnet at utvaskingskoeffisienten var omkring 2.10 $\cdot$ 4 s<sup>-1</sup> for aerosolpartikler eller dråper med diameter på 4  $\mu$ m ved en nedbørintensitet på 1 mm/time. Dette svarer til at konsentrasjonen i luft og nedbør vil bli halvert på en avstand av ca. 50 km, dersom





**Figur 1. Dannelse av aerosoldråper fra bølger som bryter.**

vindhastigheten er 18 m/s.

Tørravsetningshastigheten for slike partikler vil også være relativt høy, sannsynligvis flere cm/s, avhengig av vegetasjonsdekket. Barskog er særlig effektiv for tørravsetning, og det er vanlig med saltskader på gran og tildels furu etter pålandsstorm hvis det ikke kommer tilstrekkelig nedbør som kan vaske saltene av barnålene. Det foreligger ikke noen fullt ut tilfredsstillende beregningsmodell for tørravsetning som tar hensyn til partikkelsstørrelse, overflatedekke og vindhastighet, og forsøk på kvantitative beregninger har derfor ingen hensikt. Spesielt der det er barskog vil totaltilførselen av sjøsalter ved både nedbør og tørravsetning derfor kunne være betydelig større enn det som registreres ved nedbørproppsamling.

Selv om sjøsalteffekten er godt kjent blant jord- og vannkjemikere, er det begrenset dokumentasjon av denne effekten i overflatevann. Gorham (1957) var den første som foreslo at sjøsalter var med og bestemme surheten i innsjøer i Nova Scotia i Canada. Skartveit og medarbeidere (1980) viste at nedbørepisoder med høyt innhold av sjøsalter ga spesielt sure nedbørepisoder i nedbørfelt på Vestlandet, men at effekten ga seg etter kort tid.

Sjøsalteffekten (Wiklander, 1975) oppstår i jordsmonnet ved ionebytte av hydrogen- og aluminiumioner med et annet positivt ladet ion (kation) i høy konsentrasjon. Kationet er Na og/eller Mg fra sjøsalter. Kloridet i sjøsaltet er et såkalt mobilt anion (Skartveit et al., 1980, Norton et al., 1987, Wright et al., 1988), som passerer relativt upåvirket gjennom jordsmonnet. Salteffekten vil midlertidig redusere surheten i jorda, men vil øke surheten i avrenningsvannet (Wiklander, 1975).

Bakgrunnen for denne ionebytteprosessen er at prinsippet om elektrisk nøytralitet forlanger at et mobilt anion (et ion som befinner seg i løsning) må følges av et kation. Mobiliteten av anioner er relativ. I jord er viktige anioner  $\text{HCO}_3$ , organiske anioner,  $\text{NO}_3$ ,  $\text{SO}_4$  og  $\text{Cl}$ . Av disse er  $\text{Cl}$  mest mobil fordi det ikke reagerer med faste eller løste stoffer eller inngår i det biologiske kretsløp. Dette er vist både ved laboratorieforsøk og fra budsjettstudier i små nedbørfelt. Når et løst salt passerer jorda kan kationet byttes ut med andre kationer i jorda. Graden av ionebytting vil avhenge av fordelingskoeffesientene og mengdeforholdene. Hvis det tilsatte kation er  $\text{H}^+$  vil det frigjøres basekationer. Hvis imidlertid et basekation som  $\text{Na}^+$  tilsettes, kan det frigjøres  $\text{H}^+$ -ioner som vil redusere pH i jordvannet og i avrenningsvannet.

Hvis den resulterende pH i jordvannet er lav ( $< 5.0$ ) vil også betydelige mengder utfelt eller adsorbent aluminium løses ut, og en kan få et surt og aluminiumrikt vann. Dette er blitt demonstrert ved mange laboratorie- og felteksperimenter og også under spesielle nedbørepisoder med høye konsentrasjoner av sjøsalter. Njøs (1978) gjennomførte lysimeterforsøk som viste at humusjord har en høy kapasitet til å bytte  $\text{H}^+$  med  $\text{Na}$ . Gjessing (1976) viste at ved å ekstrahere jord med en  $\text{NaCl}$ -løsning fikk han en lavere pH (3,47) i vannløsningen enn ved ekstraksjon med destillert vann (4,43), og at det var en lineær sammenheng mellom mengdene av frigjort  $\text{H}^+$  og tilsatt  $\text{Na}$ . Wright og medarbeidere (1988) simulerte episodisk forsuring på grunn av salteffekten ved å tilføre fortynnet sjøvann til et lite nedbørfelt i Vest-Norge. De fant en klar episodisk nedgang i pH fra 6.1 til 5.1 og en nedgang i ANC fra 20 til  $-2 \mu\text{ekv/L}$ . Ionebytting av basekationer med  $\text{H}^+$  i jorda ble fastsatt som hovedårsak til den kortvarige forsuringsepisoden.

Sjøsalteffekten kan registreres ved at den ikke-marine delen av natrium ( $\text{Na}^*$ ) blir negativ pga ionebytting eller ved at  $\text{Na/Cl}$ -forholdet avtar. Skartveit fant at den tilbakeholdte  $\text{Na}$  ble vasket ut igjen seinere fordi tilførsel og utførsel av  $\text{Na}$  i nedbørfeltet var tilnærmet lik på årsbasis. I overvåkingselver på Vestlandet er det påvist en klar lineær sammenheng mellom ikke-marin  $\text{Na}$  og kloridkonsentrasjonen. Underskuddet på  $\text{Na}^*$ , dvs. den negative  $\text{Na}^*$ -konsentrasjonen øker med økende kloridkonsentrasjon (SFT, 1984). I feltforskningsområdet i Birkenes er det flere ganger registrert sterkt sure episoder i avrenningsvannet som følge av nedbørepisoder med høyt innhold av sjøsalter (SFT, 1990, 1991). Det er ikke påvist noen form for kronisk forsuring av kystnære innsjøer i USA (Sullivan et al., 1988). Heath et al. (1992) har imidlertid dokumentert sterkt sure episoder i små bekker i Acadia National Park i Maine, USA som kan tilskrives sjøsalteffekten. pH-fall på opp til 2 enheter ble registrert. De konkluderte med at en forutsetning for slike episoder er sur jord i kombinasjon med enten nedbørepisoder med høyt innhold av sjøsalter i forhold til det normale for nedbørfeltet, eller en periode med mye tørravsetning av sjøsalter etterfulgt av nedbør.

Den nedbøren som utløser effekten behøver ikke være sur for at en slik episode kan inntreffe. Sjøsalteffekten kan ikke forklare den kroniske forsuringen av overflatevann, og den er bare av betydning som en forbigående episode i kystnære, forsurede områder med tynt jordsmonn.

I denne rapporten redegjør vi for hvordan sjøsalter avsettes og for sjøsalteffekten. Vi dokumenterer hva som førte til den spesielle episoden i januar 1993 og hvilke vannkjemiske utslag den ga i ulike typer vassdrag og feltforskningsområder. Rapporten gir en oversikt over den geografiske utbredelsen av vannkjemiske effekter og fiskedød.

### 3. Resultater og diskusjon

Programmet for overvåking av langtransportert forurenset luft og nedbør i regi av SFT har rutinemessig innsamling av nedbørprøver og vannprøver fra vann/vassdrag fra en rekke lokaliteter på Sør- og Vestlandet, se figur 2. Prosjektet "Nitrogen fra fjell til fjord" har også en rutinemessig prøveinnsamling fra ca. 20 lokaliteter i Bjerkreimsvassdraget hver 14. dag. Lygnavassdraget overvåkes i sammenheng med kalkingen av vassdraget. Disse dataene er brukt i den foreliggende rapporten. Det ble dessuten samlet inn prøver fra forskjellige kanter i sammenheng med den omtalte sjøsaltepisoden i regi av lokale miljømyndigheter og andre. Rapporter om fiskedød ble oversendt Direktoratet for naturforvaltning fra forskjellige hold og er sammenfattet her.

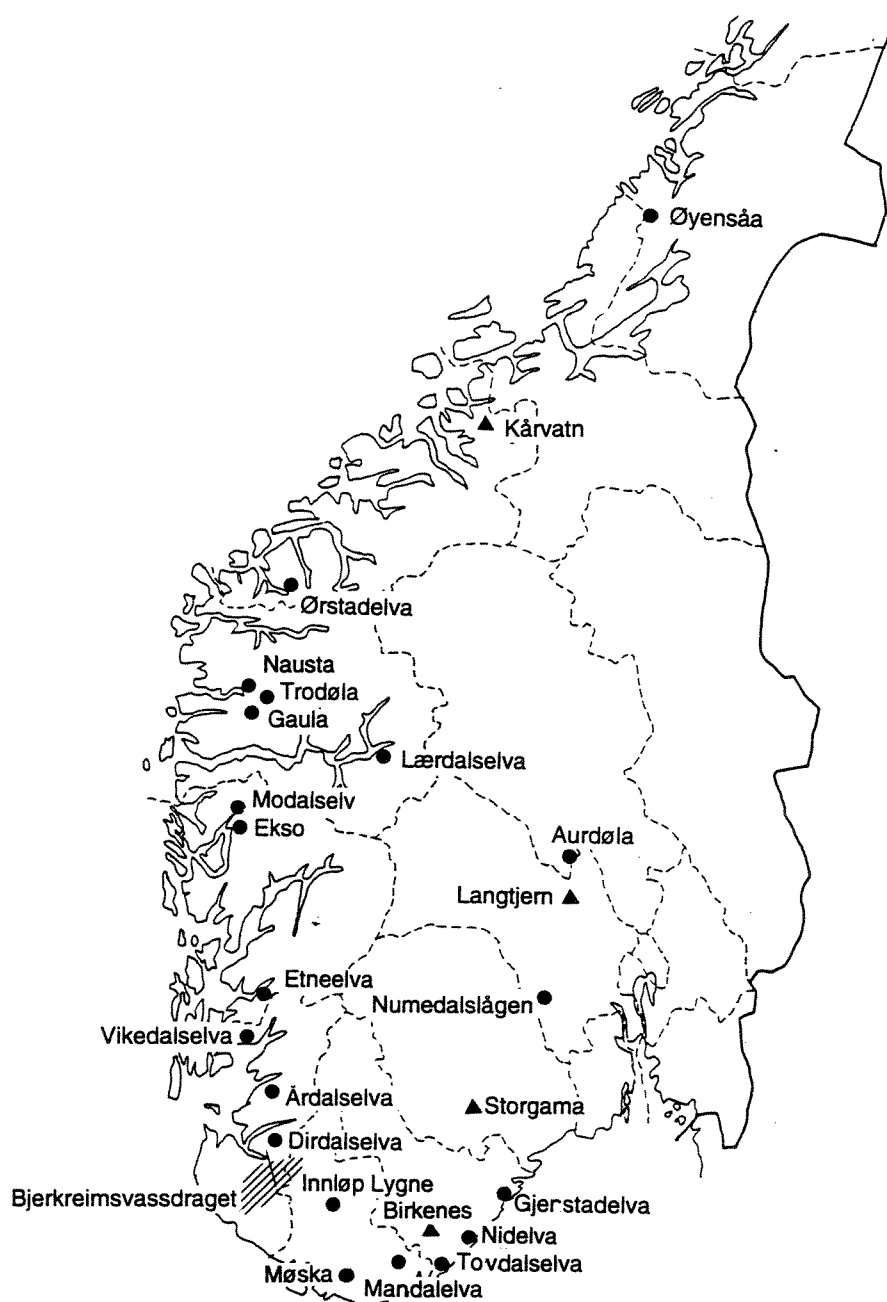
#### 3.1. Luft og nedbør

Været i januar 1993 var karakterisert av sterk vind og tildels betydelige nedbørmengder fra Lindesnes og nordover Vestlandet. I den første uken av januar dominerte en lavtrykksrenne mellom Island og Spitsbergen, og ga sterk vind med tildels orkans styrke på Finnmarkskysten. På Sørlandet og Vestlandet var vindretningen i denne perioden fra sør og sørvest, og nedbøren inneholdt forurensningskomponenter fra utslipp i Vest-Europa. Fra 5.-6. januar ble vindretningen mer vestlig og vindstyrken økte betydelig på Vestlandet sør for Stad. Høyeste middelvindstyrke på kysten av Vestlandet ble observert den 17., med vindstyrke helt opp til 31 m/s på Ytterøyane fyr utenfor Florø, men det ble observert betydelige vindstyrker i hele perioden. Figur 3 viser observerte vindstyrker på Lista fyr, Flesland og Sola.

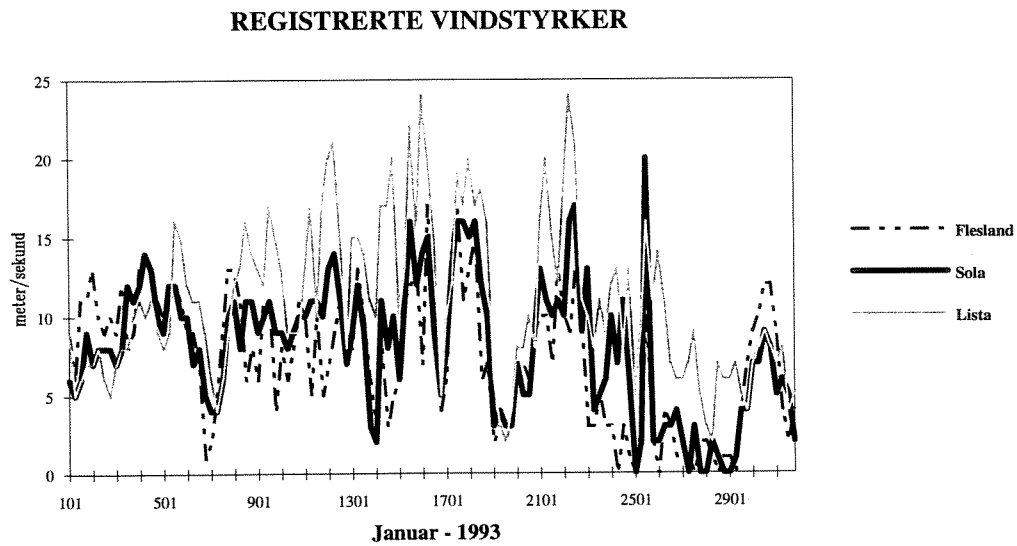
Luftmassene hadde sitt opphav i sørvest (figur 4) og ble ført med høy hastighet til Norge. På veien ble lufta anrikt med sjøsaltaerosoler og inneholdt av den grunn store mengder sjøsalter.

Temperaturen var også høy for årstiden, spesielt den 17. januar, og det ble registrert nedbørmengder vesentlig over normalen for januar på hele Vestlandet. Figur 5 viser døgnlige nedbørmengder for tre av NILUs målestasjoner. Det var betydelig nedbør de aller fleste dager i perioden 5.-23. januar.

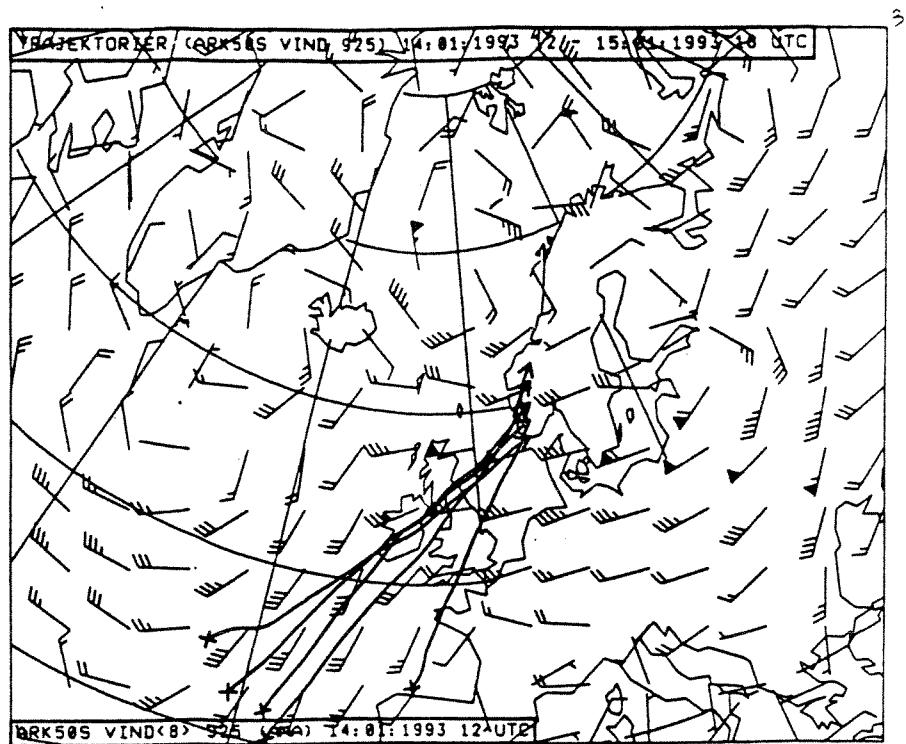
Sjøsaltaerosoler inngår normalt ikke i analyseprogrammet for luftfiltre. På enkelte av stasjonene som inngår i det nasjonale skogovervåkingsprogrammet er det likevel bestemt natrium, kalium og kalsium i ekstrakter fra luftfiltre, fordi disse elementene inngår i analyseprogrammene for kronedrypp og i generelle massebalansestudier. Resultatene for luftfiltre fra januar er gjengitt i figur 6, i det natriumkonsentrasjonen i luft er regnet om til klorid. Dette er gjort for å få sammenlignbare konsentrasjonsheter for luft og nedbør.



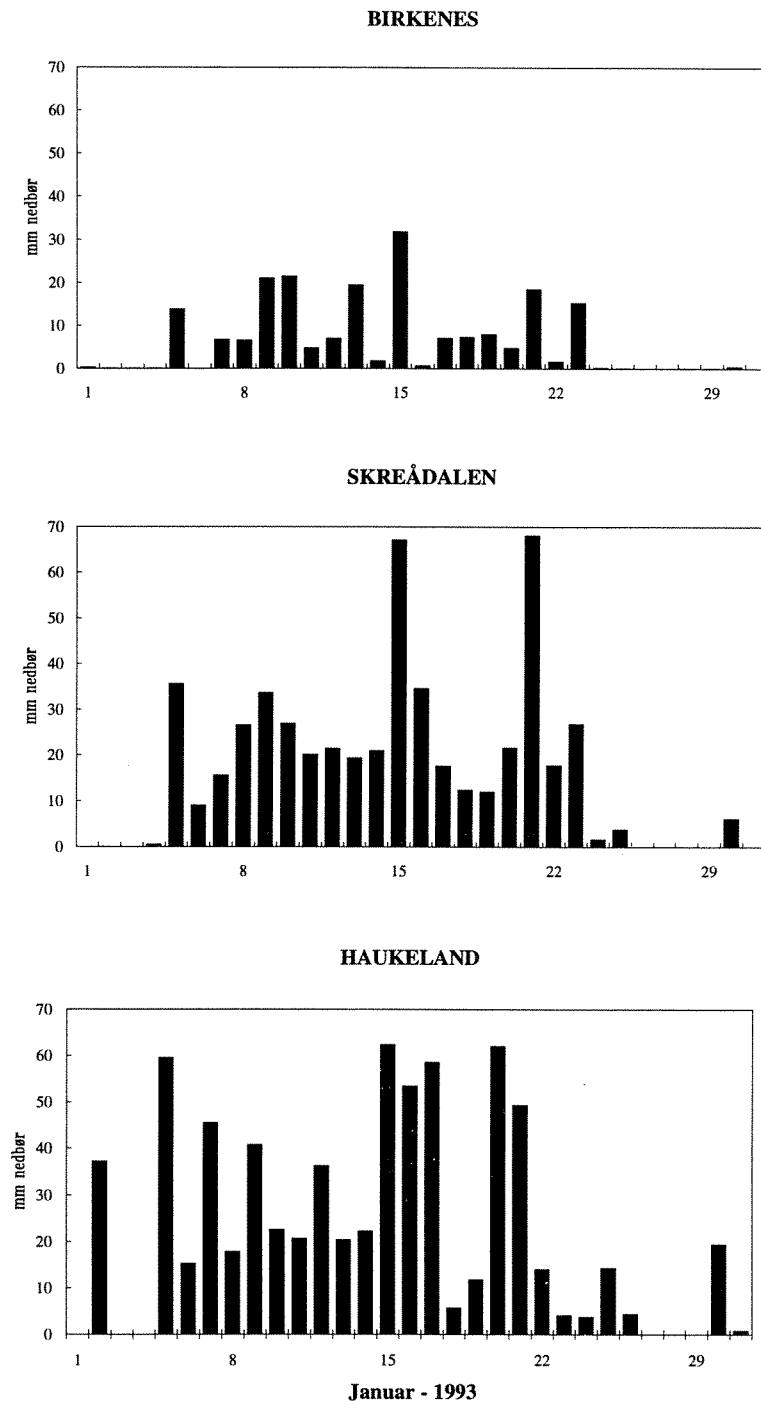
**Figur 2. Vassdrag og feltforskningsområder som er omtalt i denne rapporten.**



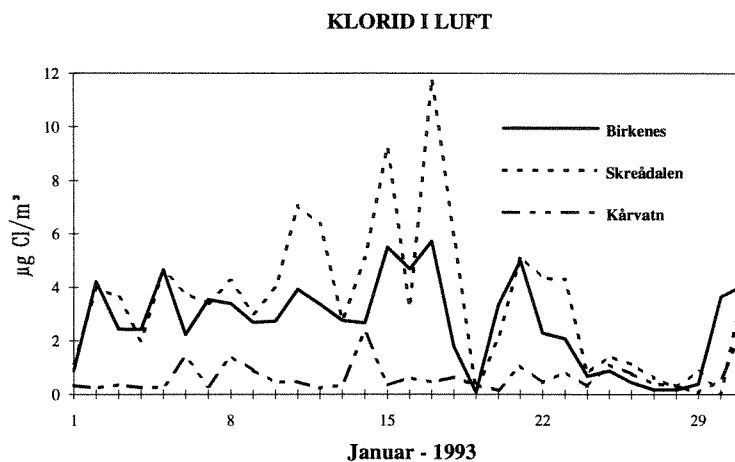
**Figur 3. Registrerte vindstyrker på DNMI's klimastasjoner Lista fyr, Flesland og Sola.**



**Figur 4. Trajektorier for vind som viser luftmassenes transportveier til fastsatte punkter i perioden 14. - 15. januar 1993. (Det norske meteorologiske institutt).**



**Figur 5. Døgnmidler for nedbør på stasjonene Haukeland, Skreådalen og Birkenes i januar 1993.**



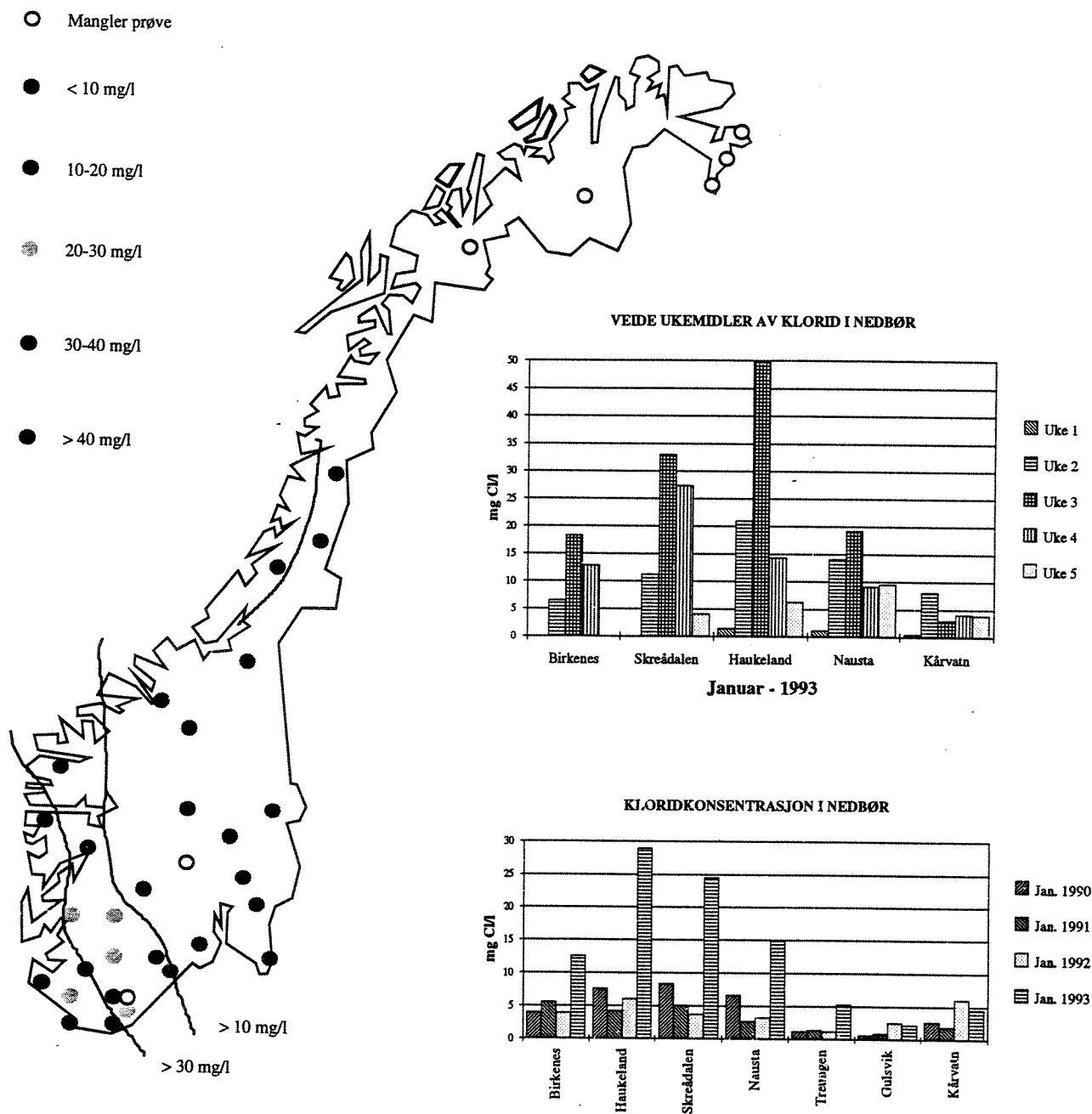
**Figur 6. Kloridkonsentrasjoner i luft i januar 1993 på stasjonene Skreådalen, Birkenes og Kårvatn. Beregnet fra natriumkonsentrasjoner i luftfiltre.**

Luftprøvetakingen er foretatt med en vanlig luftfilterprøvetaker, som har et innsugningsvolum på ca. 20 m<sup>3</sup>/døgn. Prøvetaking av aerodynamisk "store" partikler med partikkeldiameter over 10 µm er problematisk, kfr Vitols (1976), Steen og Andreasson (1974) og Barrett et al. (1982), spesielt ved høye vindstyrker, og resultatene representerer derfor sannsynligvis alvorlige underestimer av de reelle konsentrasjonene i perioden 4.-23. januar. Maksimal konsentrasjon ble målt til 12 µg/m<sup>3</sup>. Til sammenligning var konsentrasjonen av natrium i luft på Birkenes i perioden 1978-79 og i 1985 henholdsvis 0.51 og 0.35 µg/m<sup>3</sup>, tilsvarende 0.92 og 0.63 µg/m<sup>3</sup> klorid (Amundsen et al. 1992).

Figur 7 viser en sammenstilling av januardagsgjennomsnitt for kloridkonsentrasjon i årene 1990-1993 og ukedagsgjennomsnitt for kloridkonsentrasjon for januar 1993 på stasjonene Treungen, Birkenes, Skreådalen, Haukeland, Nausta og Kårvatn. Figuren viser også isolinjer for kloridkonsentrasjon i nedbør i uke 3 i 1993.

Resultatene fra enkeltstasjoner viser at det var meget høye konsentrasjoner og våtavsetninger av klorid følgende døgn og uker, se tabell 1.

## Klorid i nedbør, uke 3 - 1993



Figur 7. Ukemidler for kloridkonsentrasjon for januar 1993 på stasjonene Treungen, Birkenes, Skreådalen, Haukeland, Nausta og Kårvatn, januarmidler for kloridkonsentrasjon i årene 1990-1993, og isolinjer for kloridkonsentrasjon i nedbør i uke 3.

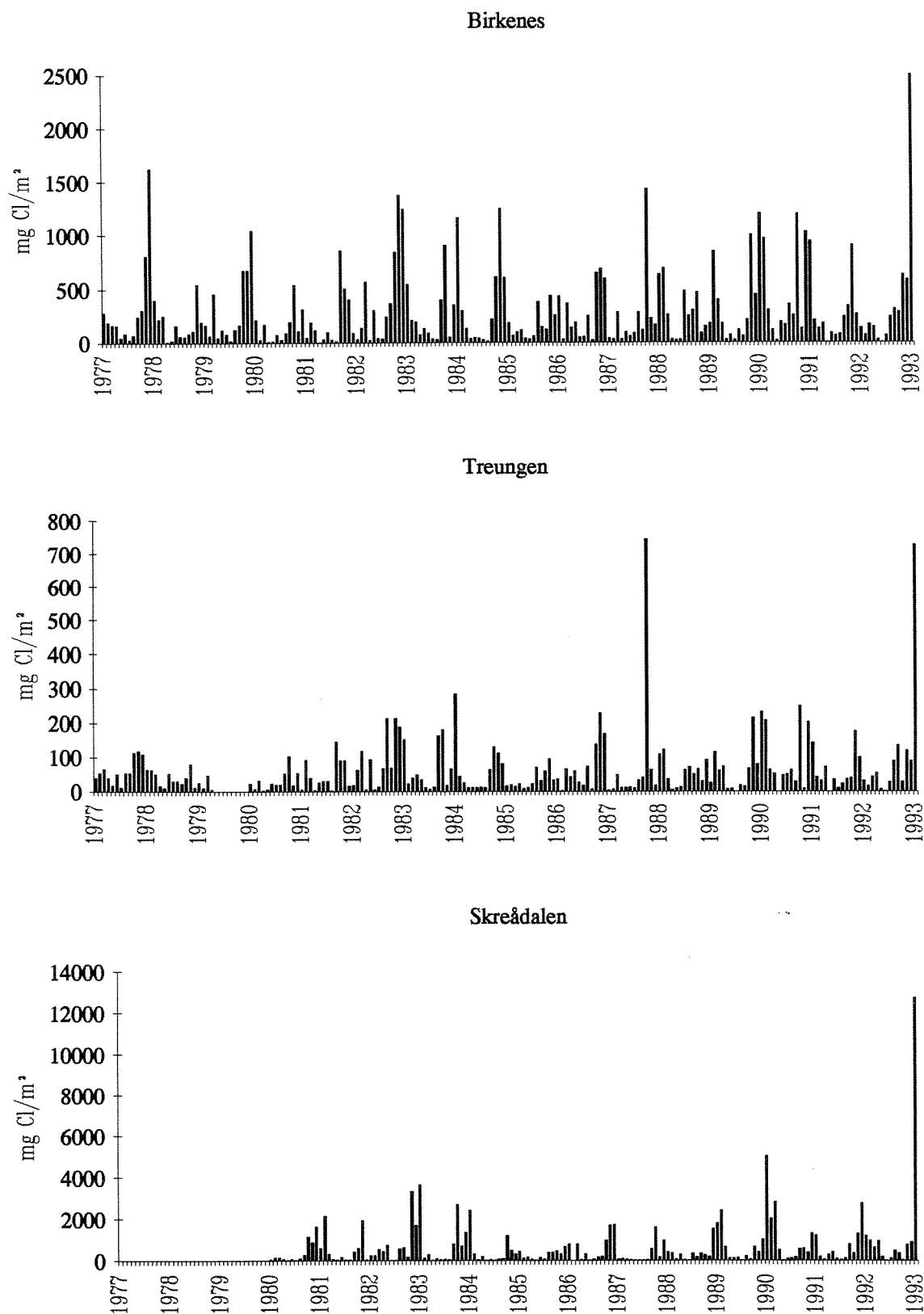


Tabell 1. Konsentrasjon og våtavsetning av klorid som døgn- og ukedobservasjoner.

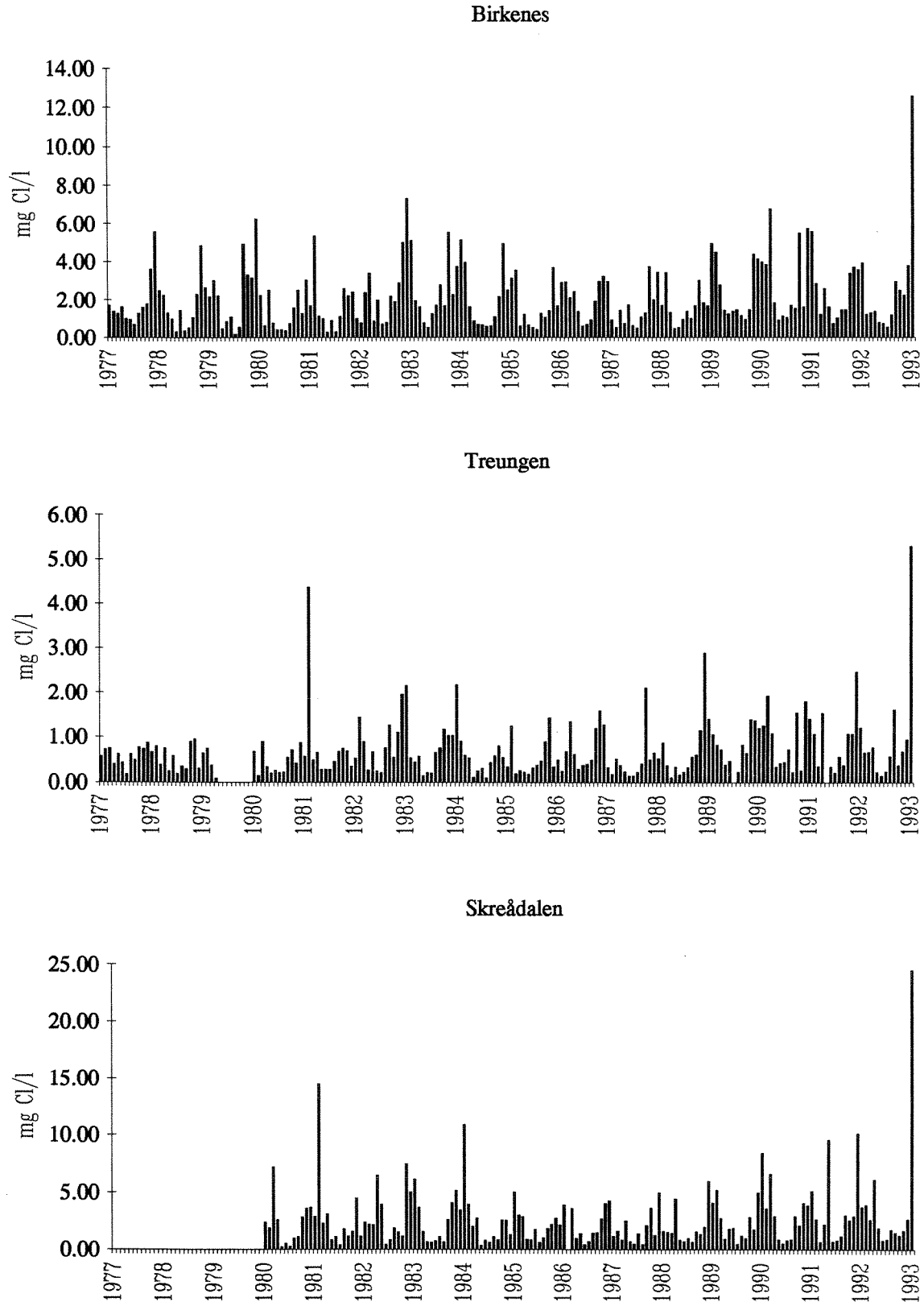
Intervall	Stasjon	mg/l	mg/m <sup>2</sup>	Periode
Døgn:	Skreådalen	139	2459	17/1-93
	Haukeland	125	7342	17/1-93
	Lista	2388	4258	17/1-93
	Lista	1760	4932	22/1-93
Uke:	Birkenes	18	1329	uke 3
	Haukeland	50	13641	uke 3
	Skreådalen	33	6647	uke 3
	Nausta	19	5160	uke 3
	Vatnedalen	32	4706	uke 3
	Ualand	22	2958	uke 3
	Ualand	56	5408	uke 4
	Lista	500	22383	uke 3
	Lista	312	14208	uke 4

I tabell 2 er konsentrasjoner av klorid i nedbør og våtavsetning av klorid i januar 1993 sammenliknet med veid gjennomsnitt i januar for årene 1990, 1991 og 1992. Tallene viser at de observerte konsentrasjonene i januar 1993 var omlag 3-5 ganger høyere enn verdiene for 1990-92. De høyeste konsentrasjoner ble gjennomgående observert den 17/1-93. Dette er som forventet da de høyeste vindstyrker ble observert omkring den 15. til 16. januar. Det ble observert høye kloridkonsentrasjoner i nedbør så langt øst/nord som til Vatnedalen og Valle i Setesdalen og Treungen i Vest-Telemark.

Våtavsetning som konsentrasjon (mg/L) og deponisjon (mg/m<sup>2</sup>) av sjøsalt i januar 1993 var vesentlig høyere enn tilsvarende verdier i perioden 1977-1992 på stasjonene Birkenes, Treungen og Skreådalen (figur 8 og 9). Eneste registrerte deponisjon av klorid som kommer opp mot januar 1993 er deponisjonen på Treungen i oktober 1987. Det uværet som herjet på det tidspunktet var da også meget kraftig. Som eksempel kan også nevnes at våtavsetningen på Lista i januar 1993 var hele 47 g Cl/m<sup>2</sup> mens den totale våtavsetningen av Cl i hele 1992 var 53 g Cl/m<sup>2</sup>.



**Figur 8. Månedlig våtavsetning av klorid ( $\text{mg}/\text{m}^2$ ) på tre overvåkingsstasjoner i perioden 1977-1993. (Merk forskjellig skala).**



**Figur 9. Veide månedsmidler av klorid (mg/L) på tre overvåkingsstasjoner i perioden 1977-1993. (Merk forskjellig skala).**

Tabell 2. Konsentrasjoner av klorid i nedbør og våtavsetning av klorid i januar 1993 sammenliknet med veid gjennomsnitt i januar for årene 1990, 1991 og 1992.

Kloridkonsentrasjoner i nedbør i januar  
(mg/L Cl)

Stasjon:	1990	1991	1992	1993
1. Gulsvik	0.6	0.9	2.6	2.2
2. Treungen	1.2	1.4	1.2	5.3
3. Birkenes	4.0	5.6	3.9	12.6
4. Skreådalen	8.4	5.1	3.8	24.5
5. Haukeland	7.6	4.2	6.0	28.9
6. Nausta	6.7	2.7	3.2	15.0
7. Kårvatn	2.7	2.0	6.1	4.6

Kloriddeposisjon i januar  
(g/m<sup>2</sup> Cl)

Stasjon	1990	1991	1992	1993
1. Gulsvik	0.06	0.05	0.04	0.06
2. Treungen	0.23	0.14	0.03	0.73
3. Birkenes	1.20	0.95	0.14	2.50
4. Skreådalen	5.05	1.23	1.21	12.75
5. Haukeland	6.07	1.39	3.19	20.34
6. Nausta	3.00	0.56	1.47	8.94
7. Kårvatn	0.31	0.12	2.23	0.78

### 3.2. Snøprøver

Snøprøver ble samlet inn på sju høyfjellslokaliteter (700-1100 moh) i Sør- og Vest-Norge i slutten av mars 1993. Hensikten var å undersøke om de store mengdene med sjøsalter som ble transportert inn over land i forbindelse med kraftige vinder i januar 1993 var til stede i snømassene.

Høye sjøsaltkonsentrasjoner ble registrert så langt inn i landet som bl.a. Valle og Vatnedalen i Setesdalen (avsnitt 3.1). Innsamlingen av snøprøvene ble konsentrert om felt over tregrensen i sentrale Sørvest-Norge i tillegg til Sogndal (se tabell 3 og figur 10). I de høyereliggende områdene ble det antatt at det var minst mulighet for utsmelting av de sjøsaltene som evt. var blitt transportert inn tidligere på året.

Snøprøvene ble samlet inn med plexiglassrør. Det ble gravd en profil fra snøoverflaten og ned til bakken, og prøvene ble tatt ved å presse plexiglassrøret gjennom snølagene i den oppgravede profilen. Hele snøprofilen ble delt i tre like store deler og analysert hver for seg.

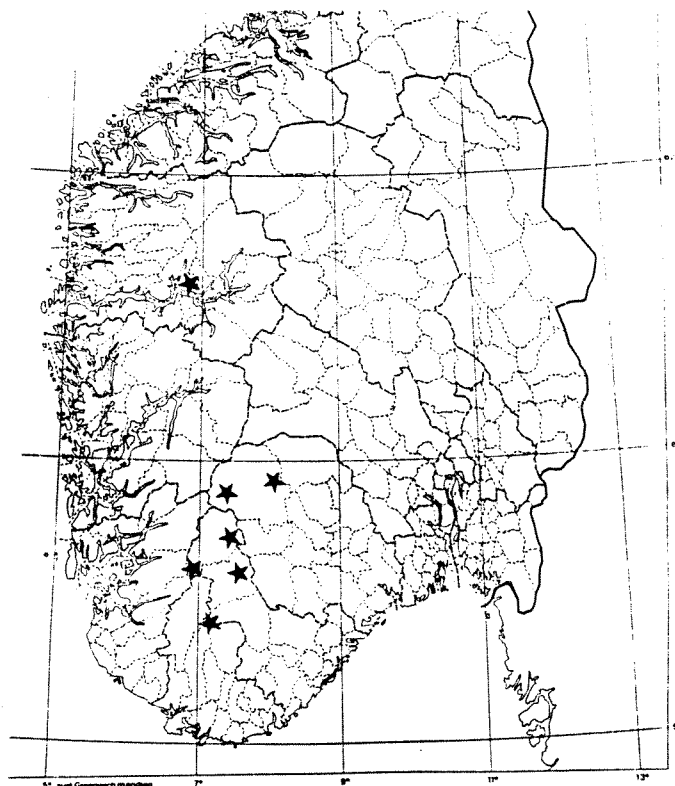
Midtre og nedre snølag fra Sæsvatn og Vatnedalen hadde markert høyere konsentrasjon av klorid enn øvre snølag. Det var også tilfellet for snøprøvene fra Kringlevatn. Det kan tyde på at en bevegelse av salter nedover i profilen allerede hadde satt igang på det tidspunktet prøvene ble tatt eller at nedbøren kom som regn. Prøvene fra Stavsvatn, Rennevatn og Øyarvatn hadde relativt lave verdier i hele snøprofilen. Prøvene fra Sogndal hadde markert høyere konsentrasjon av klorid, men det var ingen systematisk variasjon i konsentrasjonen nedover i snøprofilen. Også sulfatkonsentrasjonene var høyere i snøen fra Sogndal. pH varierte innenfor området 4.97-5.76 for alle prøvene.

Tabell 3. Prøvetakingslokaliteter for snøprøver i Sør- og Vest-Norge i mars 1993.

Lokalitet		Høyde over	
		havet	Snøbybde
1. Sæsvatn	Vinje, Telemark	900 m	80 cm
2. Vatnedalen	Bykle, Aust-Agder	700 m	150 cm
3. Stavsvatn	Vinje, Telemark	1100 m	90 cm
4. Rennevatn	Valle, Aust-Agder	1000 m	130 cm
5. Kringlevatn	Bykle, Aust-Agder	940 m	180 cm
6. Øyarvatn	Valle, Aust-Agder	900 m	110 cm
7. Sogndal (I)	Sogn og Fjordane	900 m	290 cm
Sogndal (II)	Sogn og Fjordane	900 m	230 cm
Sogndal (III)	Sogn og Fjordane	940 m	360 cm
Sogndal (IV)	Sogn og Fjordane	900 m	ca. 700 cm

Tabell 4. Måleresultater av pH, konduktivitet, sulfat og klorid i snøprofiler fra Sør og Vest-Norge i mars 1993. (Kond i mS/m; SO<sub>4</sub> og Cl i mg/L).

Lokalitet	Øvre snølag				Midtre snølag				Nedre snølag			
	pH	Kond	SO <sub>4</sub>	Cl	pH	Kond	SO <sub>4</sub>	Cl	pH	Kond	SO <sub>4</sub>	Cl
Sæsvatn	5.45	0.77	0.2	0.9	5.44	1.15	0.4	2.3	5.38	1.78	0.7	3.6
Vatnedalen	5.35	0.56	<0.2	0.8	5.28	1.66	0.5	3.5	5.00	1.56	0.6	2.4
Stavsvatn	5.05	1.03	0.7	1.1	5.02	0.74	0.4	0.4	5.02	0.68	0.4	0.2
Rennevatn	5.38	0.45	<0.2	0.7	5.45	0.36	<0.2	0.2	5.41	0.43	<0.2	0.4
Kringlevatn	5.32	0.78	0.3	1.3	5.37	0.65	0.2	0.9	5.34	1.68	0.7	3.4
Øyarvatn	5.34	0.55	<0.2	0.7	5.23	0.65	<0.2	0.8	5.46	0.41	<0.2	0.4
Sogndal (I)	5.60	1.21	1.1	1.5	5.42	0.96	0.4	1.5	4.97	1.52	1.0	1.9
Sogndal (II)	5.25	1.84	1.0	3.5	5.76	0.66	0.3	1.0	5.25	2.08	0.9	4.5
Sogndal (III)	5.30	3.35	1.3	7.4	5.28	2.58	1.0	5.7	5.39	4.92	1.9	10.5
Sogndal (IV)	5.17	1.33	0.5	2.0	5.44	3.40	1.3	7.2	5.41	1.46	0.6	2.6



**Figur. 10. Prøvetakingslokaliteter for snøprøver i Sør- og Vest-Norge mars 1993.**

### 3.3. Feltforskningsområder og vassdrag

Programmet for overvåking av langtransportert forurenset luft og nedbør, i regi av Statens forurensningstilsyn (SFT), har rutinemessig innsamling av vannprøver fra en rekke lokaliteter på Sør- og Vestlandet. Forskningsprogrammet "Nitrogen fra fjell til fjord", som er et samarbeidsprosjekt mellom NILU, NISK, NIVA og JORDFORSK, har også en rutinemessig prøveinnsamling fra ca 20 lokaliteter i Bjerkreimsvassdraget. Lygnavassdraget overvåkes av NIVA på oppdrag fra Direktoratet for naturforvaltning i sammenheng med kalkingen av vassdraget. Data fra følgende lokaliteter er brukt i denne rapporten:

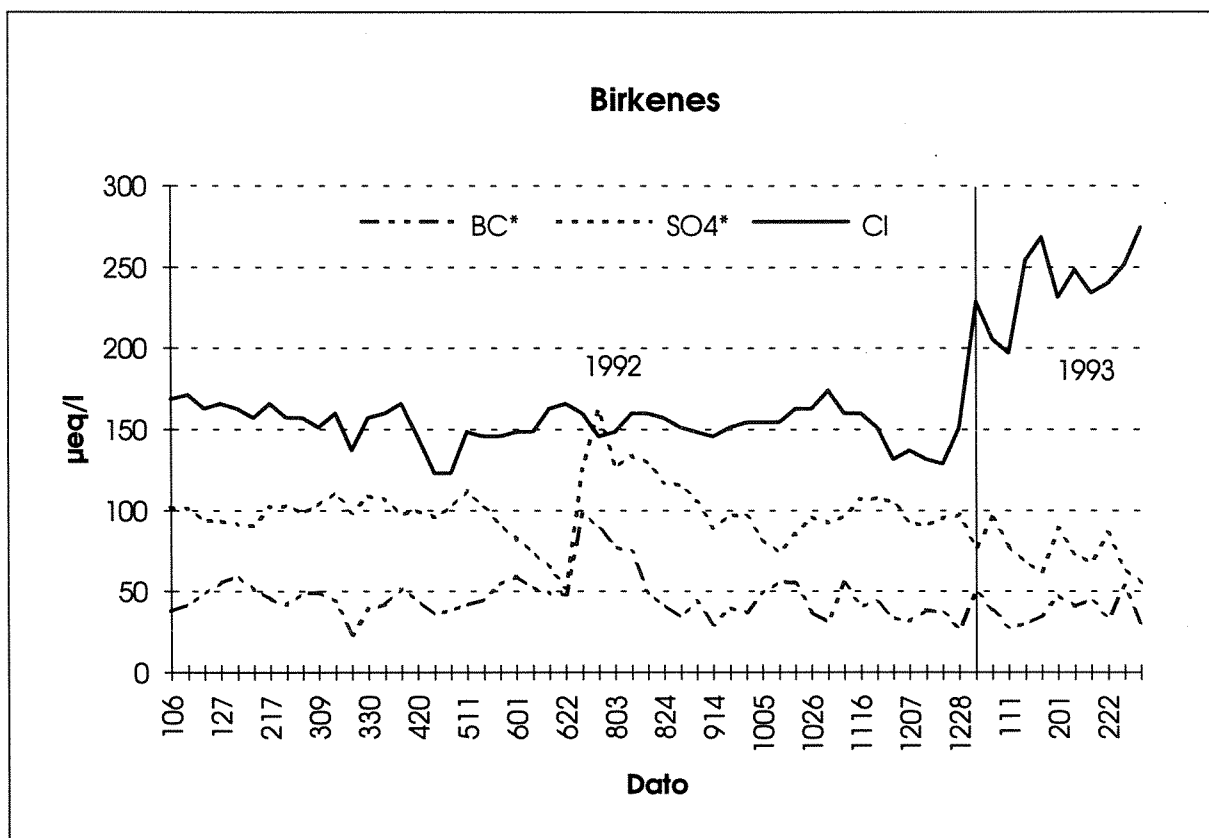
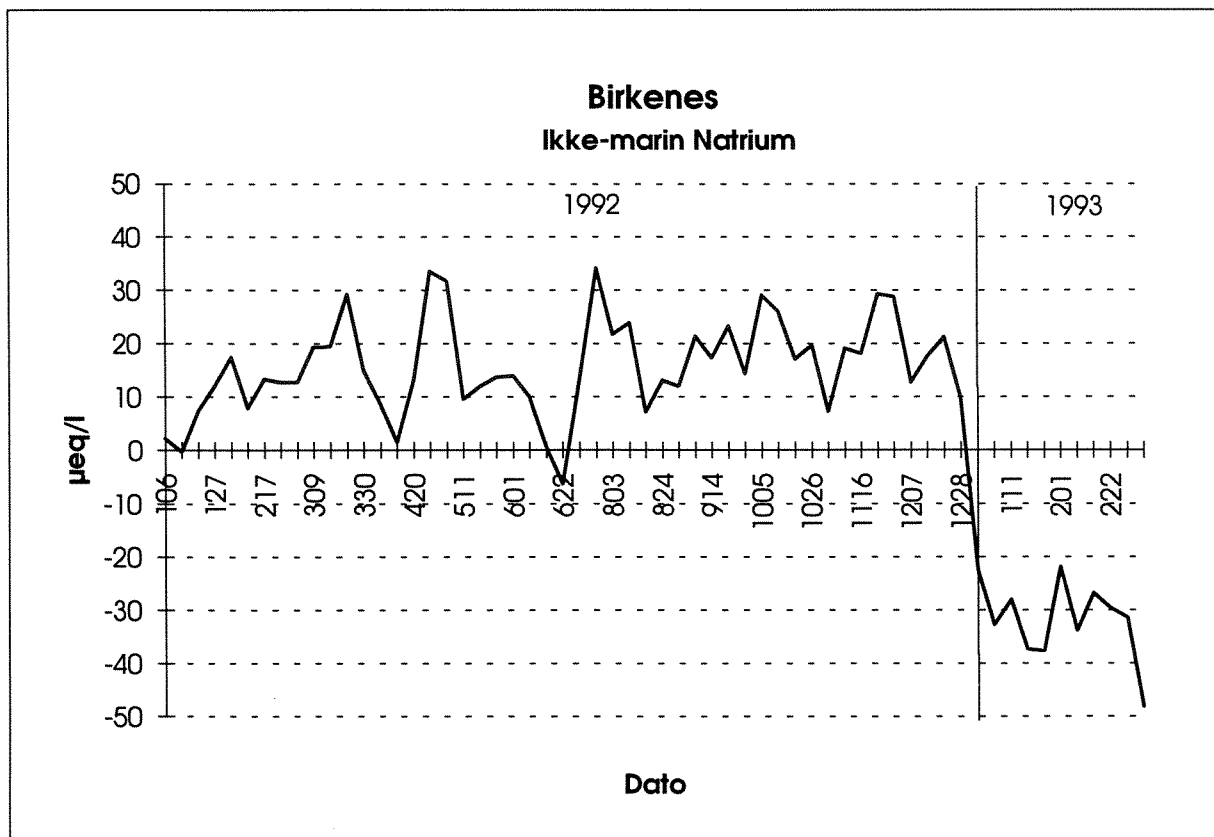
1. Feltforskningsområdene i Birkenes (Aust-Agder), Storgama (Telemark), Kårvatn (Møre og Romsdal) og Langtjern (Buskerud).
2. Bjerkreimsvassdraget (Rogaland)
3. Lygnavassdraget (Vest-Agder)
4. Overvåkingselvne Aurdøla, Numedalslågen, Gjerstadelva, Nidelva, Mandalselva, Tovdalselva, Dirdalselva, Årdalselva, Vikedalselva, Etneelva, Nausta, Trodøla i Naustdal, Eldalselva i Gaularvassdraget, Ekso, Modalselva, Lærdalselva, Ørstaelva og Øyensåa.

Fra feltforskningsområdene samles det inn prøver på ukebasis. Bjerkreimsvassdraget og deler av Lygnavassdraget ble prøvetatt hver fjortende dag. For overvåkingselvene er prøvetakingen en gang pr. måned og med ukentlig prøvetaking under snøsmeltingen. I Trodøla i Naustdal tas det prøver ukentlig. Nedbørdataene viser at det forekom flere episoder med høyt innhold av sjøsalter. Responstiden i et nedbørfelt vil være avhengig av nedbørfeltets størrelse og hydrologi, slik at en ukentlig eller månedlig prøvetaking ikke nødvendigvis vil fange opp maksimaleffekten av en sjøsaltepisode. Vi har imidlertid for hver prøvetakingslokalitet valgt ut dataene for den prøve som har den mest negative ikke-marine natriumkonsentrasjon, og sammenliknet med den siste prøven som ble tatt før sjøsaltepisoden inntraff. Vi ser først på variasjonene på ukebasis av ikke-marin Na og noen andre komponenter i Birkenes og i Trodøla i Naustdal.

**Feltforskningsområdet i Birkenes** ligger i det området av Norge som mottar den sureste nedbøren (SFT 1992). Figur 11 viser variasjonene i de ikke-marine konsentrasjonene av natrium, sulfat og basekationer (Ca+Mg), samt klorid, pH, labilt aluminium og nitrat fra og med 6. januar 1992. Den ikke-marine natriumkonsentrasjonen fikk et kraftig fall i begynnelsen av januar 1993 og var negativ iallfall til begynnelsen av mars. I denne perioden var kloridkonsentrasjonene nær det dobbelte av gjennomsnittet for 1992. Samtidig viser konsentrasjonen av sulfat en nedgang, mens basekationkonsentrasjonen holder seg stabil. pH viser en klar nedgang og aluminium en klar økning i sammenheng med sjøsaltepisodene. pH var imidlertid like lav og labilt aluminium nesten like lav i august 1992, men her var årsaken til pH-fallet tilførsler av sterkt sur nedbør. Det reflekteres i en klar økning av konsentrasjonene av ikke-marin sulfat og nitrat. Selv om vannkvaliteten i Birkenes idag er kronisk giftig for fisk, illustrerer disse resultatene klart at i Birkenes kan sterke sjøsaltepisoder gi like "giftige" episoder for fisk som nedbør med mye sulfat og nitrat.

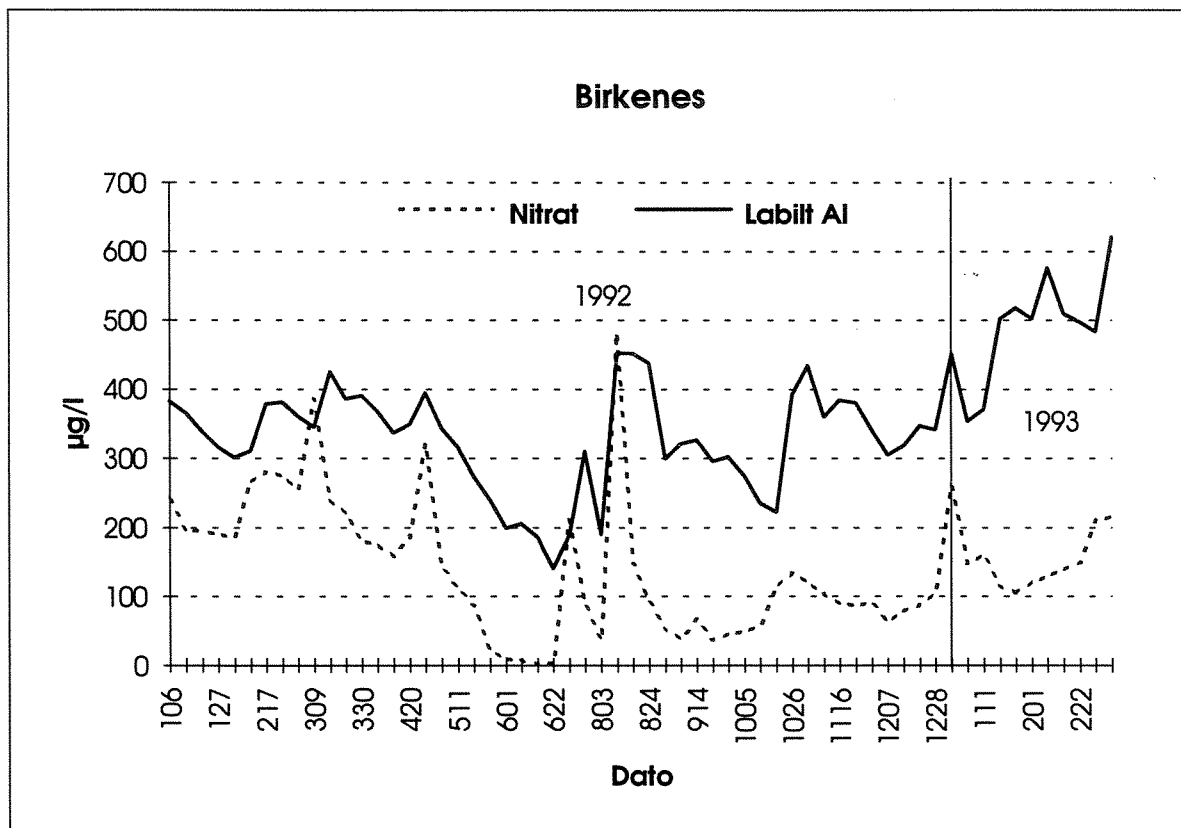
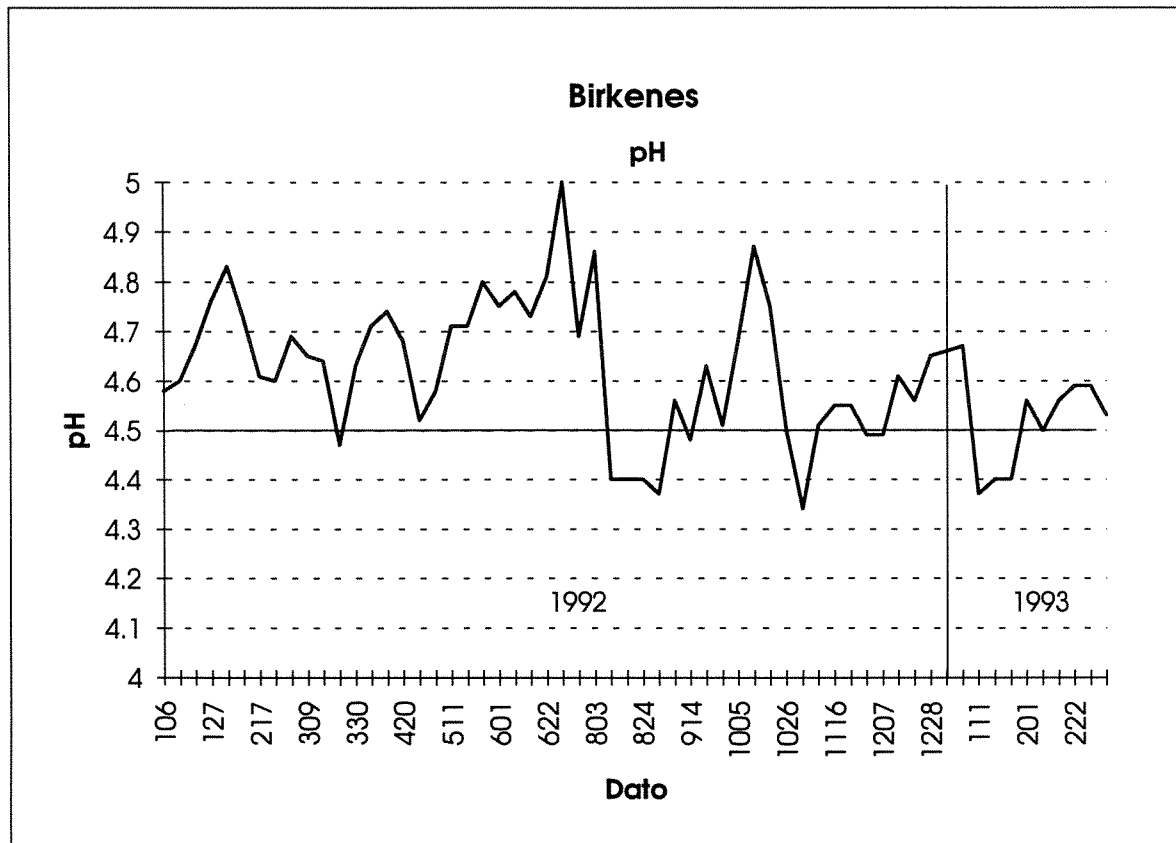
**Naustas sidevassdrag Trodøla** i Sogn og Fjordane drenerer hovedsakelig nedbørfeltet til Trodalvatn (SFT 1986). Nausta ligger i et område i Norge som mottar relativt lite forurenset nedbør (SFT 1992). Figur 12 viser variasjonene i pH, klorid og de ikke-marine konsentrasjonene av natrium, basekationer og sulfat for årene 1991-1993. Nyttårsstormen på Vestlandet i 1991/1992 reflekteres klart i en fordobling av kloridkonsentrasjonen, som igjen resulterte i en negativ konsentrasjon av ikke-marin natrium og en nedgang i pH (5.08). Stormene i januar 1993 ga imidlertid vesentlig høyere kloridkonsentrasjon i Trodøla; 440 µeq/L, dvs. 15,6 mg/L, den 13. januar. Det er ca. 5 ganger den normale konsentrasjonen. Denne gangen ble det en dramatisk nedgang i pH (4,84). Konsentrasjonen av labilt Al økte fra 30 til 90 µg/L, og de vannkjemiske forholdene var sannsynligvis kritiske for fisk. Samtidig økte konsentrasjonen av basekationer og sulfatkonsentrasjonen avtok. Det er ikke blitt rapportert om observasjoner av død fisk i vassdraget, men noen nærmere undersøkelse er heller ikke foretatt.

Variasjonene i vannkjemien i både Birkenes og i Trodøla viser at stormen i januar ga en meget sterk "sjøsalteffekt" begge steder. I Trodøla resulterte den i den laveste pH-verdi som er registrert i elva siden målingene startet i 1985. Nedgangen i ikke-marin natrium ble kompensert delvis med en økning i konsentrasjonene av H<sup>+</sup>, labilt Al og basekationer. I Birkenes falt pH ned til et nivå en ellers bare finner under sterkt sure nedbørepisoder, og nedgangen i ikke-marin natrium ble her kompensert av en sterk økning i H<sup>+</sup> og labilt aluminium. Begge steder var det en reduksjon i sulfat.

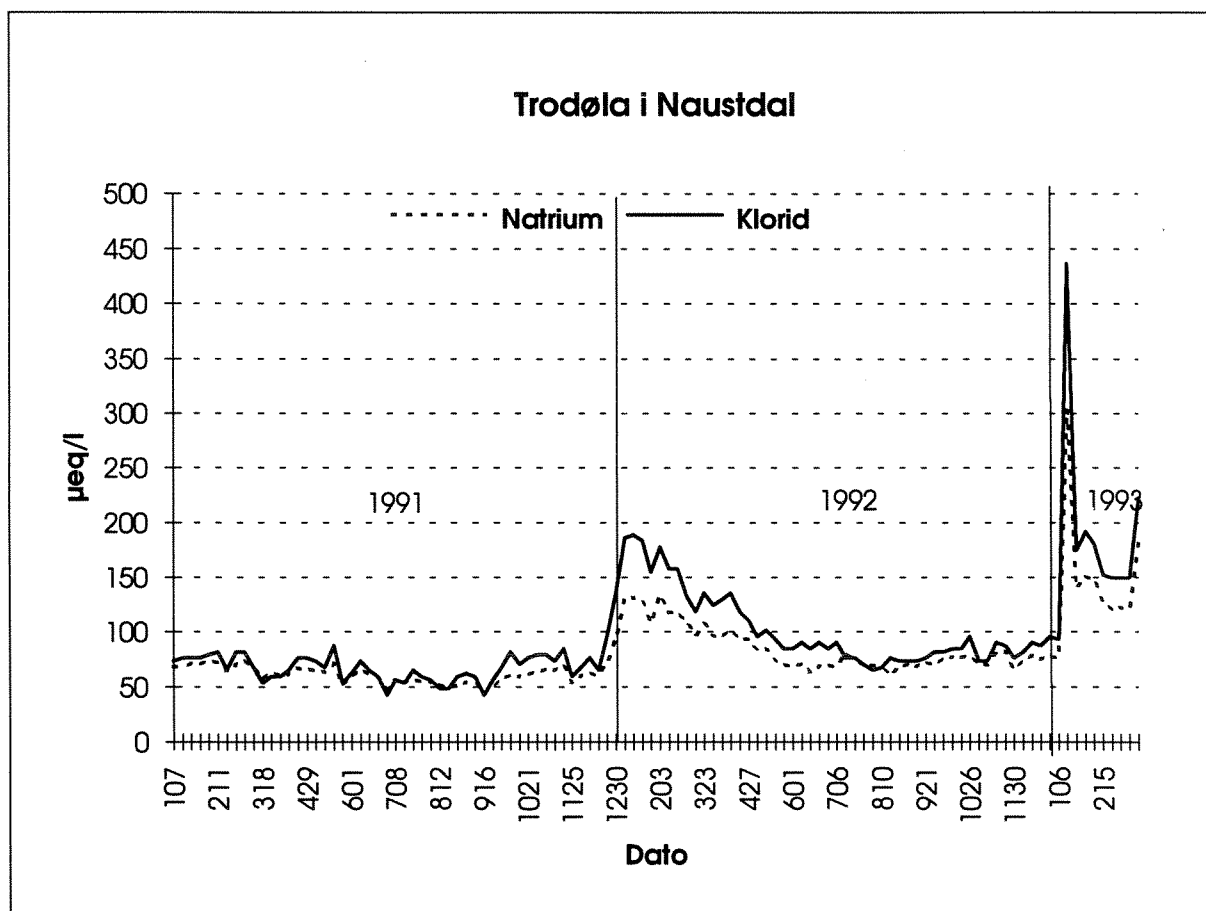
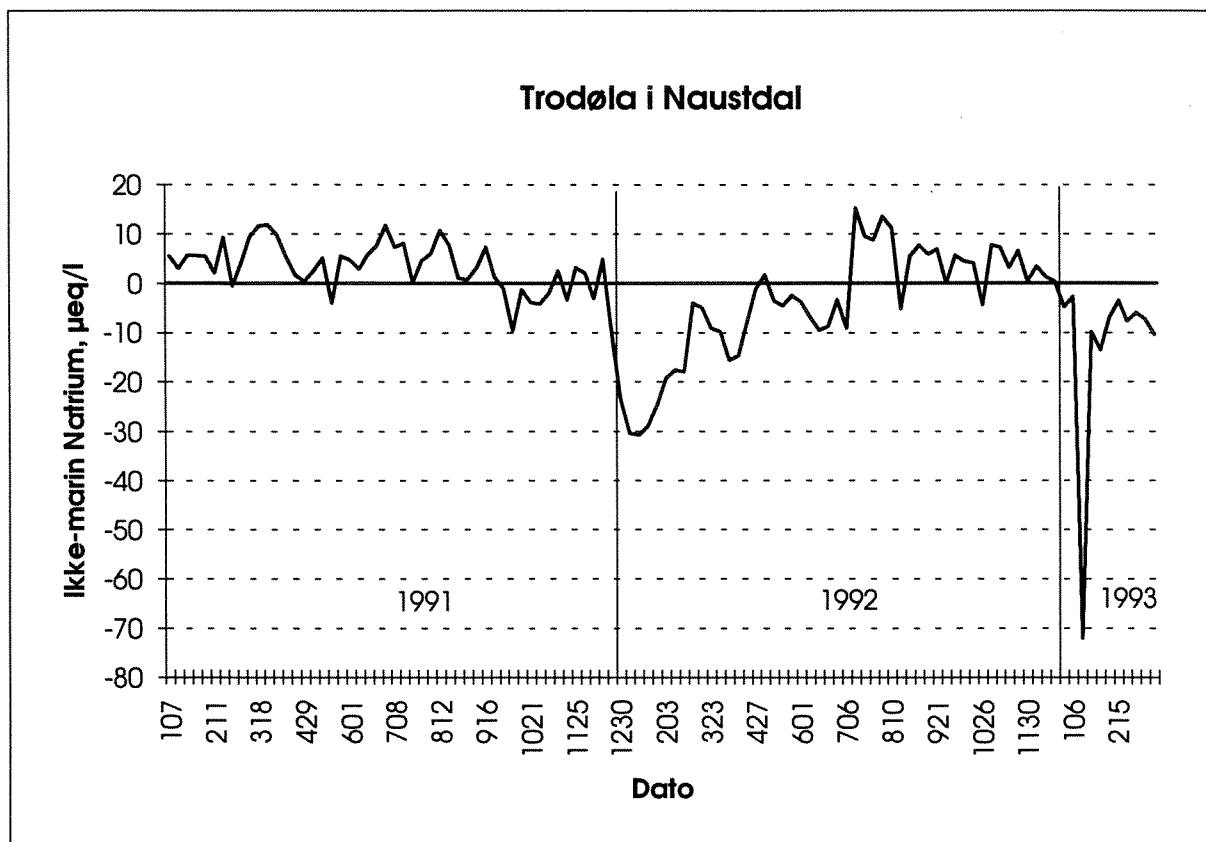


**Figur 11. Variasjoner i ikke-marin natrium og noen andre komponenter i Birkenesbekken i 1992 og 1993.**

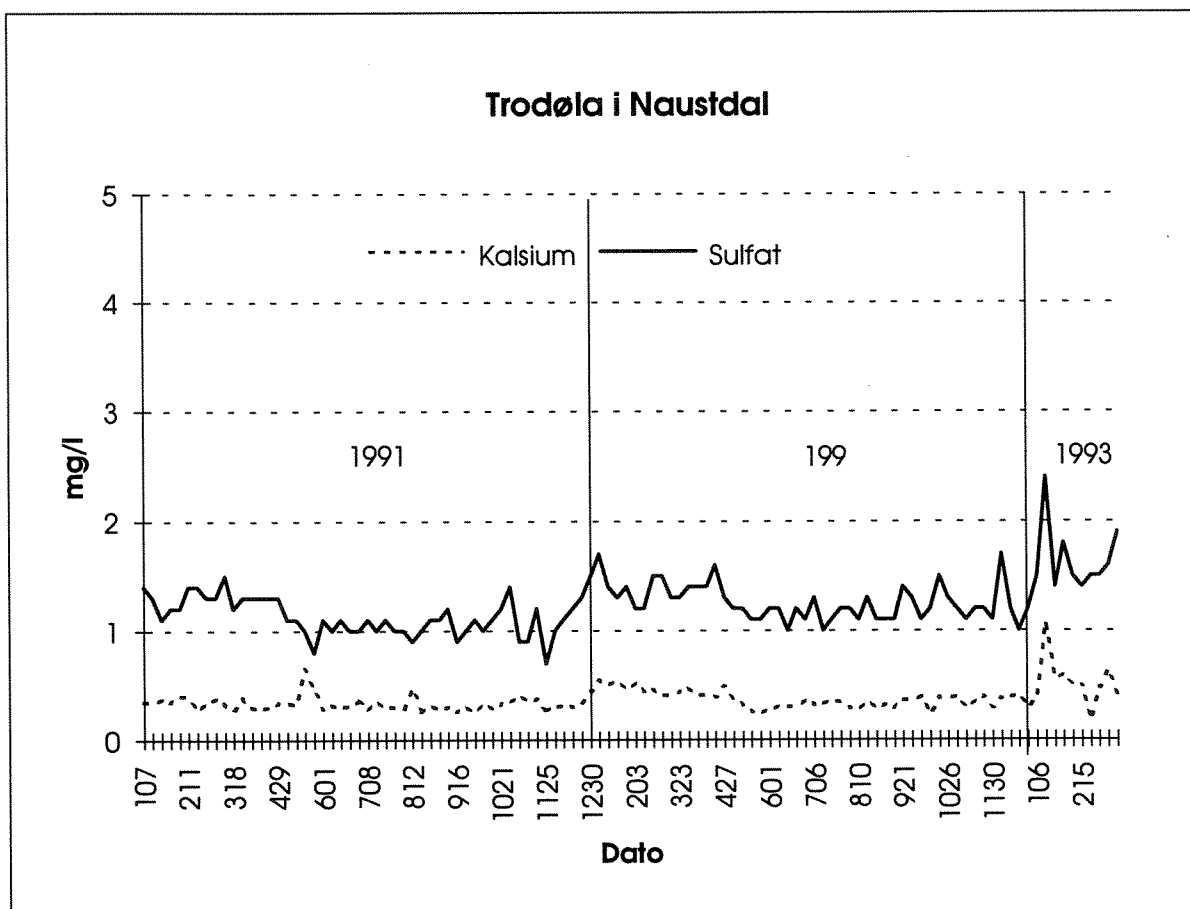
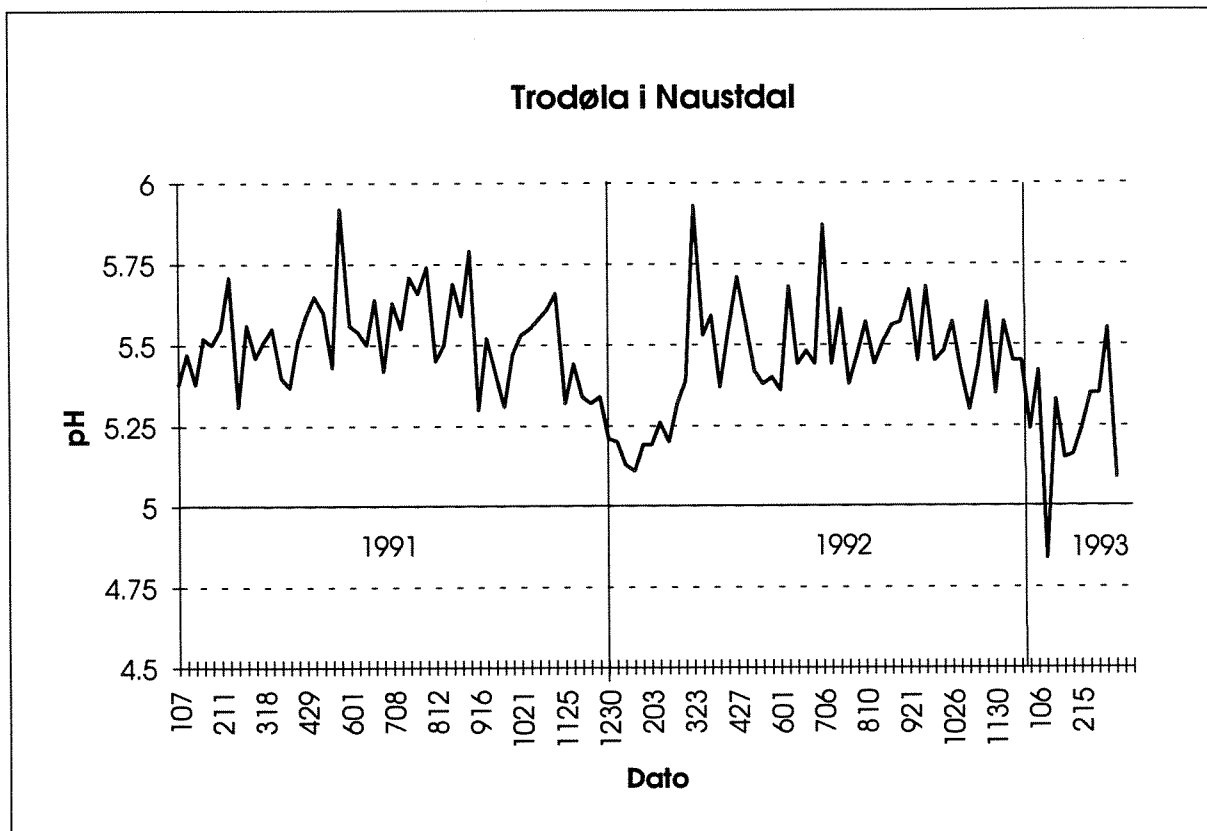




**Figur 11, forts. Variasjoner i ikke-marin natrium og noen andre komponenter i Birkenesbekken i 1992 og 1993.**



**Figur 12. Variasjoner i ikke-marin natrium og noen andre komponenter i Trodøla i Naustdal i perioden 1991-1993.**



**Figur 12, forts. Variasjoner i ikke-marin natrium og noen andre komponenter i Trodøla i Naustdal i perioden 1991-1993.**

## Endringer i kloridkonsentrasjonene.

I figurene 13-15 har vi avsatt konsentrasjonene av klorid før og etter nedbørepisodene for overvåkingselvene, Bjerkreims- og Lygnavassdraget og feltforskningsområdene. Data fra Nidelva ved Arendal og overvåkingselvene videre østover viser ingen markert påvirkning av sjøsalt. Det er først når en kommer til Tovdalselva at virkningen var merkbar. Lygna i Vest-Agder og Dirdalselva i Rogaland viser markert høye forholdstall mellom klorid etter og før episoden. Forholdstallet er høyest i Ekso og Gaula (figur 16), dvs. området omkring Sognefjorden. I Ekso ble det registrert fiskedød i forbindelse med episoden. Hoveddelen av Lærdalselvas nedbørfelt ligger langt fra kysten, slik at sjøsaltpåvirkningen her totalt sett ble liten. De høyeste konsentrasjonene av klorid etter nedbørepisoden finner vi i Øyensåa i Nord-Trøndelag, men forholdstallet er relativt lavt. Området er ikke forsuret og vannkvaliteten ble derfor ikke forverret, et resultat som er i overensstemmelse med konklusjonen til Heath et al (1992) om at prosessen krever surt jordsmonn. Omfanget av episoden videre nordover fra Øyenså er ikke kjent.

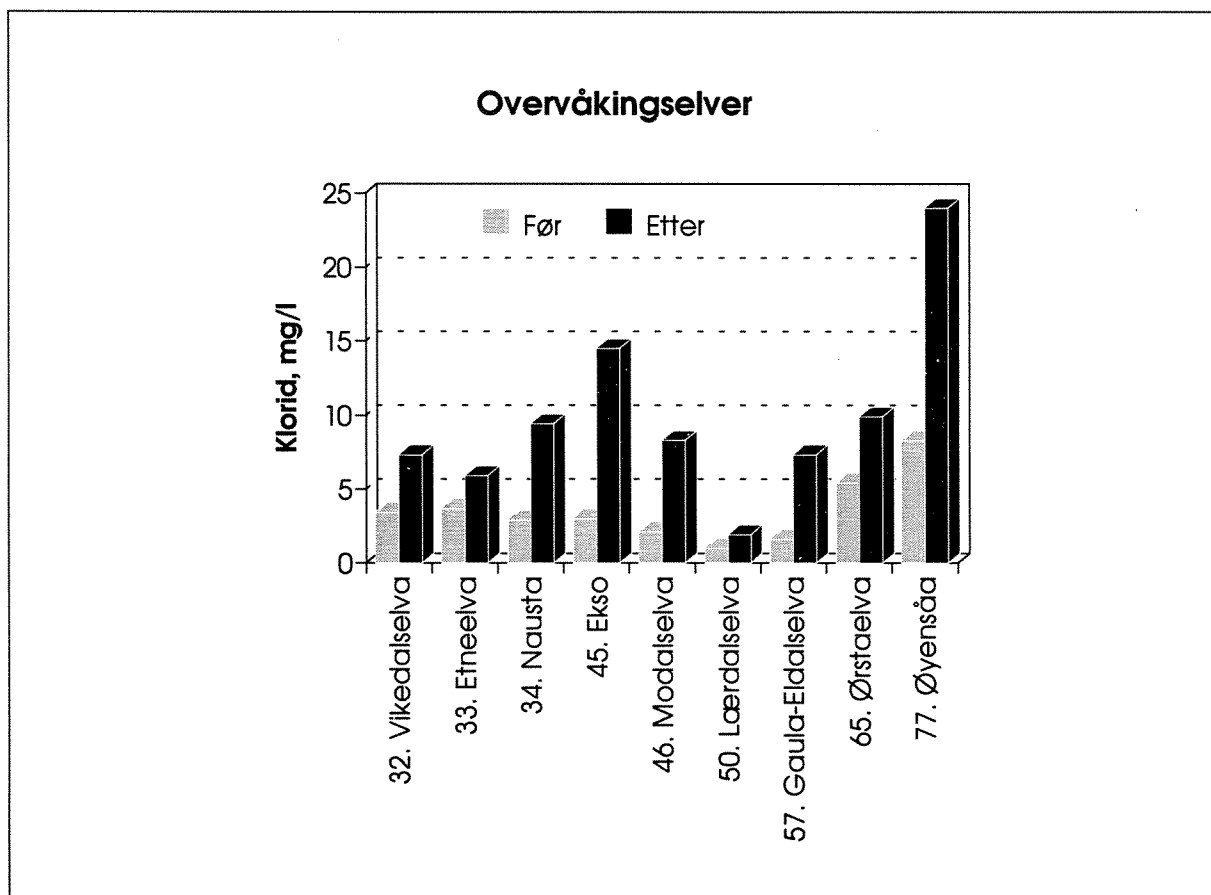
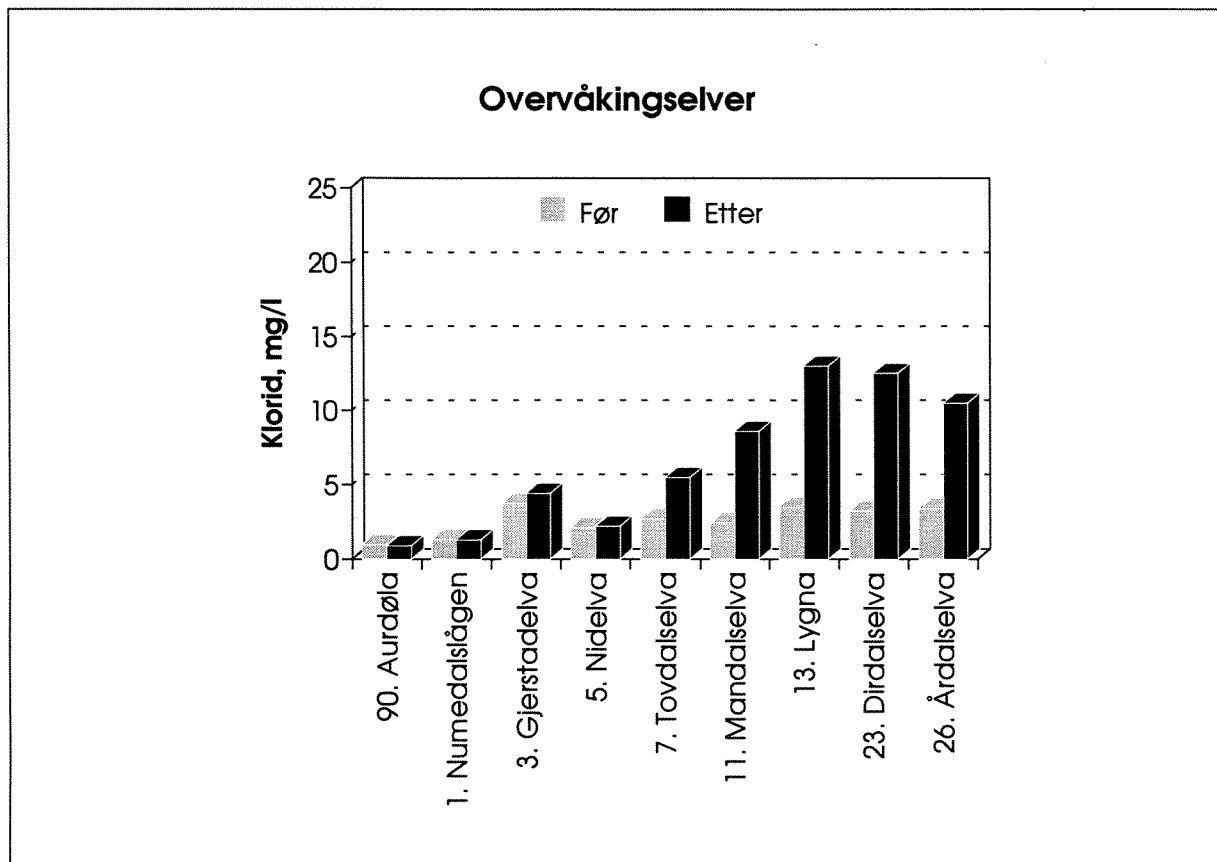
For **Bjerkreimsvassdraget** var virkningene av sjøsaltepisodene knapt merkbare i hovedvassdraget og i de store innsjøene (figur 14), bare en svak økning i kloridkonsentrasjonene er registrert. På grunn av vassdragets store innsjøer vil episoder av denne typen jevnes ut. For sidevassdragene, som tilløpselvene til Ørsdalsvatn og Skjevelandsåna og Storsheiåna var effekten merkbar, men effektene er som ventet størst i de små delfeltene.

I Svelabekken økte konsentrasjonen av klorid til 56 mg/l etter episoden og kloridforholdet etter/før ble så høyt som 10 (figur 14). Nedbørfeltet til Svelabekken er tilplantet med skog slik at den høye kloridkonsentrasjonen åpenbart skyldtes at skogen fanger opp ekstra store mengder sjøsalter.

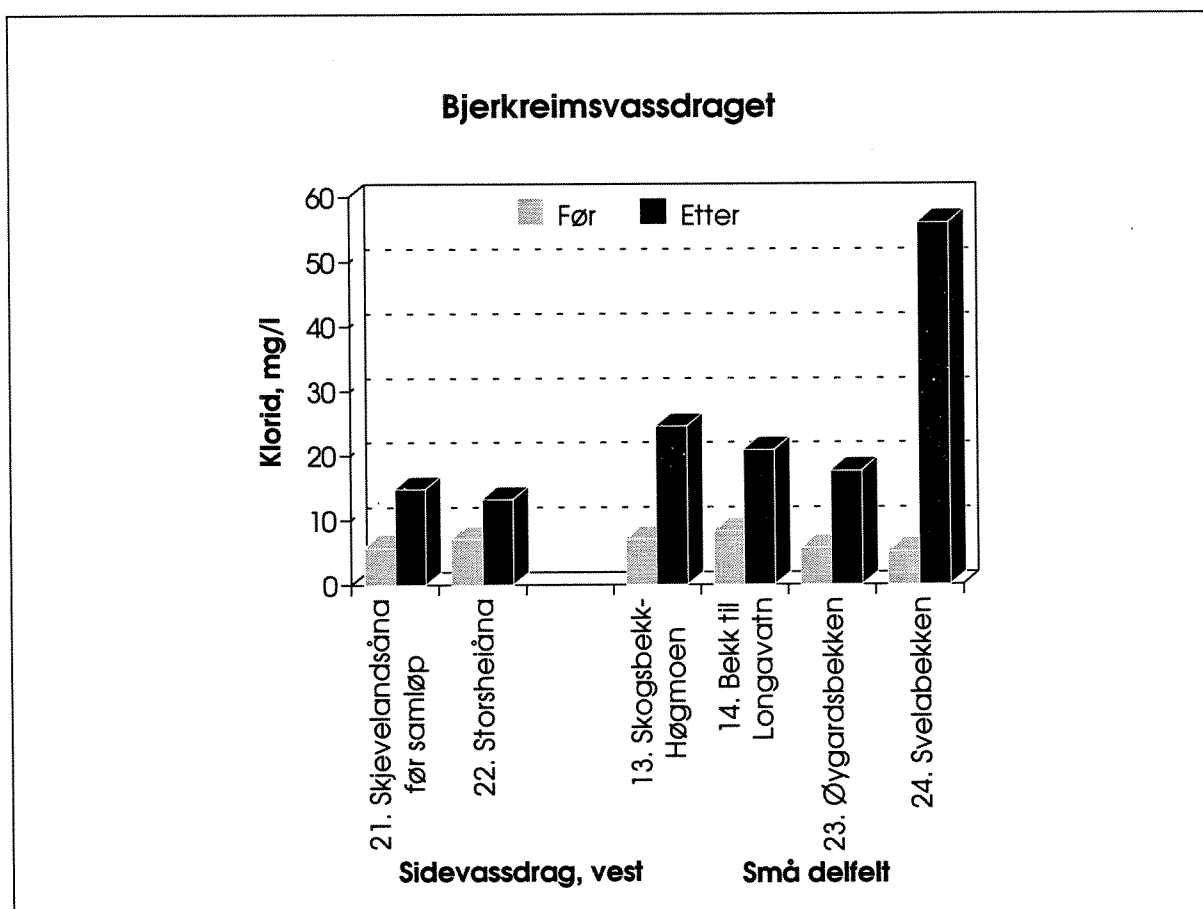
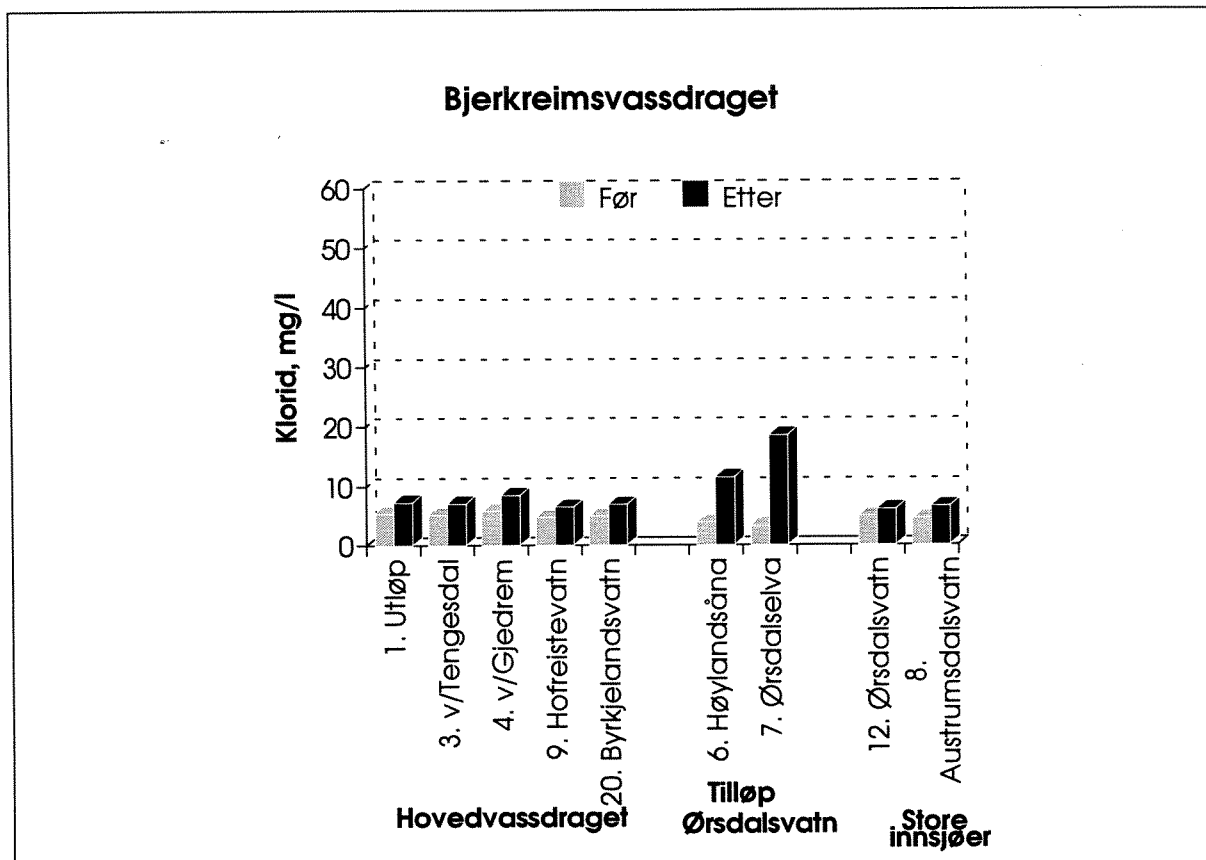
I flere av de små delfeltene er det montert måledam og proporsjonalprøvetaker, slik at prøvene som er tatt her er volumveide blandprøver for en 14-dagers periode. Når vannførings- og nedbørdata blir tilgjengelige kan en her beregne kloridfluksene inn og ut av nedbørfeltet.

Feltforskningsområdene Birkenes og Storgama (figur 15) fikk en kloridøkning på 2-3 ganger. Kårvatn og Langtjern ligger utenfor det området av landet som var utsatt for sjøsaltepisoder og viste derfor ingen signifikante endringer i kloridkonsentrasjonene.

Underskuddet av ikke-marin natrium er klart korrelert til forholdstallet mellom kloridkonsentrasjonene i vassdragene etter og før episoden (figur 16). Jo høyere relativ økning i kloridkonsentrasjon, jo mer natrium blir ionebyttet. Sjøsalteffekten synes derfor korrelert mer til økningen i kloridkonsentrasjon i forhold til "normal"-konsentrasjonen, se også Heath et al. 1992, enn konsentrasjonen i seg selv.

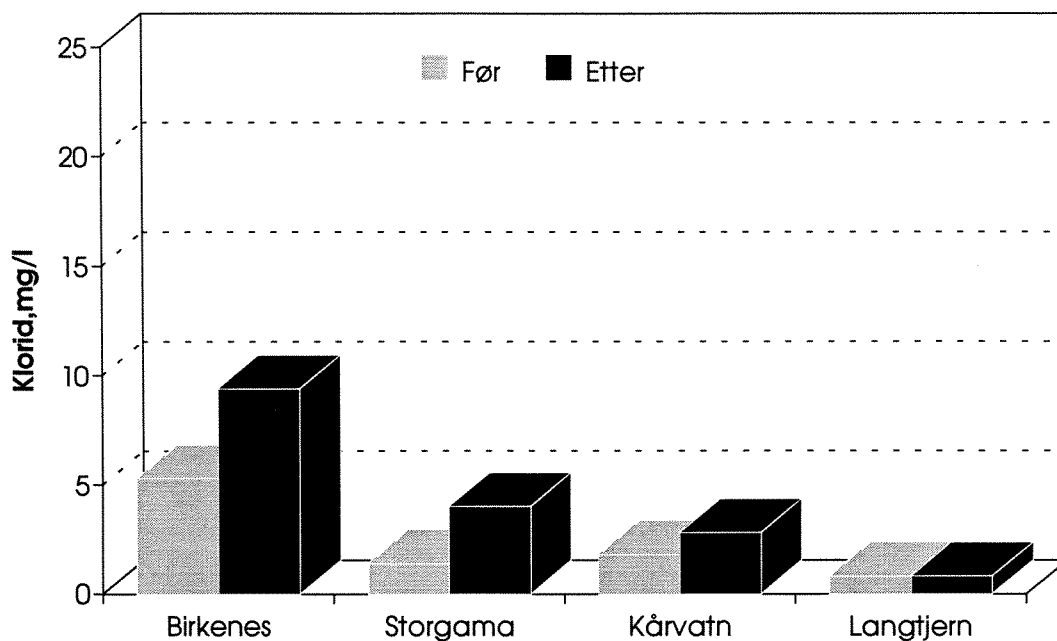


Figur 13. Kloridkonsentrasjoner i overvåkingselver før og etter stormene i januar 1993.



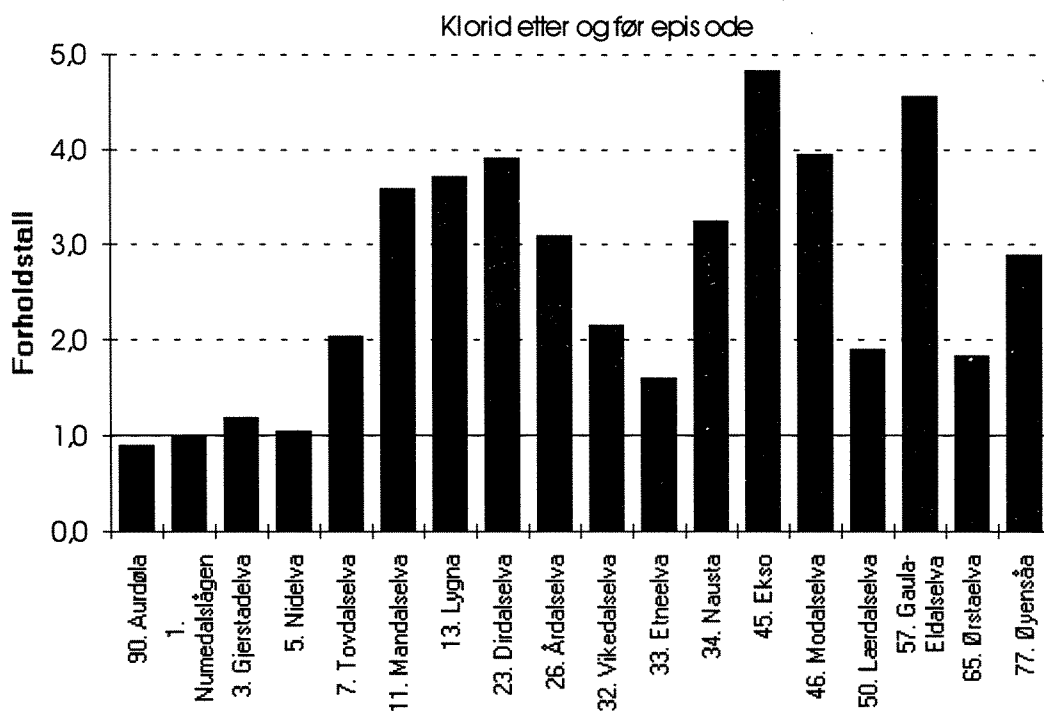
Figur 14. Kloridkonsentrasjoner i lokaliteter i Bjerkreimsvassdraget før og etter stormene i januar 1993. Dataene er fra prosjektet "Nitrogen fra fjell til fjord".

### Feltforskningsområder

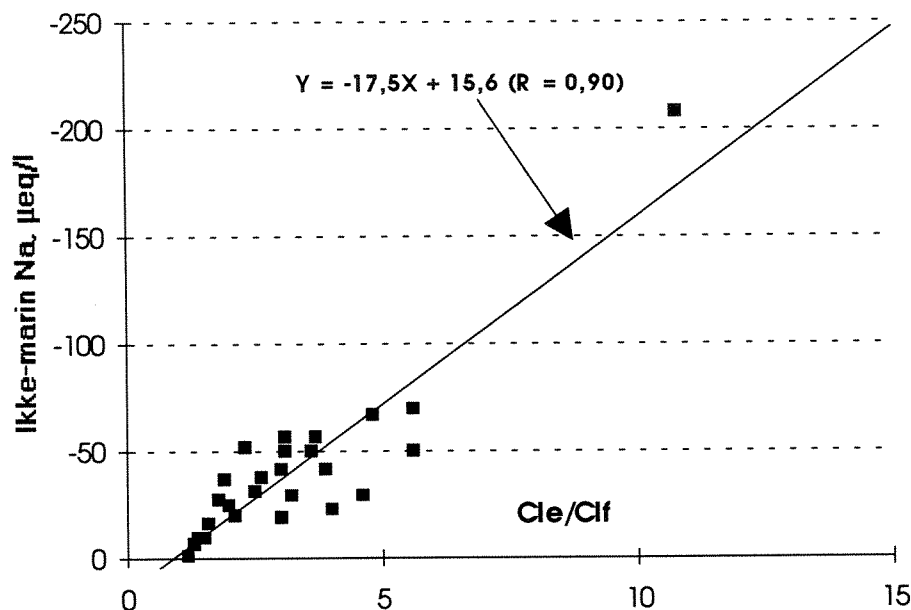


Figur 15. Kloridkonsentrasjoner i feltforskningsområder. Dataene er fra programmet for overvåking av langtransportert forurenset luft og nedbør (SFT).

### Overvåkingselver



Figur 16. Forholdstall for kloridkonsentrasjonene etter og før sjøsaltepisoden for overvåkingselver.



**Figur 17. Underskuddet av natrium avsatt mot den relative økning i kloridkonsentrasjonen. (Data for alle lokaliteter).**

### Ionebyttningseffekter

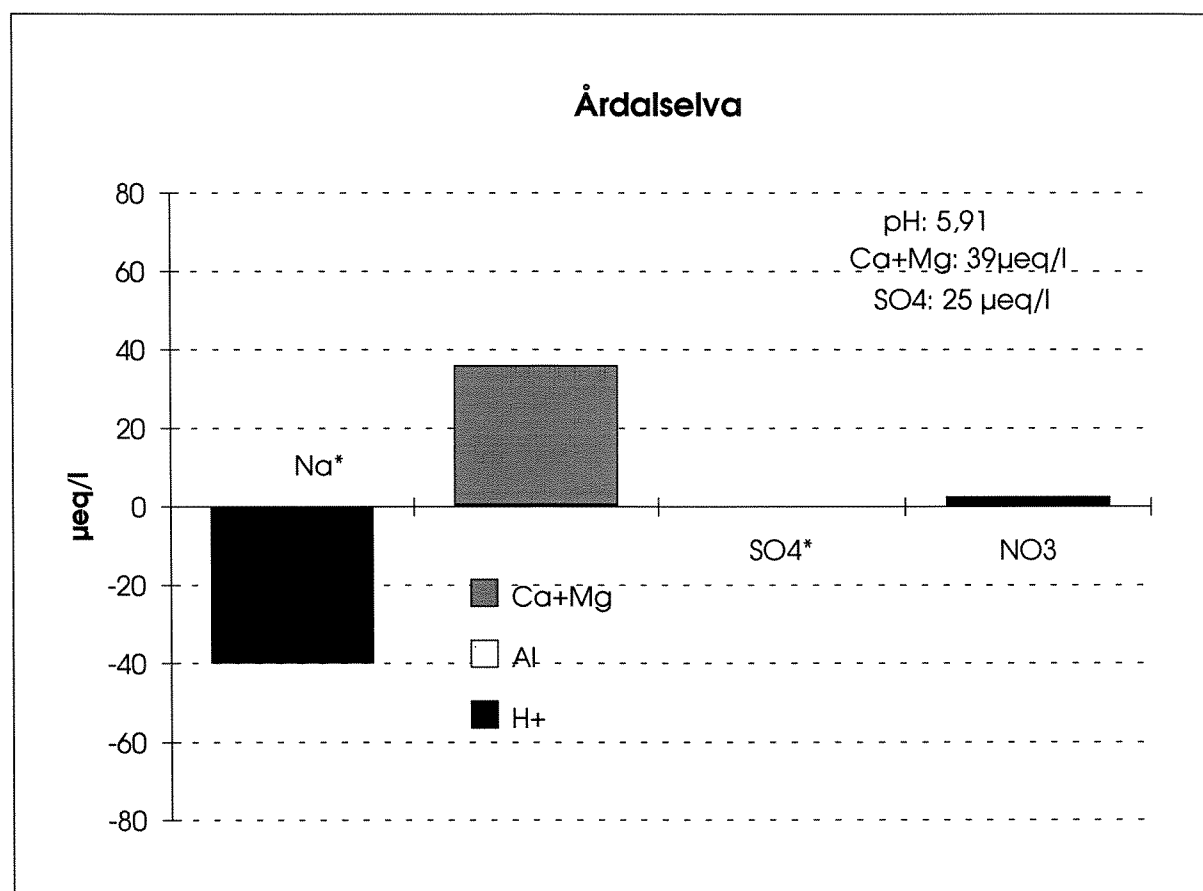
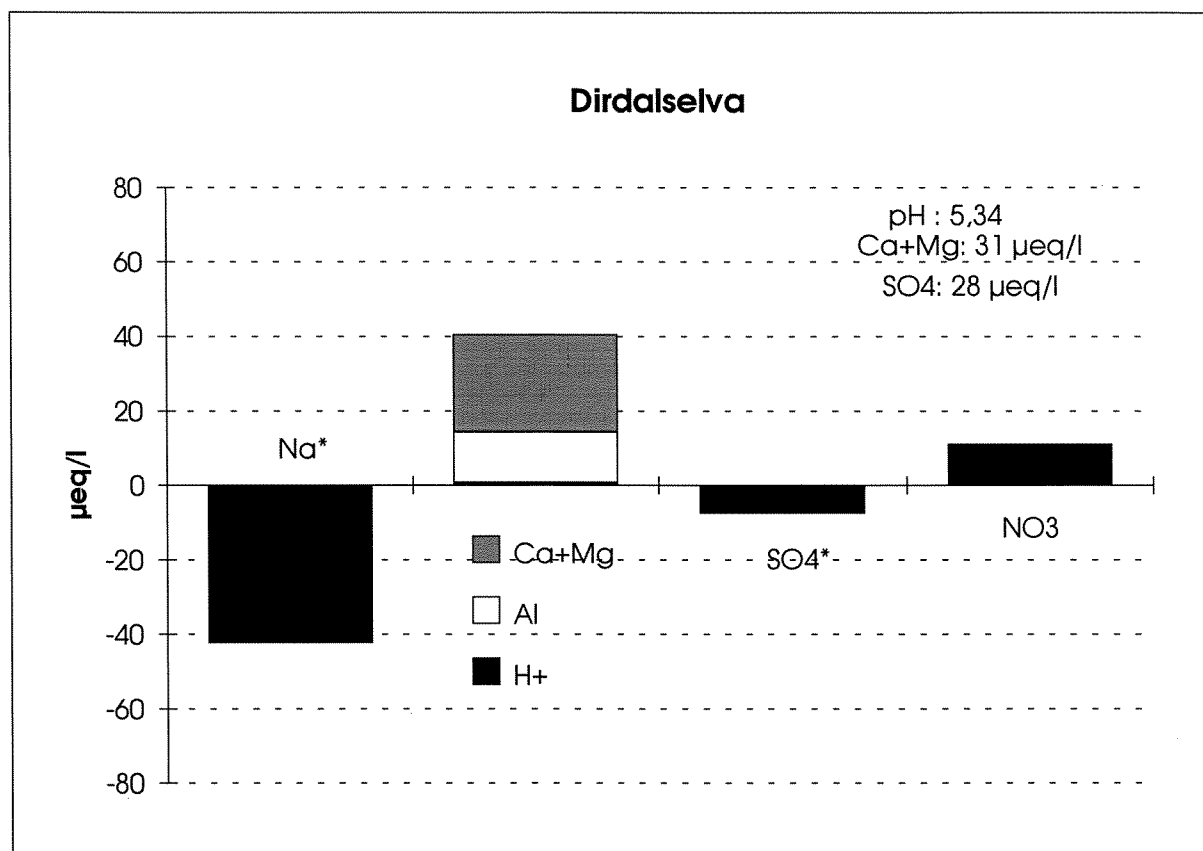
Som nevnt kan sterk tilførsel av sjøsalter resultere i en ionebytting av Na med andre kationer som  $H^+$ , Al og basekationene Ca og Mg. Vi har beregnet endringene i konsentrasjonene av disse komponentene i seks overvåkingselver (figur 18-20), noen lokaliteter i Bjerkreimsvassdraget (figur 21 og 22) og to lokaliteter i Lygna (figur 23).

I Dirdalselva er Na byttet ut både med Al og basekationer, mens i Årdalselva er Na kompensert bare med basekationer. Modalselva viser ionebytting med alle tre komponenter, også  $H^+$ .

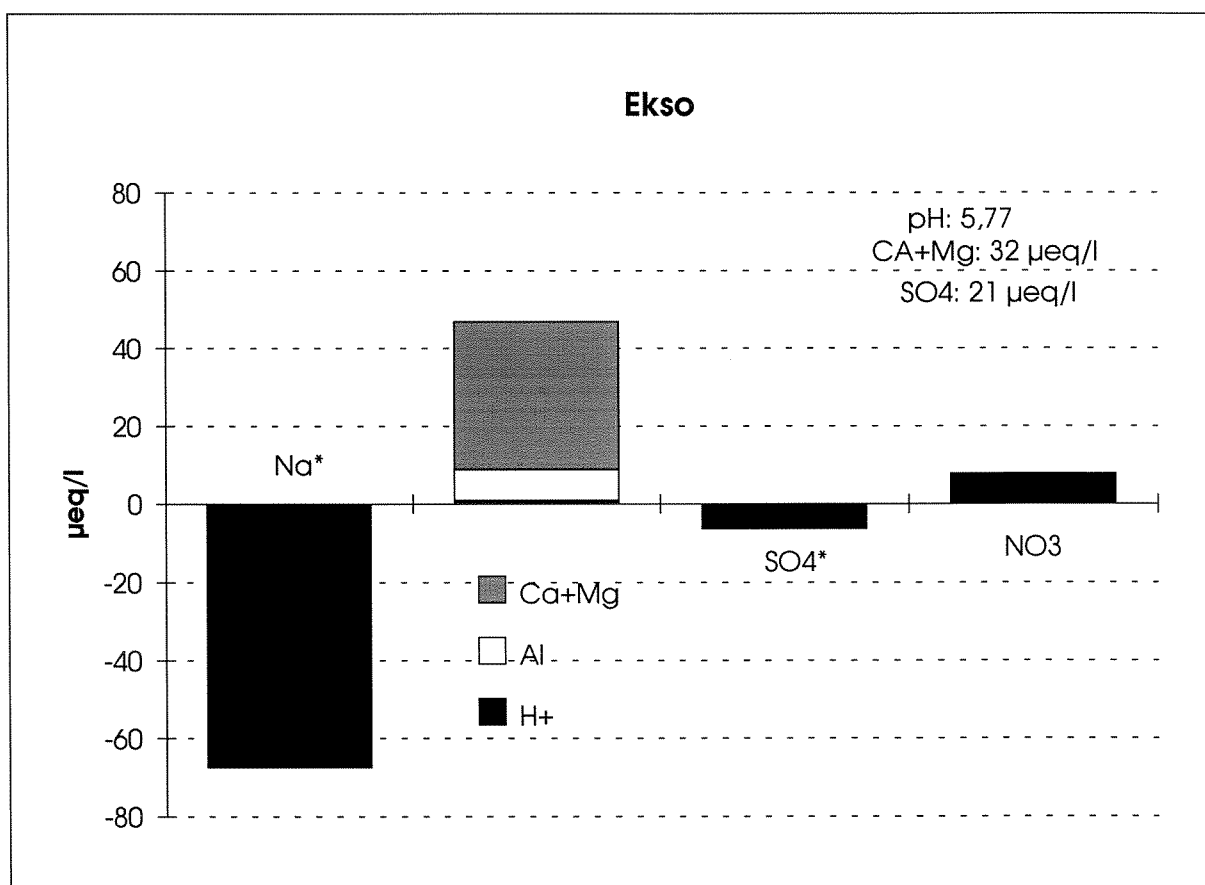
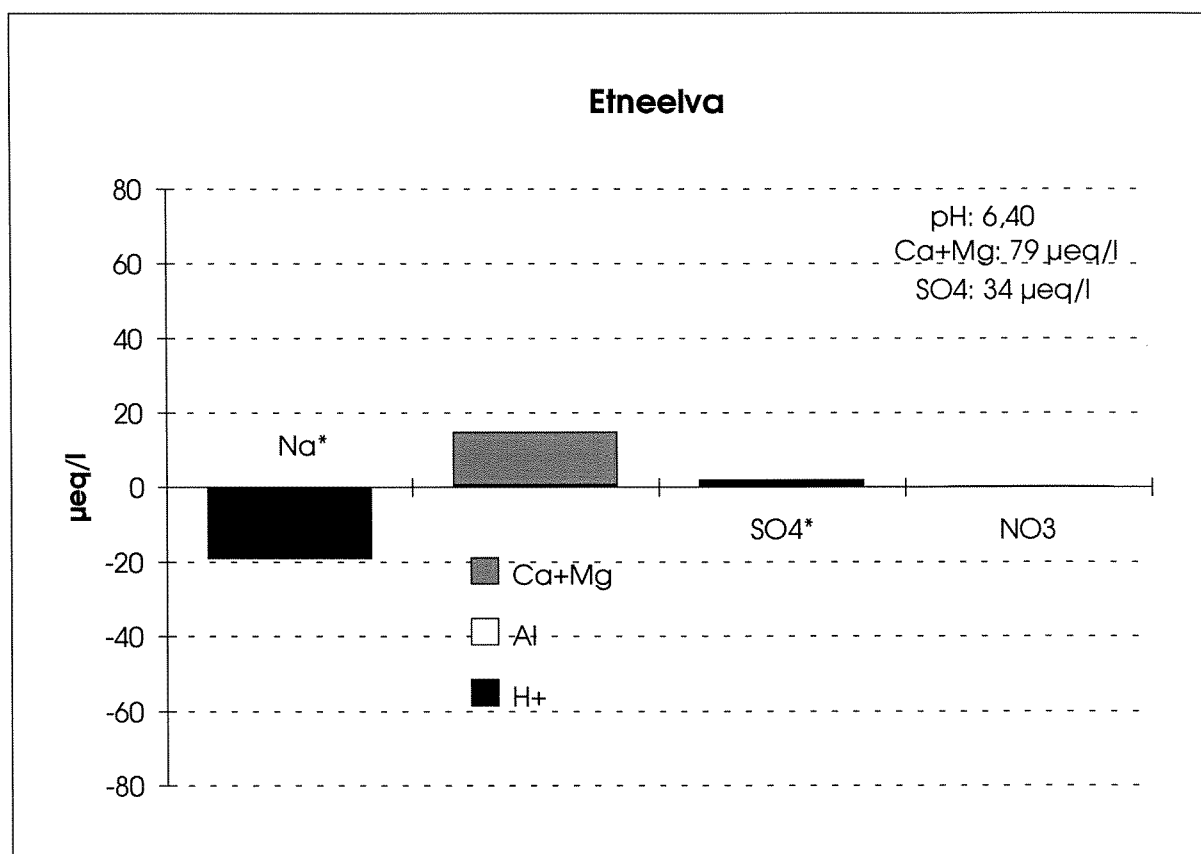
Utløpet av det 16 km lange Ørsdalsvatn i Bjerkreimsvassdraget viser liten påvirkning (figur 21) pga lang oppholdstid, mens Ørsdalselva (tilløp til Ørsdalsvatn) viser en klar ionebytting med  $H^+$ , Al og basekationer. I Øygardsbekken og Svelabekken (figur 22) er faktisk all Na byttet ut hovedsakelig med Al og noe  $H^+$ . Det skogkledte nedbørfeltet til Svelabekken fanget opp store mengder sjøsalter og konsentrasjonen av reaktivt Al ble ekstremt høy, hele 2040 µg/L Al. pH avtok til 4.5 fra typiske verdier på omkring 4.9.

Det kystnære sidevassdraget Møska nederst i Lygnavassdraget viser det samme bildet (Al og  $H^+$ ), mens innløpet til innsjøen Lygna også viser en økning i basekationer (figur 23). Hovedtendensen er åpenbart at i vassdrag med  $pH < 5$  byttes Na hovedsakelig ut med aluminium og  $H^+$ , men i vassdrag med høyere pH kompenseres natriumunderskuddet også med basekationer. I de sure vassdragene er åpenbart aluminium det dominerende utbyttbare kationet.

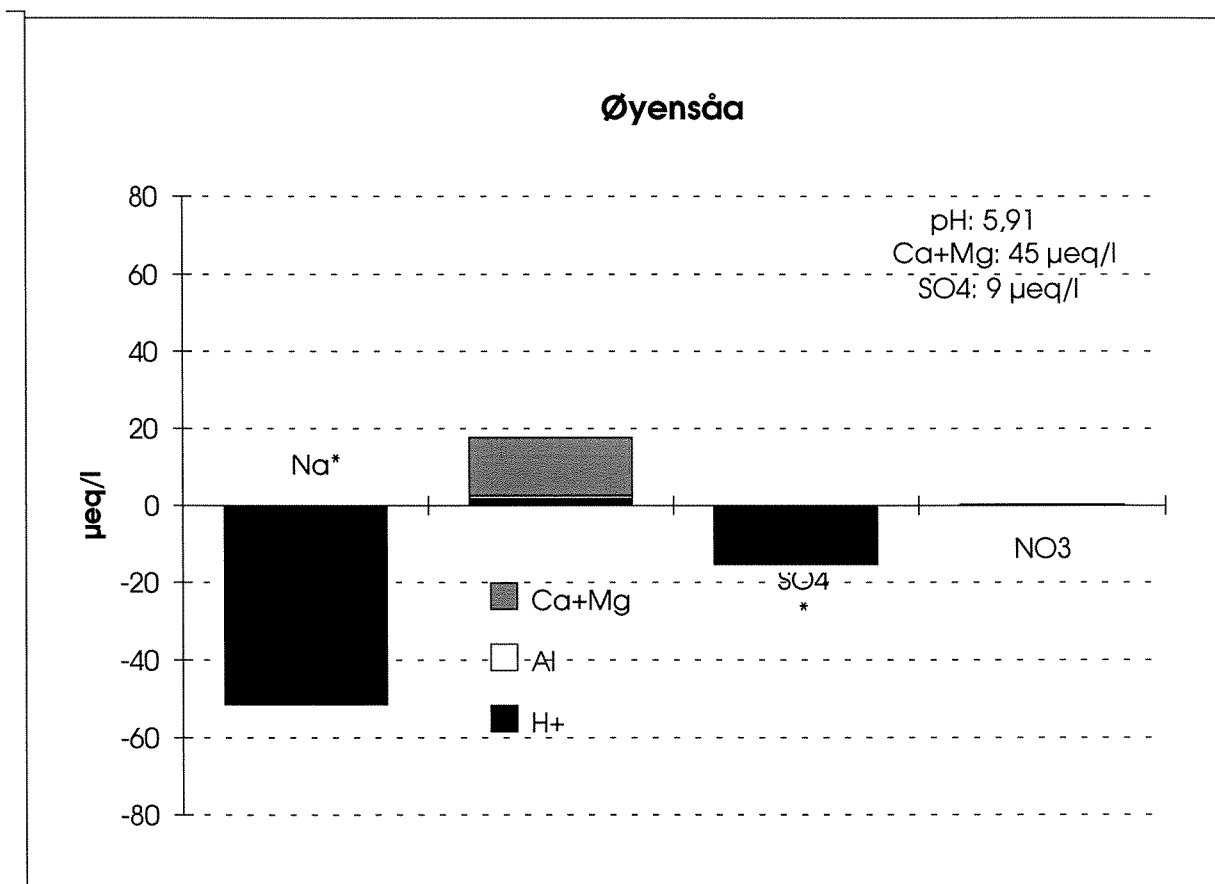
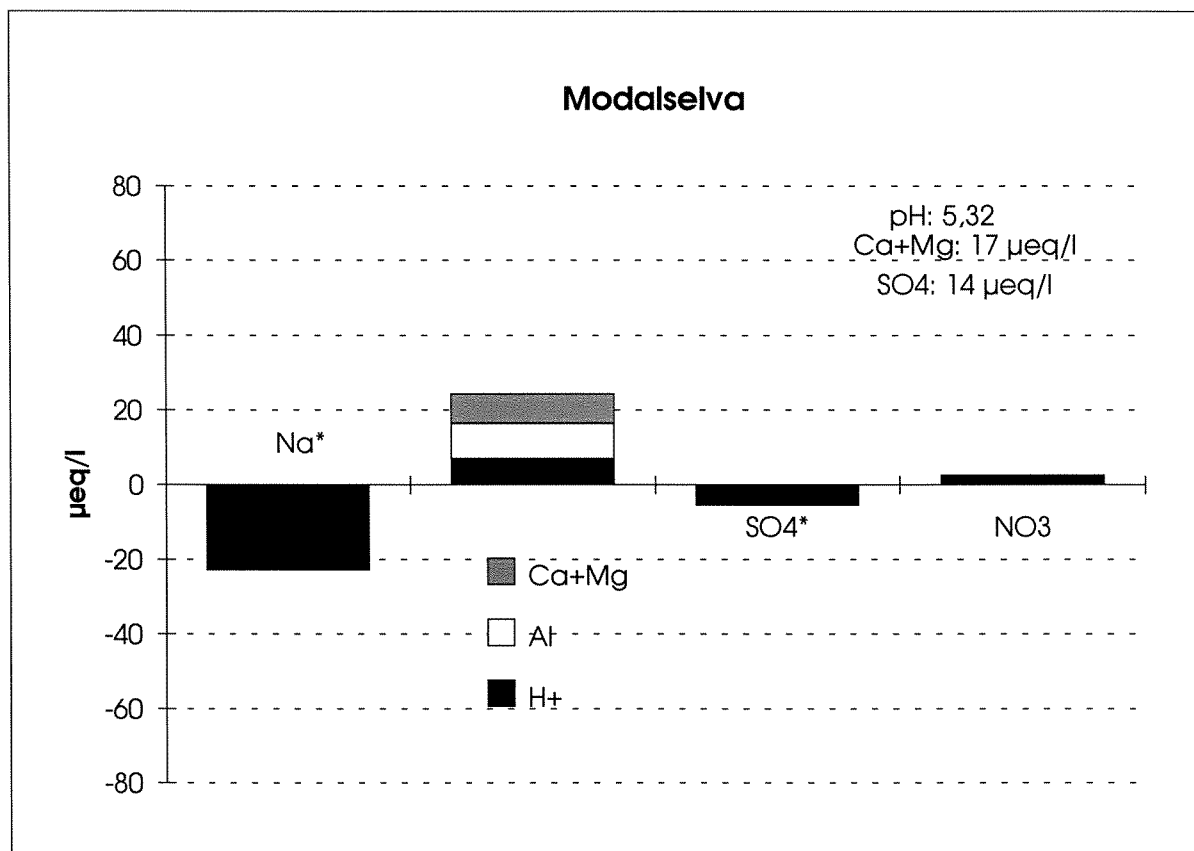




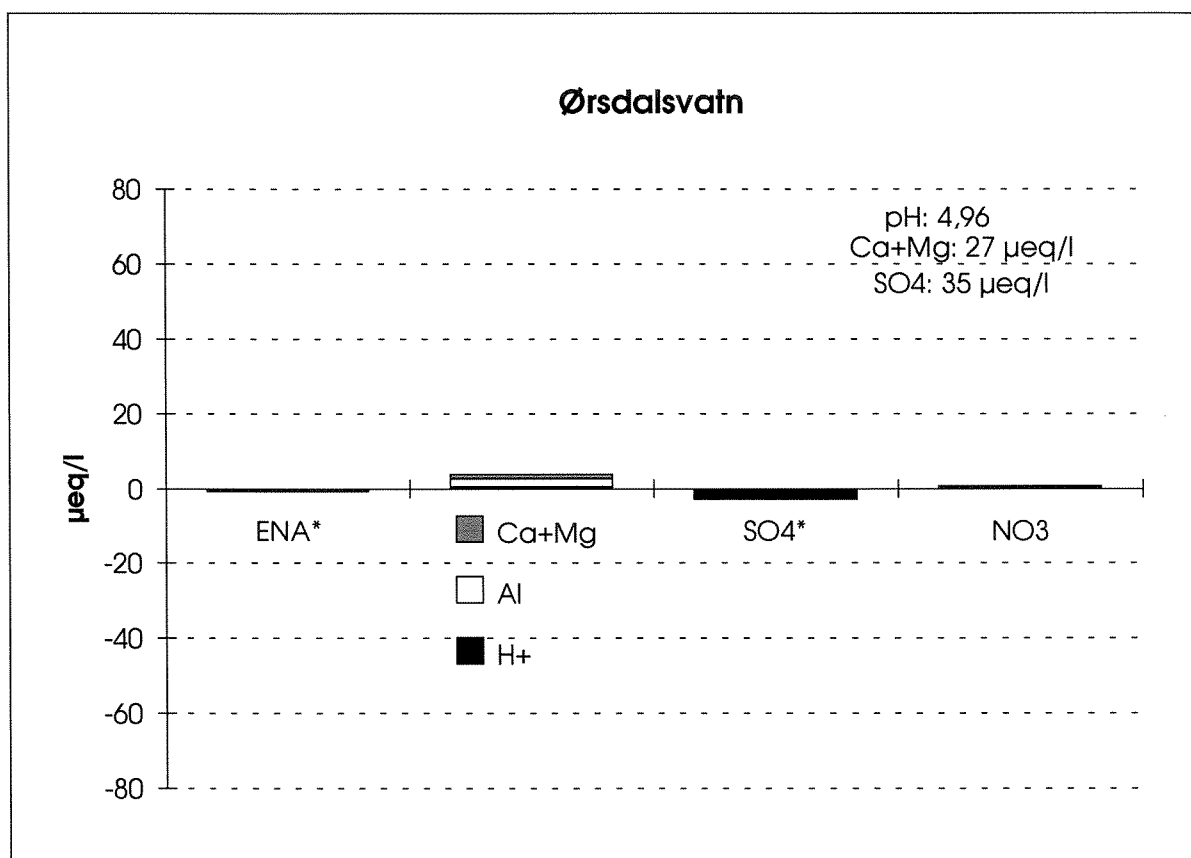
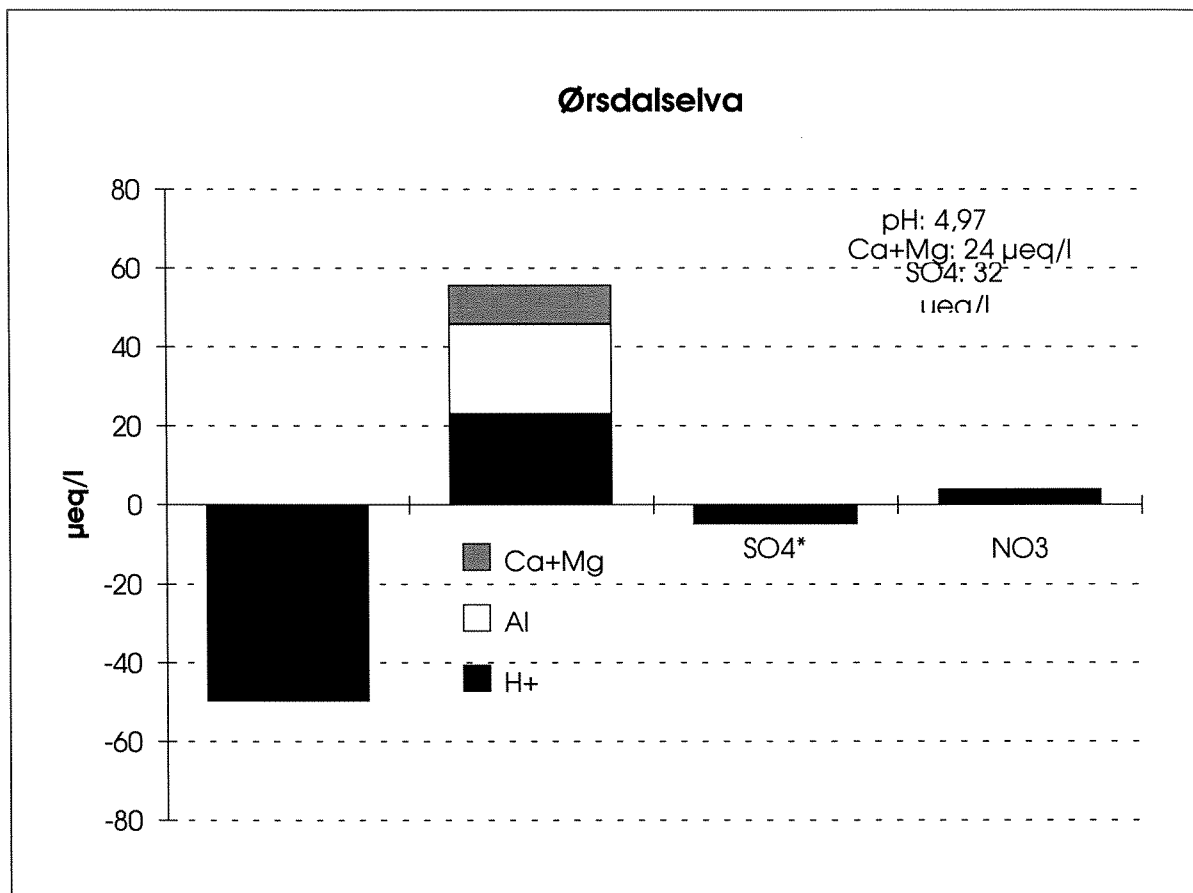
**Figur 18. Endringer i ionesammensetning i to overvåkingselver før og etter stormene i januar 1993.**



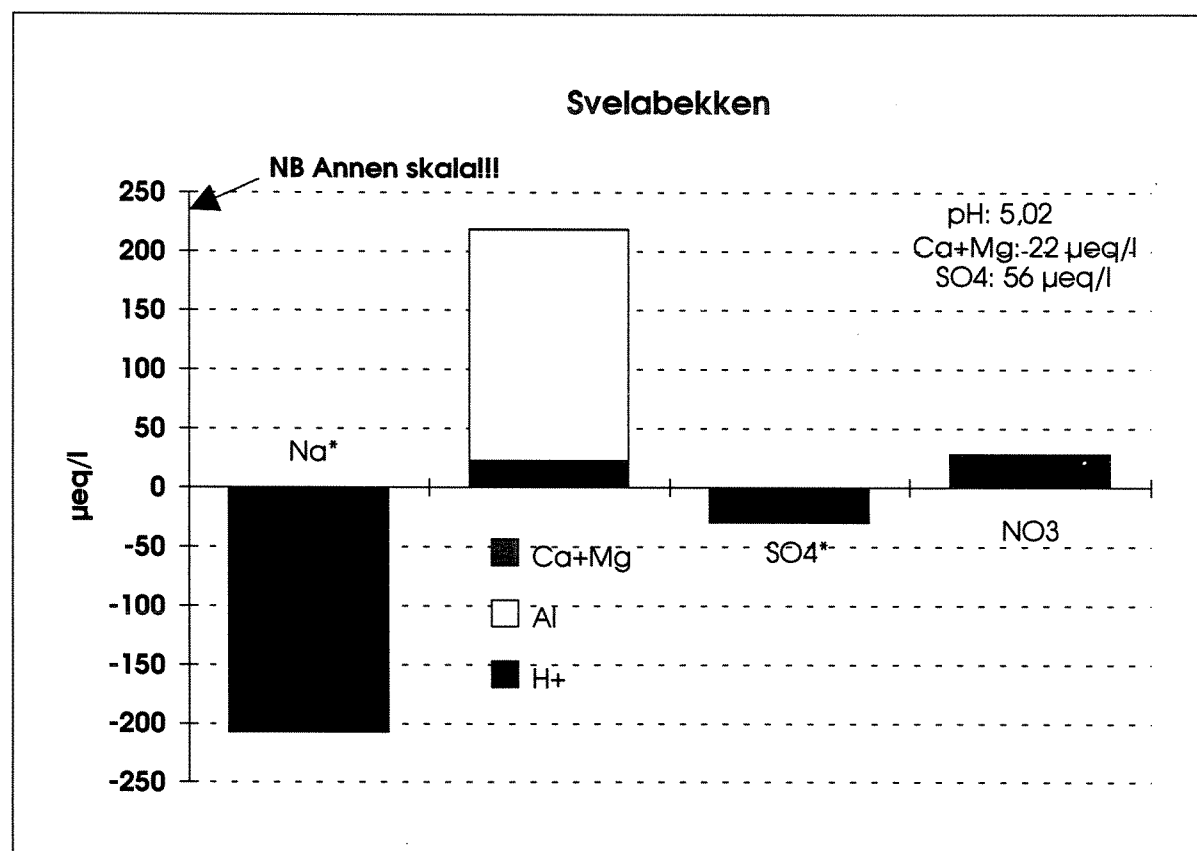
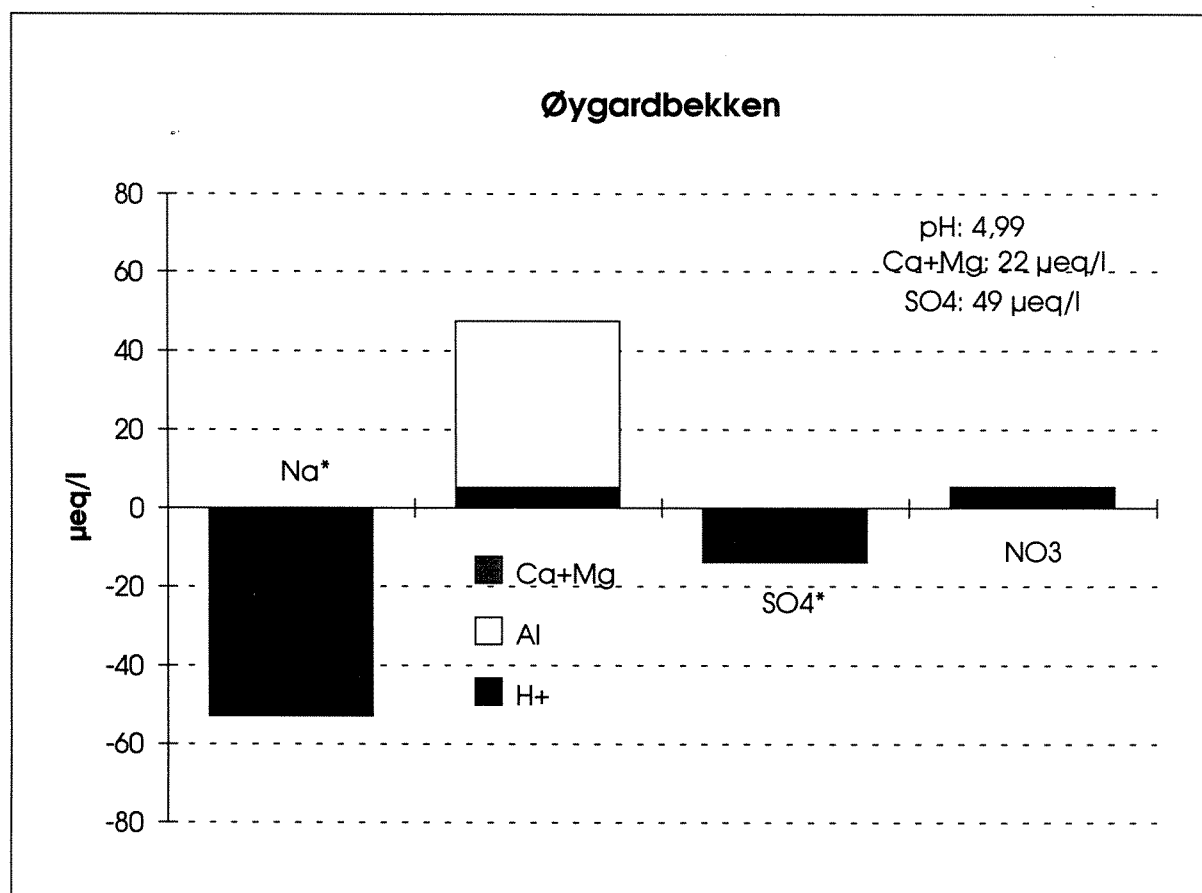
**Figur 19. Endringer i ionesammensetning i to overvåkingselver før og etter stormene i januar 1993.**



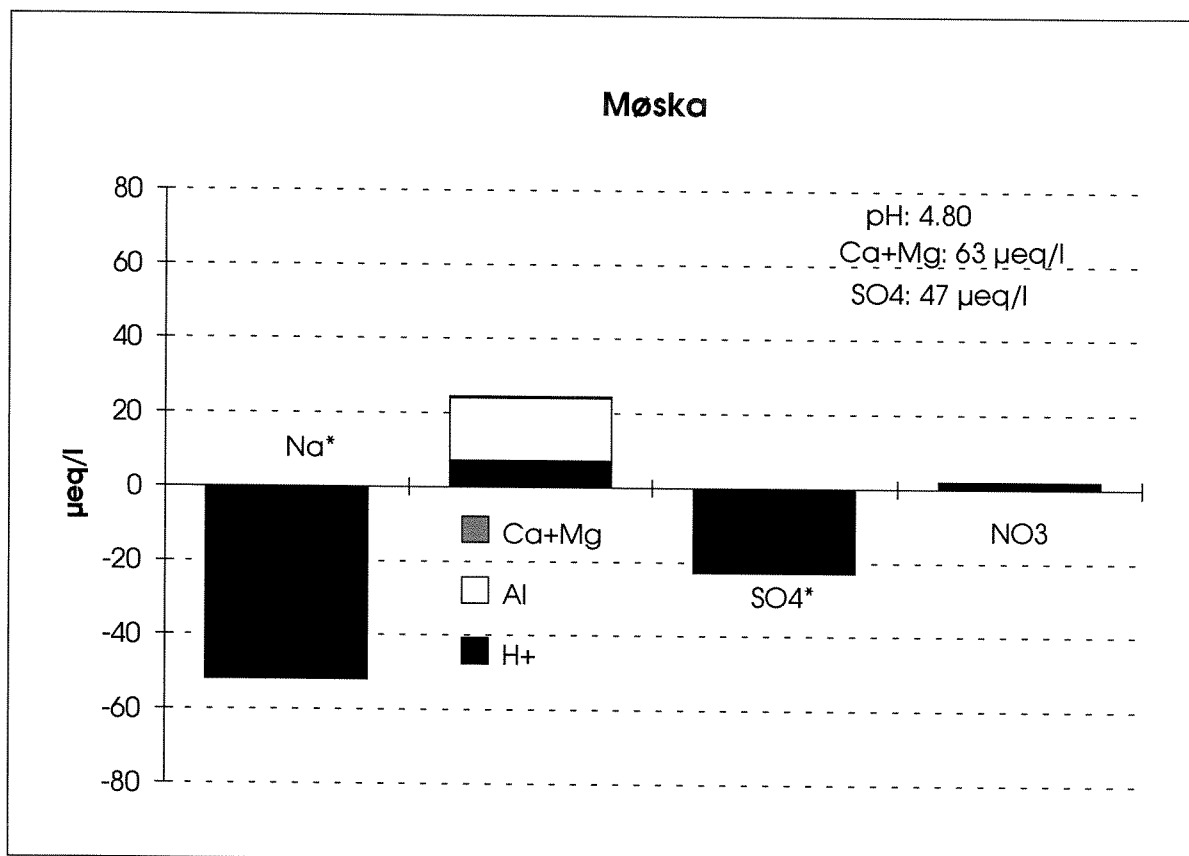
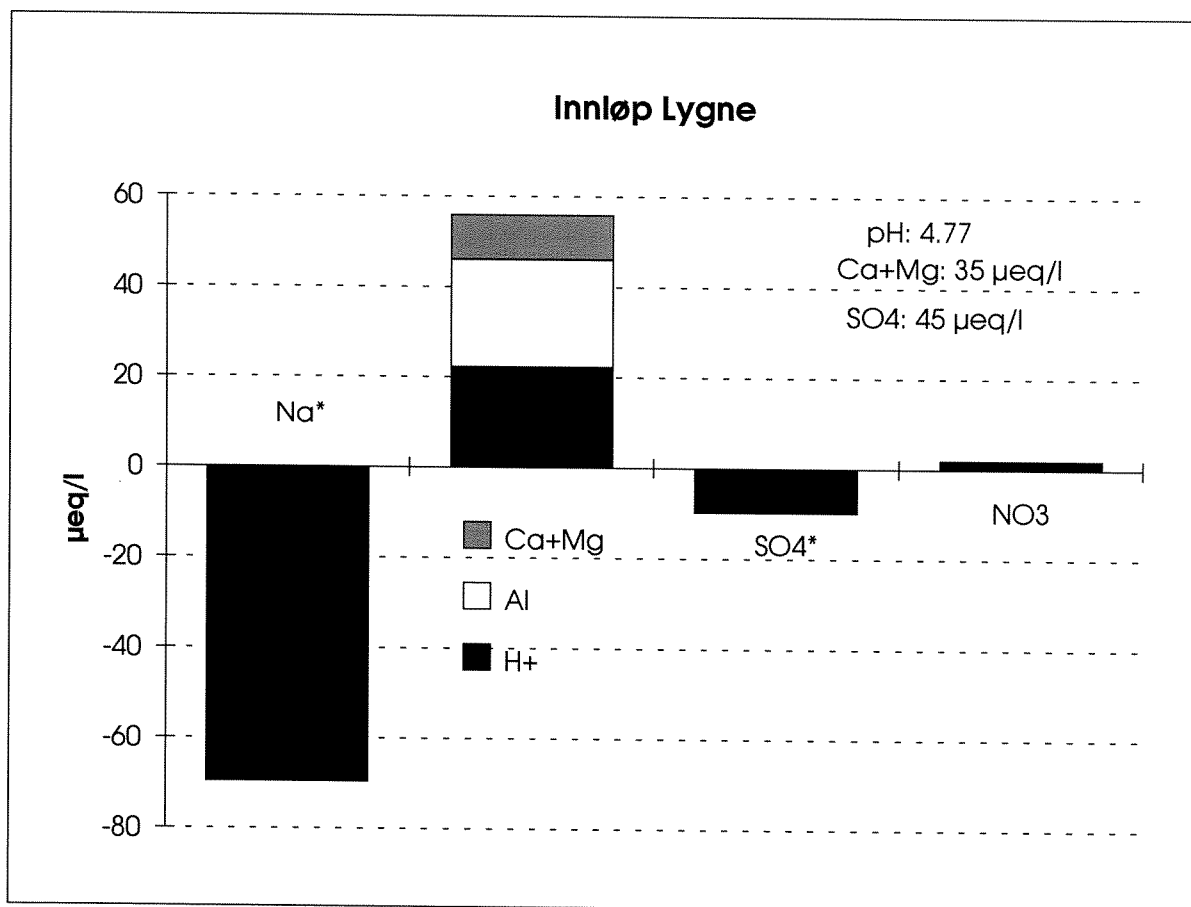
**Figur 20. Endringer i ionesammensetning i to overvåkingselver før og etter stormene i januar 1993.**



**Figur 21. Endringer i ionesammensetning i to lokaliteter i Bjerkreimsvassdraget før og etter stormene i januar 1993.**



Figur 22. Endringer i ionesammensetning i to lokaliteter i Bjerkreimsvassdraget før og etter stormene i januar 1993.



Figur 23. Endringer i ionesammensetning i to lokaliteter i Lygnavassdraget før og etter stormene i januar 1993.

### 3.4. Registrert fiskedød i februar og mars

Vassdrag med dokumentert fiskedød i februar/mars er vist i tabell 5.

Tabell 5. Vassdrag med dokumentert fiskedød i februar/mars (tidspunkt for første dokumenterte observasjon og referanse er vist).

Lokalitet:	Første dok. obs:	Referanse:
<b>Vest-Agder:</b>		
Sira		
Tonstad-Hompland	10. februar	(Enge 1993, MV i V-Agder 1993)
Ousdal + Lunde	18. februar	(Enge 1993, MV i V-Agder 1993)
Feda		(MV i V-Agder 1993)
Kvina og Litleåna	15. februar	(MV i V-Agder 1993)
Mandalselva		(MV i V-Agder 1993)
Songdalselva	1. februar	(MV i V-Agder 1993)
Lygna	uke 7	(MV i V-Agder 1993)
<b>Hordaland:</b>		
Tyssevassdraget		(Barlaup 1993)
Spåkevatnet		(Barlaup 1993)
Andåsvatnet		(Barlaup 1993)
Daleelva		(Barlaup 1993)
Æneselva		(Barlaup 1993)
Ekso i Hordaland		(Barlaup 1993)

De første meldingene om fiskedød ble rapportert fra Sogndalselva vest for Kristiansand den 1. februar 1993. pH ble målt til 5.37-5.65 i vassdraget. MV-avd. i Vest-Agder prøvafisket deler av elva 11. februar og fant betydelige mengder død aure i alle størrelser fra årsyngel til kjønnsmoden sjøaure. Også levende fisk ble registrert, men bare opp til en lengde på ca. 20 cm. Den 13. og 14. februar ble det samlet inn store mengder død sjøaure av den lokale jeger- og fiskerforeningen.

I Sira ble det først observert død fisk ved Tonstad og deretter videre oppover til Hompland. Etterhvert ble fiskedøden ganske omfattende og det rapportert om død fisk i Ousdal og på Lunde, ca. 17 km oppstrøms Tonstad. Det ble også registrert fisk i Sirdalsvatn som "svimet rundt". Etter ca. 20. februar ble det ikke rapportert fiskedød (Enge 1993). I følge MV-avd. i Vest-Agder har aurebestandene i Sira oppstrøms Tonstad tatt seg opp år for år, men det syntes som om store deler av denne fisken ble drept av episoden i januar/februar. Seinere observasjoner viser imidlertid at bestandene har klart seg relativt bra (Enge, pers. oppl.).

pH i Sira var i området 4.55-4.65 den første uka med fiskedød (Enge 1993). Aluminiumskonsentrasjoner (metoden Enge bruker gir noe lavere verdier enn "reaktivt aluminium") mellom 280 og 380 µg/L ble målt, og indikerer klart toksiske forhold. Det ble

registrert 578 mm nedbør i perioden 6. januar - 5. februar. Kloridkonsentrasjonene i Sira ved Tonstad lå i området 14-16 mg/L Cl i perioden 12.02.93-22.02.93. Deretter avtok konsentrasjonen, men var så seint som i månedskiftet april/mai fortsatt så høy som 5 mg/L. Aluminiumkonsentrasjonen avtok gradvis til 100 µg/L og pH økte til 4.8-4.9 i samme periode. I mai/juni var konsentrasjonene tilbake til det normale, men ikke i de store magasinene pga lengere oppholdstid.

I Kvina ble det registrert død ål sammen med død aure. Også i sidevassdraget Litleåna ble dette registrert. Auren var fra 10 til 700 gram, men for det meste omkring 70-80 gram. Det var indikasjoner på gjelleskader. Det ble også funnet død bekkerøye i vassdraget, en art som er relativt forsuringstolerant (MV-avd. i Vest-Agder 1993).

I Kvina målte Enge 14-17 mg/L Cl de første dagene i mars, dvs. omkring tre uker etter første fiskedød ble rapportert. pH var på samme tidspunkt 4.35 ved Kvinlog 40 km fra kysten og 4.60 ved Rafoss. Enges Al-verdier var omkring 300 µg/L.

Det ble rapportert om død fisk i øvre del av Fedavassdraget, et nabovassdrag i vest til Kvina. Dette vassdraget strekker seg imidlertid ikke langt innover fra kysten.

Det ble rapportert om mye død fisk i Logåna og Finsåna i Mandalsvassdraget.

Audna kalkes og det ble derfor ikke registrert død fisk i elva, selv ikke med elektrisk fiskeapparat (MV-avd. i Vest-Agder).

I elven Lygna kom sjøsaltene inn oppstrøms den kalkede innsjøen Lygne, 50 km fra kysten. Lygne var på det tidspunktet isdekket. Det sterkt saltholdige (15 mg/L Cl) og sure (pH 4.3) innløpsvannet ble ikke kalket og rant oppunder isen i innsjøen på grunn av den termiske skiktningen. Det sure ellevannet rant videre nedover i vassdraget relativt upåvirket av det kalkholdige vannet på større dyp i innsjøen. Det var en sterk gradient i pH og klorid vertikalt. Død fisk ble observert nederst i Lygna midt i februar.

Den til dels omfattende fiskedøden i Hordaland (laks og aure) ble registrert i februar og mars (Barlaup 1993). Det skyldtes fall i pH til under 4.5 i enkelte vassdrag og kraftig forhøyet aluminiumskonsentrasjon. Saltinnholdet i vassdragene var tredoblet. Særlig urovekkende var, i følge Barlaup, observasjonene av massedød i innsjøer fordi innsjøer normalt virker dempende på endringer i vannkvaliteten. Forsuringsepisoden ble derfor karakterisert som svært kraftig. I Spåkeelva regnes det med at minst 75 % av fiskebestanden døde. I Tyssedalselva på Osterøy regner en med at all fisk døde, men dette er ikke kontrollert i ettertid.

Dette er første gang det er dokumentert fiskedød i vann og vassdrag som følge av sjøsaltepisoder i Norge.

Episoder med fiskedød under episoder med mye nedbør er rapportert flere ganger i 1920-årene, bl.a. i Frafjordelva i Rogaland, uten at en da kunne måle pH, og flere forklaringer er gitt. En sannsynlig forklaring kan være nedbør med høyt innhold av sjøsalter i dårlig bufret vann. I 20-årene var sannsynligvis alkaliteten i Frafjordelva meget lav. Fra data samlet inn av Snekvik i 1976 er "opprinnelig" alkalitet" ( $Alk_0$ ) anslått til ca 15 µekv/l, slik at en må regne med at en moderat forsuringbelastning i 20-årene kan ha gitt en alkalitet nær null. I



en slik situasjon kan en kraftig sjøsaltepisode ha gitt giftige forhold for fisk.

**Opplysninger om fiskedød i settefiskanlegg** både i januar 1992 (Tørud 1993) og i januar 1993 er satt i sammenheng med sjøsaltpåvirkning av inntaksvannet. Laks som er i ferd med å smoltifisere er ekstremt sensitiv overfor surt og aluminiumsrikt vann og svært utsatt for akutt fall i pH og økt konsentrasjon av aluminium. I fem anlegg i Sogn og Fjordane var det, i følge opplysninger innhentet fra lokale veterinærer, akutte tilfeller av tap på opp til 10.-20.000 fisk i løpet av 1-2 uker. Det ble registrert lave pH-verdier i forbindelse med dødeligheten, men det ble ikke tatt fullstendige vannkjemiske analyser. I alle fall ett av anleggene brukte tilsetning av kalkslurry i denne perioden, men fiskedød ble likevel registrert (kun få minutters oppholdstid fra slurrytilsetning til vannet ble ført inn i fiskekarene).

I januar 1992 var det en tilsvarende sjøsaltepisode på Nordvestlandet under orkanen som herjet omkring nyttår. Episoden førte til ekstremt lav pH i et settefiskanlegg på Nordmøre som hovedsakelig produserer 2-årig laksesmolt (Tørud 1993). Siden 1986 var det kun en gang registrert pH under 6.0 i inntaksvannet, men episoden i januar 1992 førte til at pH ble redusert til 5.31. Det ble målt en kloridkonsentrasjon den 14.1.92 på 32 mg/L Cl, men aluminiumkonsentrasjonen var relativt lav; 55 µg/L tot Al. I dette inntaksvannets nedbørfelt, som vanligvis har høy pH, er det sannsynlige Na-underskuddet trolig kompensert først og fremst med en økning i basekationer. Men økningen i aluminium har likevel vært tilstrekkelig til å skape fiskedød i anlegget.

### 3.5. Andre observasjoner

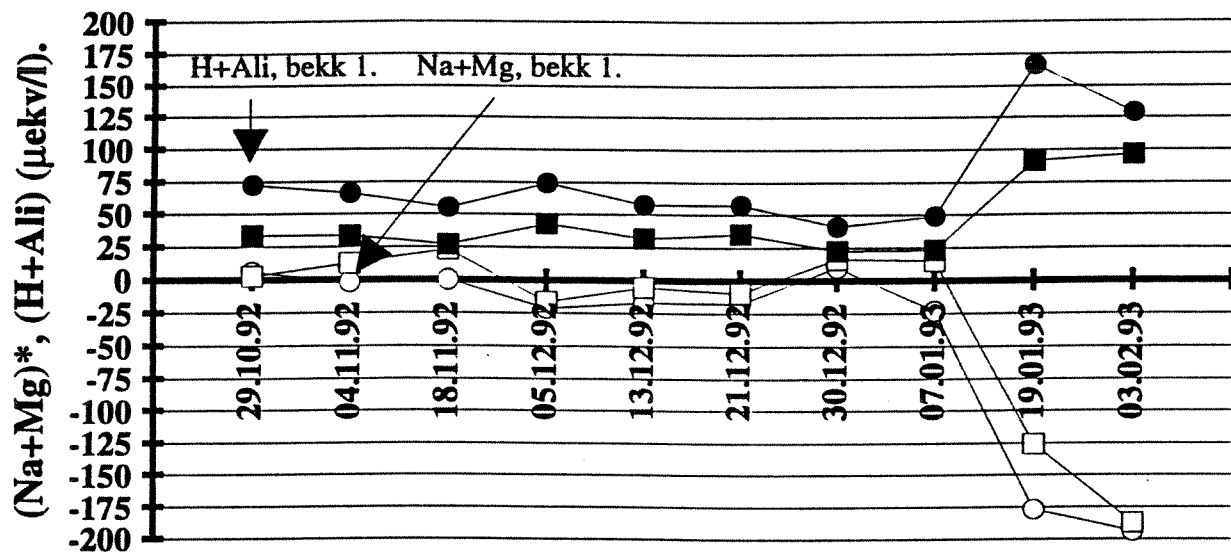
Data fra overvåkingen av Otra i Aust-Agder, i regi av SFT, viser at kloridkonsentrasjonen steg fra 1.7 mg/L til 3.3 mg/L ved Ose bro fra midt i januar til midt i februar 1993. Midt i april var konsentrasjonen 3.1 mg/L, men økte igjen til 4.0 mg/L den 13. mai. Ose ligger nesten 100 km fra kysten. Også tidligere er det registrert tilsvarende økte konsentrasjoner av klorid her. I januar/februar 1993 kom nedbøren som regn i lavere strøk. Dette har trolig ført til økt vannføring i lokalfeltene, slik at disse har dominert avrenningen i hovedvassdraget i perioden. Den økte konsentrasjonen i mai skyldtes trolig utsmelting av salter i begynnelsen av snøsmeltingen i høyfjellet. pH-verdien var 5.05, mens laveste verdi i perioden 1987-1993 var 4.99 (oktober 1989).

Det ble rapportert om omfattende fiskedød i Otra, i terskelområdet ved Valle, den 12. mai 1993 samtidig med maksimal kloridkonsentrasjon ved Ose, men om fiskedøden skyldtes surt smeltevann eller delvis kunne relateres til den tidligere sjøsaltepisoden er usikkert. Dette vassdragsavsnittet er sterkt preget av vannkvaliteten i sidevassdrag i perioder.

Store Hovvatn ligger øst for Evje, i vestre del av Tovdalsvassdraget. Vannet kalkes og inngår i et undersøkelses- og overvåkingsprosjekt som NIVA og andre utfører for Direktoratet for naturforvaltning. Kloridkonsentrasjonene ligger vanligvis på omkring 2.5 mg/L. Den 23. februar ble det registert 6.5-8.0 mg/L Cl på flere stasjoner, og det var et klart "underskudd" på ikke-marint natrium i vannet. Tilrenningsvannet surgjorde strandsonen under isen, men dette skjer også normalt pga snøsmelting.

Nedbørfeltet til Terjevann ca. 8 km vest for Kristiansand ligger 2.5 km fra kystlinja.

Øyegneis er dominerende bergart. Vannet er kalket og undersøkes av ADH på oppdrag av Direktoratet for naturforvaltning. Her ble pH i to tilløpsbekker (ukalkede) redusert fra hhv. 4.7 og 5.1 til 4.18 og 4.42. Konsentrasjonen av uorganisk aluminium ( $Al_i$ ) økte fra hhv. 100 og 300 til 600 og 900  $\mu\text{g/L}$  Al. Summen av sjøsaltkorrigert natrium og magnesium ( $Na^+ + Mg^*$ ) ble redusert til  $-200 \mu\text{eq/L}$  (figur 24) og ble i det alt vesentlige kompensert ved økt konsentrasjon av  $H^+$  og aluminium (Andersen 1993).



Figur 24. Konsentrasjonen av sjøsaltkorrigert natrium og magnesium ( $Na^+ + Mg^*$ ), samt  $H^+$  og aluminium i to tilløpsbekker til Terjevann ved Kristiansand (fra Andersen 1993).

## 4. Referanser

- Amundsen, C.E., Hanssen, J.E., Semb, A. and Steinnes, E. 1992. Long-range atmospheric transport of trace elements to southern Norway. *Atmospheric Environment*, 26.A, pp. 1309-1324.
- Andersen, D.O. 1993. Terjevannprosjektet. Sjøsalteffekter registrert i et kystnært nedbørfelt januar-februar 1993. ADH-Vannlaboratoriet, notat til NIVA, 25.05.93. 6 s.
- Barlaup, B. 1993. Orientering angående fiskedød grunnet forsuring i Hordalandsvassdrag vinteren 93. Notat til DN, 03.04.93. 2 s.
- Barrett, C.F., Ralph, H.O. and Upton, S.L. 1982. A wind tunnel study of the inlet efficiency of a suspended particle sampler. WSL Report LR420 (AP). Warren Spring Laboratory, Stevenage, UK.
- Chamberlain, A.C. 1953. Aspects of Travel and Deposition of Aerosol and Vapour Clouds. AERE-HP/R-1261. Atomic Energy Research Establishment, Harwell, UK.
- Enge, E. 1993. Fiskedød i nedre deler av Sira februar 1993. Foreløpig notat til DN, 30.03.93. 10 s.
- Gjessing, E. 1976. Physical and Chemical Characteristics of Aquatic Humus. Ann Arbor Science. 120 pp.
- Gorham, E. 1957. The chemical composition of lake waters in Halifax County, Nova Scotia. *Limnol. Oceanogr.* 2: 12-21.
- Heath, R.H., Kahl, J.S., and Norton, S.A. 1992. Episodic stream acidification caused by atmospheric deposition of sea salts at Acadia National Park, Maine, United States. *Water Resour. Res.* 28: 1081-1088.
- Kahl, J.S., 1985. Water resource baseline data and assessment of impacts of acidic precipitation. Natl. Park Serv., Acadia National Park, Maine. Tech. Rep. 16, 123 pp.
- Miljøvernavdelingen i Vest-Agder. 1993. Foreløpig rapport om omfattende fiskedød i flere elver i Vest-Agder. Notat til DN, 17.02.93. 3 s.
- Njøs, A., 1978. Strømning av vann og løste stoffer gjennom jord, spesielt i jordsmonn med rå humus. SNSF-prosjektet, IR 39/78, 91 s.
- Norton, S.A., Henriksen, A., Wright, R.F. and Brakke D.F., 1987. Episodes of acidification of surface waters by neutral seasalts. In: *GEOMON International Workshop on Geochemistry and Monitoring in representative Basins*, 148-150 (Geological Survey, Prag).
- Skartveit, A., 1981. Relationships between precipitation chemistry, hydrology and run-off acidity. *Nordic Hydrol.* 12, 65-80.

- Skartveit, A., Halsvik, B. og Meisingseth, E. 1980. Nedbørtilførsler av sjøsalter og sure komponenter, og avrenning av ioner i nedbørfelter på Vestlandet. SNSF-prosjektet, IR 63/80. 82 s.
- Statens forurensningstilsyn, 1984. Overvåking av langtransportert forurenset luft og nedbør. Årsrapport 1983. Oslo (Statlig program for forurensningsovervåking. Rapport 162/84).
- Statens forurensningstilsyn, 1990. Overvåking av langtransportert forurenset luft og nedbør. Årsrapport 1989. Oslo (Statlig program for forurensningsovervåking. Rapport 437/91).
- Statens forurensningstilsyn, 1991. Overvåking av langtransportert forurenset luft og nedbør. Årsrapport 1990. Oslo (Statlig program for forurensningsovervåking. Rapport 466/91).
- Steen, B. and Andreasson, K. 1974. Comparative measurements of particle concentrations in ambient air made at a background station with different inlets for "high volume" samplers. IVL Report B190. Swedish Water and Air Pollution Research Laboratory, Gothenburg, Sweden.
- Sullivan, T.J., Driscoll, C.T., Eilers, J.M., and Landers, D.H. 1988. Evaluation of the role of sea salt inputs in the long-range acidification of coastal New England lakes. *Environ. Sci. Technol.*, 22: 185-190.
- Tørud, B. 1993. Ekstreme værforhold og fiskedød i et settefiskanlegg. *Norsk Veterinærtidsskrift*, 105 (5): 527-530.
- Vitols, V. 1976. Airborne Sea Salt measurements, a literature survey. Teknisk notat nr. 7/76. Norsk institutt for luftforskning, Lillestrøm.
- Wiklander, L. 1975. The role of neutral salts in the ion exchange between acid precipitation and soil. *Geoderma* 14, 93-105.
- Wright, R.F., Norton, S.A., Brakke, D.F. and Frogner, T., 1988. Experimental verification of episodic acidification of freshwaters by seasalts. *Nature* 334: 422-424.

---

Norsk institutt for vannforskning  NIVA

Postboks 69 Korsvoll, 0808 Oslo  
Telefon: 22 18 51 00 Fax: 22 18 52 00

ISBN 82-577-2328-2