



RAPPORT LNR 5114-2006

Sjøsaltepisoder under vinterstormene i 2005 – påvirkning og effekter på vannkjemi i vassdrag



Hovedkontor

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

Sørlandsavdelingen

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

Østlandsavdelingen

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

Vestlandsavdelingen

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

Midt-Norge

Postboks 1266
7462 Trondheim
Telefon (47) 73 54 63 85 / 86
Telefax (47) 54 63 87

Tittel Sjøsaltepisoder under vinterstormene i 2005 – påvirkning og effekter på vannkjemi i vassdrag.	Løpenr. (for bestilling) 5114-2006	Dato 20. januar 2006
	Prosjektnr. Undernr. O-25249	Sider Pris 48
Forfatter(e) Hindar, Atle Enge, Espen (eget firma)	Fagområde Sur nedbør, Klima	Distribusjon
	Geografisk område Sør-Norge	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) Direktoratet for naturforvaltning	Oppdragsreferanse Kontrakt 05040020
---	--

Sammendrag
En rekke ekstremvær, blant annet stormene "Gudrun" og "Inga", rammet Sør-Norge vinteren 2005. Vannkjemiske data fra en rekke programmer og prosjekter er vurdert og analysert for å få oversikt over påvirkning og effekter i vassdrag. Rapporten er også basert på data for nedbørmengde og kvalitet, vannføring og værobservasjoner. "Inga" gikk nordover og hadde sin østgrense ved Roskreppfjorden mellom Setesdal og Sirdal, mens områder langs Agderkysten også ble påvirket av "Gudrun". Sjøsaltpåvirkningen vinteren 2005 er sammenliknbar med tidligere "sjøsaltvintere" på Sørvest- og Vestlandet. Denne undersøkelsen bekrefter imidlertid tidligere resultater som viser at sjøsaltpåvirkning gir mindre effekt på potensielt giftig uorganisk aluminium i takt med redusert forsurening. Vannet er klarere under sjøsaltepisoder, noe som øker den relative andelen av uorganisk aluminium i vannet. Årsakene bør undersøkes nærmere.

Fire norske emneord 1. Forsuring 2. Sjøsaltepisoder 3. Vannkjemi 4. Vassdrag	Fire engelske emneord 1. Acidification 2. Sea-salt episodes 3. Water quality 4. Watercourses
--	--



Atle Hindar
Prosjektleder



Brit Lisa Skjelkvåle
Forskningsleder



Øyvind Sørensen
Ansvarlig

**Sjøsaltepisoder under vinterstormene i 2005 –
påvirkning og effekter på vannkjemi i vassdrag**

Forord

Vinteren 2005 var preget av flere navngitte stormer, hvorav særlig "Gudrun" og "Inga" ble antatt å kunne forårsake sjøsaltepisoder i vassdrag. I søknad av 1. april 2005 foreslo NIVA at forholdene i utsatte vassdrag og feltforskningsområder ble dokumentert. Kontrakt fra Direktoratet for naturforvaltning (DN) ble mottatt 22. juni samme år.

Vannkjemiske data for nedbør, feltforskningsområder og elver fra Statlig program for forurensningsovervåking i regi av SFT, vannkjemiske data fra Terrengkalkingsprosjektet (DN), elveserien (DN/NINA) og kalkdosererkontrollen (DN) er brukt i rapporten. Den 18. januar 2005 tok NIVA en rekke prøver på strekningen Grimstad-Kristiansand på oppdrag fra Statens Vegvesen, Region Sør. Disse data er stilt til disposisjon for prosjektet.

Prosjektet har vært et samarbeid med Espen Enge, som har bidratt med data fra to områder i Vest-Agder og Rogaland. Data fra Sirdal og Kvinesdal stammer vesentlig fra Sira-Kvina overvåkingen, som er et samarbeid mellom Sira-Kvina kraftselskap (prøvetaking) og Espen Enge (analyse). Data fra Frafjord er fra Enges egne undersøkelser.

Liv Bente Skancke har tilrettelagt data og figurer for rapporten.

Vi takker Wenche Aas, NILU for nedbørdata, Kjetil Isaksen, Meteorologisk institutt for værdata, Ann Kristin Schartau, NINA for data fra elveserien og Ivar Skregelid i Sira-Kvina kraftselskap for hydrologiske data fra Sira.

Kontaktperson i DN har vært Roy Langåker.

Grimstad, 20. januar 2006

Atle Hindar

Innhold

Sammendrag	6
Summary	7
1. Bakgrunn	8
2. Materiale og metoder	10
2.1 Vær- og depositionsdata	10
2.2 Avrenning	10
2.3 Vannkjemi	10
2.4 Beregninger og vurderinger	13
3. Resultater	14
3.1 Vær og saltdeposisjon	14
3.2 Avrenning	16
3.3 Vannkjemi	17
3.3.1 Vassdrag	17
3.3.2 Feltforskningsområder, sur nedbør	19
3.3.3 Feltforskningsområder, kalking	22
3.3.4 Data fra Lillesandsområdet	24
3.3.5 Sira, Kvina og Frafjordområdet	25
3.3.6 Data fra DN's kalkdoserer kontroll	28
3.4 Sammenlikning med tilsvarende sjøsaltepisoder	28
3.4.1 Birkenesfeltet og Øygardsbekken	28
3.4.2 Sira	33
3.5 Klart vann under sjøsaltepisoder	34
4. Diskusjon	36
4.1 Geografisk avgrensning	36
4.2 Påvirkning og effekter	37

5. Referanser	38
Vedlegg A. Data for kalkede vassdrag	39
Vedlegg B. Data fra NINAs elveserie	40
Vedlegg C. Data fra Lillesandsområdet	41
Vedlegg D. Data fra DNs dosererkontroll	42
Vedlegg E. Data fra Sirdal, Kvina og Frafjord	44
Vedlegg F. Biologiske observasjoner	48

Sammendrag

En rekke ekstremvær med stormer fra sør-vest rammet Sør-Norge vinteren 2005. NIVA har tidligere vist at det er klare sammenhenger mellom ekstremvær, sjøsaltpåvirkning og negative effekter i vassdrag. Konsentrasjonen av potensielt giftig aluminium kan øke pga ionebytting i jorda. Men det er også vist at at effektene på uorganisk aluminium har avtatt de seinere årene i takt med redusert forsuring.

Vannkjemiske data fra en rekke programmer og prosjekter er vurdert og eventuelt bearbeidet og analysert for å få en oversikt over hvilke områder som ble rammet av sjøsaltepisoder vinteren 2005 og effektene dette hadde på vannkjemi. I tillegg er det samlet data for nedbørmengde, nedbørkjemi og vannføring. Vi har også hatt tilgang på klima- og værobservasjoner vinteren 2005.

Påvirkningen av sjøsalter er karakterisert hovedsakelig ved hjelp av kloridkonsentrasjon og beregnet konsentrasjon av ikke-marin natrium (Na^*). Effektene er beregnet som endringer i pH, konsentrasjon av labilt aluminium (LAl) og syrenøytraliserende kapasitet (ANC).

Denne rapporten er konsentrert om påvirkningen fra stormene "Gudrun" og "Inga" hhv. 8. januar og 12. januar 2005, men data viser at det også var andre sjøsaltepisoder i Sør-Norge vinteren 2005. Klar påvirkning fra "Inga" ser ut til å ha hatt sin østgrense ved Roskreppfjorden mellom Setesdal og Sirdal, mens områder langs Agderkysten også har vært påvirket av "Gudrun". Mens stormen "Gudrun" ga høyest vannføring, ser det ut til at maksimal sjøsaltdeposisjon har vært seinere mange steder, trolig som resultat av "Inga". Det er spesielt tydelig nordover på Vestlandet, der "Inga" gjorde seg mest gjeldende.

Påvirkning og effekter viser at vinteren 2005 er sammenliknbar med "sjøsaltvintrene" i 1990, 1993, 1997 og 2000 på Sørvest- og Vestlandet. Varigheten var imidlertid relativt begrenset flere steder.

Sjøsaltdeposisjonen vinteren 2005 resulterte i beregnet konsentrasjon av Na^* på under $-20 \mu\text{ekv/L}$ i flere elver, feltforskningsområder og andre enkeltlokaliteter. Det var dermed fare for ekstremt lav pH og høy konsentrasjon av giftig aluminium i vassdragene. Denne undersøkelsen bekrefter imidlertid tidligere resultater som viser at sjøsaltpåvirkning de siste årene gir mindre effekt på potensielt giftig, uorganisk Al i takt med redusert forsuring.

Kalkede vassdrag blir også påvirket av sjøsaltdeposisjon. Effektene er derimot minimale fordi kalken bufrer mot pH-endringer og dermed endringer i konsentrasjonen av LAl.

I enkelte vassdrag er det registrert liten påvirkning og effekt til tross for at de tilsynelatende ligger i områder som ble rammet av stormene, for eksempel Sira ved utløpet, Otra og Arendalsvassdraget. Det skyldes to forhold; at nedbørfeltene er store og også omfatter områder som i svært liten grad ble rammet og at det er store innsjøer i vassdragene som virker utjevnende på vannkjemiske endringer.

Det er vist i denne rapporten at vannet er klarere under sjøsaltepisoder enn ellers. Fortynning ser ikke ut til å forklare den betydelige forskjellen. En ionestyrkeeffekt, en forsuringseffekt med økt Al eller en kombinasjon av disse kan være aktuelle årsaker. Mindre humus kan forsterke de negative biologiske effektene under sjøsaltepisoder ved at en større andel Al er på uorganisk form. Årsakssammenhengen bør derfor undersøkes nærmere, blant annet for å finne ut om dette endres over tid i takt med forsuringsutviklingen.

Summary

Title: Sea-salt episodes during the winterstorms in 2005 – influence and effects on water chemistry in streams and rivers

Year: 2006

Author: Atle Hindar and Espen Enge

Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN No.: ISBN 82-577-4824-2

Extreme weather with storms from south-west affected Southern Norway during the winter 2005. A close connection between extreme weather, sea-salt deposition and negative effects in rivers has previously been shown by NIVA, but it has also been shown that the effects on potentially toxic aluminium decrease over time along with reduced acidification.

Water chemistry data from several rivers and streams, together with precipitation amount, precipitation chemistry, run-off and weather observations have been evaluated. Two major storms, “Gudrun” on 8 January and “Inga” on 12 January, affected surface water and its quality along the south-western and southern coast.

Influence of sea-salts was characterised mainly by Cl-concentrations and estimated concentrations of non-marine Na (Na*), whereas effects was characterised by changes in pH, concentrations of inorganic, monomeric Al (LAl) and acid neutralising capacity (ANC).

Sea-salt deposition in winter 2005 resulted in estimated concentrations of Na* of less than – 20 µeq/L in some rivers and in streams of several smaller catchments resulting in reduced pH and elevated concentrations of LAl. Sea salt influence over the last five years resulted in lower concentrations of LAl compared with the previous five-year period at two monitoring stations, and the relative Cl-increase during such episodes at the Birkenes monitoring station are associated with higher ANC over time, confirming previous results.

Some of the monitored rivers are limed, and due to the increased buffering capacity of these rivers no harmful water quality was observed as a result of the storms.

In some of the examined watercourses, having outlets in the affected area, no or insignificant influence of sea-salt deposition or effects on water chemistry were found. This is partly because large parts of their catchments are upstream of the affected area and/or partly due to large lakes which tend to smooth out water chemistry changes.

It has been shown in this report that total organic carbon is significantly lower during sea-salt episodes (Na* < 0 µeq/L) than in periods defined as being not affected by sea-salt deposition. Dilution at higher run-off does not seem to be the cause. Increased ionic strength, increased acidity+Al or a combination of these factors during the episodes may explain the reduced TOC. Relatively higher concentrations of dissolved, inorganic Al are available at lower TOC-concentrations, increasing the potential toxicity of Al. Further investigations on this matter should therefore be stimulated.

1. Bakgrunn

En rekke ekstremvær med stormer og høy vannstand rammet Norge vinteren 2005, se nyhetsbildet fra Meteorologisk institutt (met.no) under:

”17.01.05: Gudrun, Hårek, Inga og de viktige havvarslingsmodellene
 14.01.05: Uvær som var - hvem kommer nå?
 12.01.05: Første offisielle sesongvarsel fra Meteorologisk institutt
 12.01.05: I dag kommer Inga
 11.01.05: Litt om ekstremvær og navn
 10.01.05: Hårek vil skape problemer i Nord Trøndelag og Nordland
 07.01.05: met.no advarer: Uvanlig høye bølger
 07.01.05: Gudrun skaper ekstremt høy vannstand og kraftig vind
 07.01.05: JA, -første uken av januar 2005 har vært spesielt varm”

”Januar var preget av uvanlig mye ekstremvær, med kraftig vind, høy vannstand og mye nedbør. I løpet av en uke fikk deler av Norge oppleve tre ekstreme værhendelser. Først "Gudrun", som slo til den 8., så "Hårek" som herjet den 10. og 11. og sist "Inga" den 12.”

”21.12.2004: '**Finn**': Nord-Møre til Vesterålen: S full storm, senere W sterk storm.
 08.01.2005: '**Gudrun**': Sør-Rogaland: NW sterk storm, Agder - Svenskegrensa: W liten/full storm. Egersund – Svenskegrensa: Høy vannstand.
 10.01.2005: '**Hårek**': Nord-Trøndelag til Lofoten: W full - kortvarig sterk storm. Høy vannstand.
 11/01.2005: '**Inga**': Egersund til Kristiansund: Stormflo (høy vannstand) S/SW liten til sterk storm.”

Ekstra prøver fra Sira ved Tonstad ble hentet inn på bakgrunn av følgende avisoppslag i Fædrelandsvennen mandag den 10. januar 2005 (etter "Gudrun"):

”- Trær har falt over linjene. Master har brukket, og ledninger er blitt røsket ut av hus. Det har også vært et stort problem for oss at saltvann fra sjøen har blåst inn over land og lagt seg på isolatorene og kuttet strømmen. Vi har faktisk registrert sjøsprøyt helt inn mot Sirdal, forklarte Henden”, som er informasjonssjef i Agder Energi.

Parallelt med denne oppmerksomheten på norsk side kom det meldinger fra Sverige om enorme ødeleggelser i skogsområdene i Småland; 150 millioner felte trær, 75 millioner m³ skog i vindfall, 400.000 uten strøm og skader for 20 milliarder SEK etter stormen "Gudrun", som gikk i en markert østlig retning, se over og **Figur 1**. IVL registrerte derfor sjøsalteffekter i sine undersøkelser i feltforskningsområder ved Gøteborg (Filip Moldan, IVL, pers. oppl.).

Også Danmark og Tyskland ble rammet av "Gudrun" ("Erwin" i Tyskland): "De kraftigste vinde blev målt i Hanstholm, hvor middelvinden en periode var oppe på 35 m/s med stød op til 46 m/s, og det svarer jo til fuld orkan, som begynder ved 32 m/s," fortæller Danmark-meteorolog Jens Christiansen" (www.dmi.dk).

Det er tidligere vist klare sammenhenger mellom ekstremvær, sjøsaltpåvirkning og effekter i vassdrag (Hindar et al. 1994) og at sjøsalteffektene som følge av ekstremvær avtar med avtakende forsuringstrykk (Hindar et al. 2004). Hindar et al. (2004) viste også at det var en direkte sammenheng mellom regionale klimamønstre, representert ved North Atlantic Oscillation (NAO), og potensielt giftig vannkjemi i vassdragene. Vannkjemiske data fra vassdrag og annet relevant materiale er derfor satt sammen for å undersøke hvilke utslag ekstremvær fortsatt kan gi på vannkvalitet.



Figur 1. 75 millioner kubikmeter skog ble revet ned i Sør-Sverige under stormen ”Gudrun” (Kilde: Smålandsposten). Stormen gikk i østlig retning og rammet Norge helt i sør (Kilde: www.guycarp.com)

2. Materiale og metoder

2.1 Vær- og deposisjonsdata

Data for nedbør og kloridkonsentrasjon i nedbør er fra Statlig program for forurensningsovervåking. Her er brukt data fra tre NILU-stasjoner langs Vestlandskysten (Nausta, Haukeland og Vikedal) og en i Agder (Birkenes). For de tre første samles nedbør på ukebasis, og den oppsamlede mengden sendes til analyse. Det vil si at konsentrasjonene som måles er middelkonsentrasjoner for nedbøren den aktuelle uka. På Birkenesstasjonen tas det daglige prøver av nedbør slik at konsentrasjonene blir døgnmiddelverdier. Nedbørkjemien måles med standard analysemetoder på NILU.

Notater med beskrivelser og data fra stormene er oversendt fra Meteorologisk institutt, mens lufttrajektorier er hentet fra NILUs hjemmeside (nilu.no/trajectories). Data for North Atlantic Oscillation Index (NAOI) er hentet fra værserveret ved National Oceanic & Atmospheric Administration (NOAA/National Weather Service).

2.2 Avrenning

Avrenningsdata er hentet fra feltforskningsområdet Birkenes i Aust-Agder og stasjonen Regevik i Sira rett oppstrøms Tonstad. Birkenesstasjonen er del av Statlig program for forurensningsovervåking, og det er NVE som har ansvar for driften av den hydrologiske stasjonen. Regevik driftes av Sira –Kvina kraftselskap. For Birkenes er det brukt døgnmiddelverdier for vannføring, mens det for Regevik er brukt punktobservasjoner med to timers intervaller.

2.3 Vannkjemi

Vannkjemiske data fra en rekke programmer og prosjekter er vurdert og eventuelt analysert for å få en oversikt over hvilke områder som ble rammet av sjøsaltepisoder vinteren 2005 og effektene på vannkjemi. Følgende datasett er vurdert:

- elvedata og feltforskningsdata fra Statlig program for forurensningsovervåking (SFT 2004)
- feltforskningsdata fra kalkings-FoU (DN-finansiert; Hindar 2005a)
- data fra DN's kalkdosererkontroll (DN 2005)
- data fra NINAs elveserie (DN-finansiert; Saksgård og Schartau 2004)
- data fra Lillesandområdet samlet inn på oppdrag for Statens vegvesen i forbindelse med ny E18 Grimstad-Kristiansand (Hindar 2005b)
- data fra Sira-Kvina overvåkingen (Sira-Kvina kraftselskap/Espen Enge, se vedlegg)
- data fra Frafjordområdet (Espen Enge, se vedlegg)

For de nasjonale overvåkings- og FoU-prosjektene vises det til de refererte arbeidene for nærmere omtale og geografisk plassering av lokaliteter og prøvetakingssteder. For de tre nederste prosjektene har vi tatt med stasjonsplassering her. Prøver fra de to øverste gruppene og fra Lillesandsområdet er analysert på NIVA etter akkrediterte metoder. Prøver fra DN's driftskontroll er analysert av M-Lab i Stavanger etter akkrediterte metoder. Prøver fra NINAs elveserie er analysert etter akkrediterte metoder på NINAs laboratorium.

Prøvene fra Sirdal hentes av Sira-Kvina kraftselskap og sendes til laboratoriet for analyse. Prøvene fra Frafjord er delvis målt på feltlaboratoriet på Haalandstølen. Stølen er usstyrt med batteridrevet pH-meter, konduktivimeter og fotometer.

pH på prøvene fra Frafjord ble målt på "feltlab" (pH-meter AMA-digit/elektrode Amagruss). Prøvene fra Sirdal ble hovedsakelig analysert etter standard metoder i eget laboratorium. pH ble målt med pH-meter Cole-Parmer og elektrode Radiometer GK2401C. Konduktivitet ble målt med Cole-Parmer konduktivimeter 19101-00. H⁺-korreksjon av konduktivitet er gjort i enkelte tilfeller fordi H⁺ bidrar forholdsvis mye til konduktivitet. Uten H⁺-bidraget er variasjonen i konduktivitet sterkere knyttet til variasjonen i klorid. Aluminium ble målt fotometrisk med Eriochrome Cyanine R. Al-verdier bestemt etter metoden ovenfor gir noe lavere verdier enn NIVAs reaktivt Al (RAI). På 20 prøver fra Sirdal med målt Al i området 30-160 µg/l var sammenhengen mellom Al og RAI slik:

$$RAI = 1,12 \cdot Al + 14 \quad r^2=0,89$$

Fargetall på prøvene fra Frafjord ble målt med HACH fotometer ved 450 nm. Prøvene fra Sirdal ble målt med spektrofotometer Spectronic Genesys ved 410 nm (ufiltrert). Kalsium og natrium ble målt med ioneselektiv elektrode. Klorid ble titrert konduktometrisk med AgNO₃. Nitrat ble målt fotometrisk etter Zn-reduksjon og er oppgitt som µg NO₃-N/L. Sulfat ble målt turbidimetrisk som BaSO₄. Modifisering for lave sulfatverdier (<10 mg/l) er benyttet.

Data fra 18. januar i Lillesandsområdet omfatter 21 lokaliteter, hovedsakelig bekker og mindre vassdrag (**Tabell 1** og **Figur 2**).

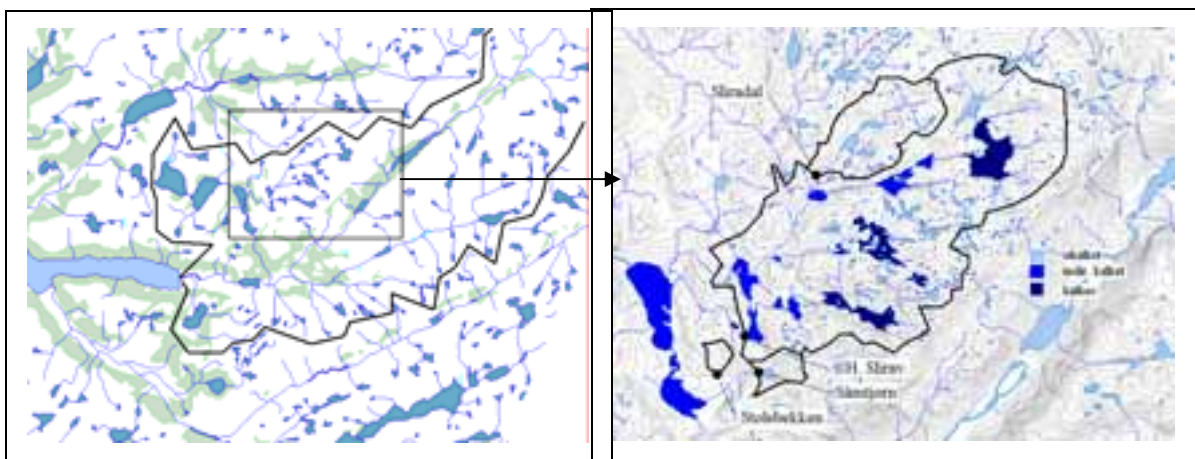


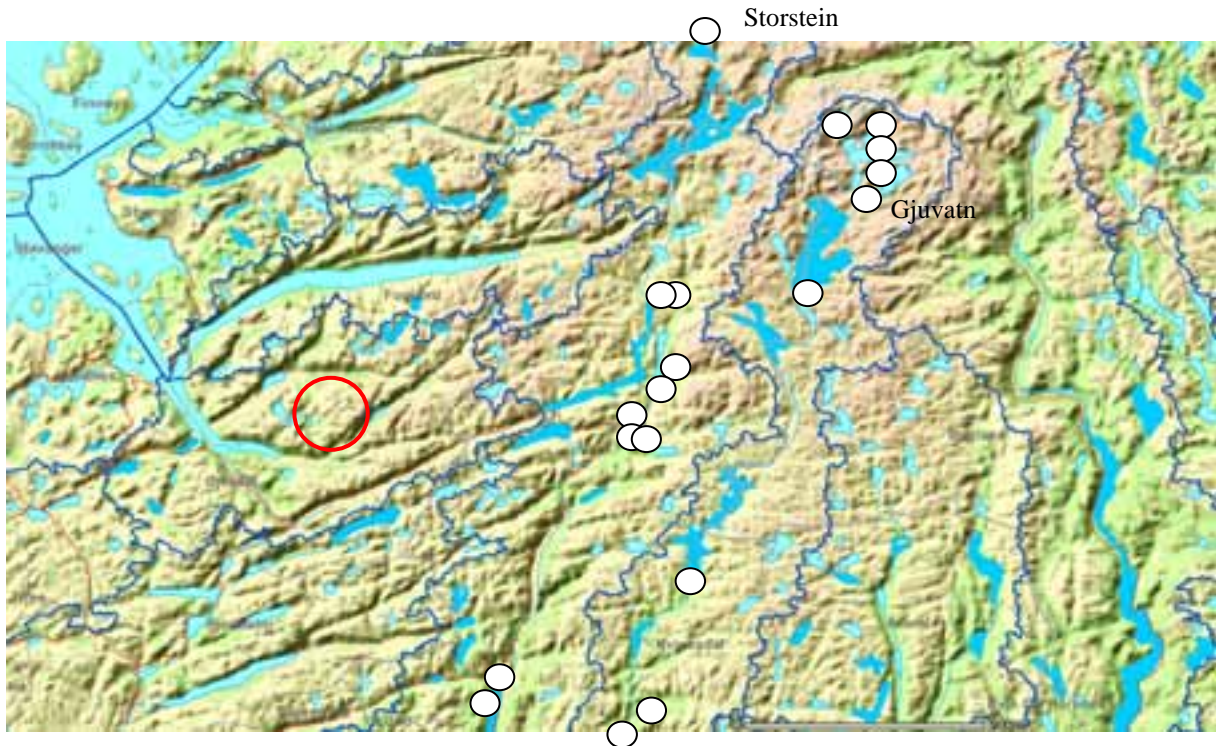
Figur 2. Lokaliteter i Lillesandområdet som ble prøvetatt 18. januar 2005. Nummerering som i **Tabell 1**.

Tabell 1. Lokalteter i Lillesandområdet som ble prøvetatt 18. januar 2005, se også kart i **Figur 2**.

Lok. nr.	Lokalitet navn	Kategori	Prøvetaking				
			sep.01	okt.01	jan.05	mai.05	jul.05
1	Grastjenn innløpsbekk	eksponert sulfidgneis	x	x			
2	Grastjenn utløpsbekk	eksponert sulfidgneis	x	x			
3	Krogevatn	eksponert gneis i fylling	x				
4	Urdevatn innløpsbekk	ueksponert sulfidgneis	x	x	x	x	x
5	Kviksvatn utløpsbekk	ueksponert sulfidgneis	x				
6	Bjellandsdalsbekken	granittisk gneis	x	x	x	x	x
7	Svartjern	ueksponert sulfidgneis	x		x	x	x
8	Badstudalsbekken	ueksponert sulfidgneis	x	x	x	x	x
9	Borkedalsbekken	ueksponert sulfidgneis	x	x	x	x	x
10	Bjørkestølbekken	ueksponert sulfidgneis	x	x	x	x	x
11	Langedalstjenn utløpsbekk	eksponert sulfidgneis	x	x	x	x	x
12	Langedalstjenn innløpsbekk	eksponert sulfidgneis	x	x	x	x	x
13	Langedalstjenn inn, E18	eksponert sulfidgneis	x	x	x	x	x
14	Stordalsbekken, oppe	ueksponert sulfidgneis	x	x	x	x	x
15	Stordalsbekken, nede	eksponert sulfidgneis	x	x	x	x	x
16	Knipemyrbekken	ueksponert sulfidgneis	x	x	x	x	x
17	Kaldvøllelva	ueksponert sulfidgneis	x	x	x	x	x
18	Bådestølbekken	ueksponert sulfidgneis	x	x	x	x	x
20	Fjeldalselva	liten del ueks.sulfidgn.			x	x	x
21	Lomtjenn, utløp				x	x	x
22	Furekjerrtjenn, utløp	eksponert sulfidgneis			x	x	x
23	Stordalsbekken, ved veikryss	eksponert sulfidgneis			x	x	x
24	Stordalsbekken, før E18	eksponert sulfidgneis			x	x	x
25	Tilløp Kaldvøll, nede	ueksponert sulfidgneis			x	x	
26	Barbro bekk	ueksponert sulfidgneis			x	x	

Overvåkingen av vassdrag rundt Haalandstølen i Frafjord omfatter både kalkede og ukalkede lokaliteter (**Figur 3**). Lokalitetene som er tatt med her er Stølsbekken (ukalket), Sämtjørn (ukalket) og Heimre Sliravatn (kalking oppstrøms tilsv. 45 % av avløpet). Alle disse ligger 500-600 m o.h. Det er i tillegg hentet prøver fra en ukalket prøvestasjon lenger inne i fjellet (Sliradal: 800 m o.h.). Parametrene som inngår i den ordinære overvåkingen er pH, konduktivitet og alkalitet. De seinere år er også en del av prøvene analysert mhp. kalsium og fargetall. Prøvefrekvensen varierer fra et par prøver i året (Sliradal) til ca. 8 prøver i året (Stølsbekken). De lengste prøveseriene i dette området er ca. 10 år. I forbindelse med sjøsaltepisoden ble parameterutvalget utvidet med aluminium, klorid og natrium. Det er også målt nitrat og sulfat på mange av prøvene.

**Figur 3.** Oversiktskart over prøvestasjonene i Haalandstøloområdet i Frafjordvassdraget.



Figur 4. Oversiktskart over prøvestasjonene i Sira og Kvina. Den røde ringen til venstre på kartet representerer prøvestasjonene i Frafjord, se **Figur 3**.

Mens overvåkingen i Frafjord skjer i et lite geografisk område rundt Haalandstølen, omfatter Sira-Kvina overvåkingen ca. 20 lokaliteter i både Sira og Kvina (**Figur 4**). Sira ved Tonstad (50 m o.h.) er sørligste stasjon og Storstein (920 m o.h.) er den nordligste. Avstanden mellom disse er ca. 70 km. Flere av prøvestasjonene har lange tidsserier på opp til 20 år. Det tas gjennomsnittlig seks vannprøver i året. De seinere årene har parameterutvalget vært pH, konduktivitet, fargetall, kalsium og aluminium. I forbindelse med denne sjøsaltepisoden ble det i tillegg målt klorid og natrium på de fleste prøvene. Nitrat og sulfat blir målt sporadisk.

2.4 Beregninger og vurderinger

Konsentrasjonsøkningen av klorid og beregnet ikke-marin natrium (Na^*) i vassdragene er brukt som indikatorer på sjøsaltpåvirkning. For å beregne Na^* trekkes den marine andelen fra den målte konsentrasjonen:

$$\text{Na}^* = \text{Na}_{\text{målt}} - \text{Na}_{\text{marint}}$$

Marin andel finnes ved å anta at all målt klorid er fra sjøsalter ($\text{Cl}_{\text{målt}} = \text{Cl}_{\text{marint}}$). Forholdet mellom klorid og natrium i sjøvann kan derfor brukes til å finne marint Na. Beregningen av Na^* blir da:

$$\text{Na}^* = \text{Na}_{\text{målt}} - (\text{Cl}_{\text{målt}} \cdot \text{Na}_{\text{sjøvann}} / \text{Cl}_{\text{sjøvann}}) = \text{Na}_{\text{målt}} - 0,856 \cdot \text{Cl}_{\text{målt}}$$

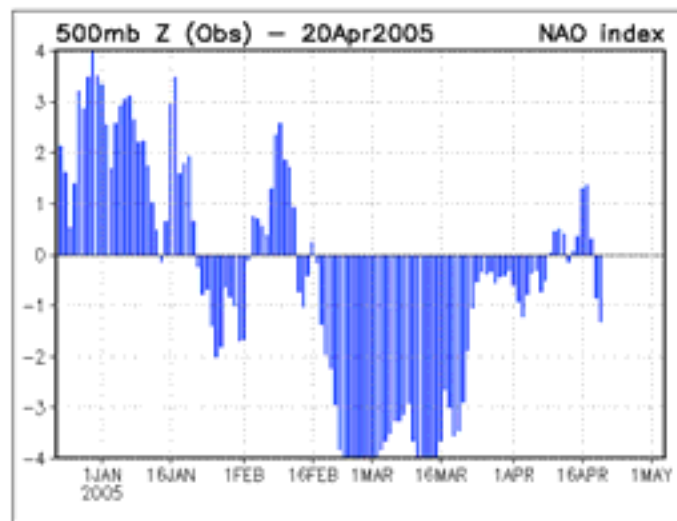
Alle konsentrasjoner er i $\mu\text{ekv/L}$ slik at konsentrasjoner for ulike ioner kan sammenliknes direkte.

Na kan ionebyttes i jorda under kraftige sjøsaltepisoder, mens Cl passerer relativt upåvirket gjennom jorda og ut i vassdragene. Det kan derfor måles lavere Na-konsentrasjon enn den beregnede sjøsaltandelen, og tallet for Na^* blir negativt. Na^* er brukt aktivt som indikator på sjøsaltepisoder. Ved $\text{Na}^* < -20 \mu\text{ekv/L}$ er det fare for negative effekter av sjøsaltpåvirkningen. Det er fordi Na-underskuddet må kompenseres med andre ioner for å opprettholde laddningsbalansen. I jord med god bufferevne skjer dette hovedsakelig med kalsium og magnesium, mens det i forsuret jord også skjer med H^+ og Al-ioner. Kombinasjonen av forsuring- og saltpåvirkning avgjør konsentrasjonen av de to sistnevnte og dermed hvor giftig vannet kan bli for fisk (Hindar et al. 1994).

3. Resultater

3.1 Vær og saltdeposisjon

I perioden 26. desember 2004 til 12. januar 2005 var klimamønsteret i det nordlige Atlanterhavet karakterisert ved svært høye verdier for NAO-indeksen (**Figur 5**). Det gjenspeiler et spesielt lavt trykk ved Island og spesielt høyt trykk i området vest for Portugal. Under slike forhold oppstår det ekstremvær i Sør-Norge med kraftige vestlige vinder som kan være ledsaget av forholdsvis høye temperaturer og mye nedbør. Dette er forutsetninger for at det transporteres store mengder sjøsalter inn over land, og resultatet kan være spesielt surt og giftig vann (Hindar et al. 2004).



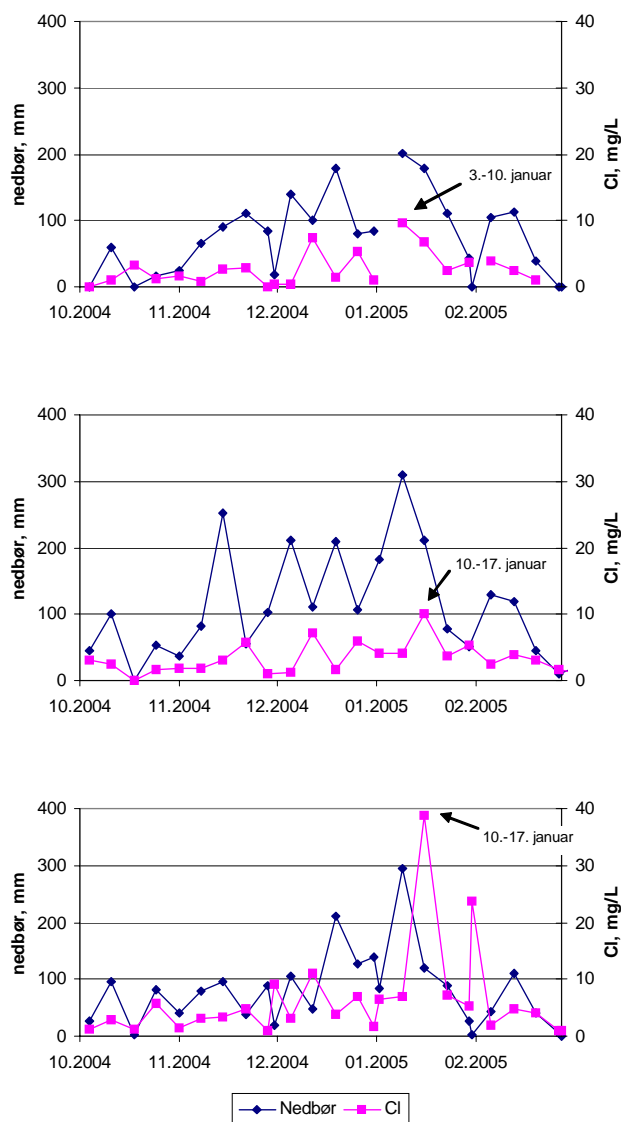
Figur 5. North Atlantic Oscillation Index (NAO-indeksen) for perioden 23. desember 2004 til 20. april 2005. Data fra NOAA/National Weather Service.

Stormene ”Gudrun” og ”Inga” ble ledsaget av svært lavt trykk, hhv. 959 hPa vest av Rogalandskysten kl. 12.00 den 8. januar og 960 hPa øst for Mjøsa seks timer seinere (notat fra met.no). Kl. 12.00 den 12. januar 2005 ble det målt 965 hPa ved Stad og 985 hPa ved Egersund (notat fra Kristine Gjesdal, met.no). Vindstyrker på 22–30 m/s (liten-sterk storm) ble målt på Vest-Agderkysten, mens stiv til sterk kuling ble målt langs kysten østover til Østfold den 8. januar. Sørlege og sørvestlege vindstyrker på 20–50 m/s ble målt kl. 12.00 den 12. januar på strekningen Rogaland – Sogn og Fjordane.

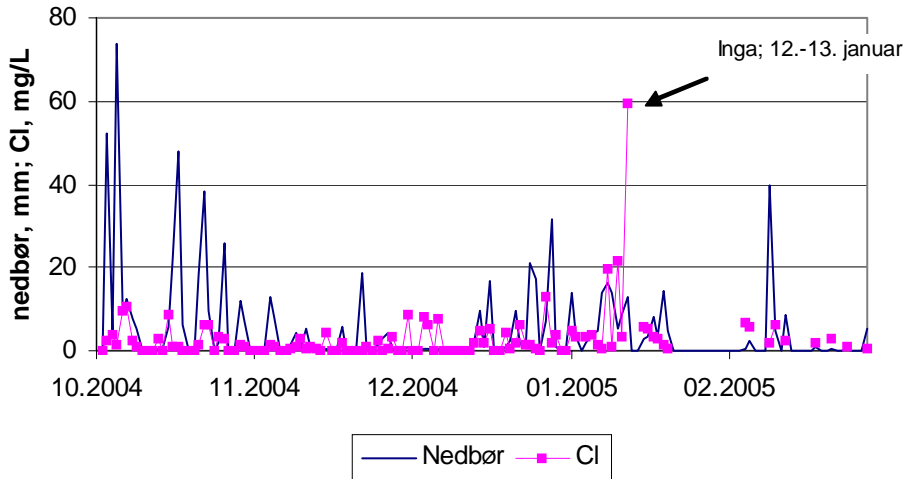
Lufttrajektorier (nilu.no/trajectories) mot et spesielt punkt viser hvor luftstrømmene i forskjellige høyder kommer fra (lufttransporten de fire siste døgn). For Birkenesstasjonen nord for Kristiansand

var det dominerende vindretning fra sør-vest og luftmassene passerte Storbritannia før de kom inn mot Agder både den 8. og 12. januar 2005.

Data for nedbørmengde og nedbørkjemi viser at Nausta i Sogn og Fjordane hadde mye nedbør og høy kloridkonsentrasjon både i perioden 3.-10. januar og 10.-17. januar 2005 (**Figur 7**). Haukeland i Hordaland hadde mest nedbør i perioden 3.-10. januar, mens kloridkonsentrasjonen uka etter var dobbelt så høy. Samme mønster som i Haukeland ses også på stasjonen i Vikedal, der midlere kloridkonsentrasjon var 39 mg/L i perioden 10.-17. januar, mens nedbørmengden var under halvparten av mengden i uka før.



Figur 6. Nedbørmengde og klorid (Cl) i nedbør på stasjonene Nausta, Haukeland og Vikedal. Nedbørmengde er i mm/uke, mens det er ukkesmidler for Cl-konsentrasjon.



Figur 7. Nedbørmengde og klorid (Cl) i nedbør på Birkenes. Nedbørmengde er i mm/døgn, mens det er døgnmidler for Cl-konsentrasjon.

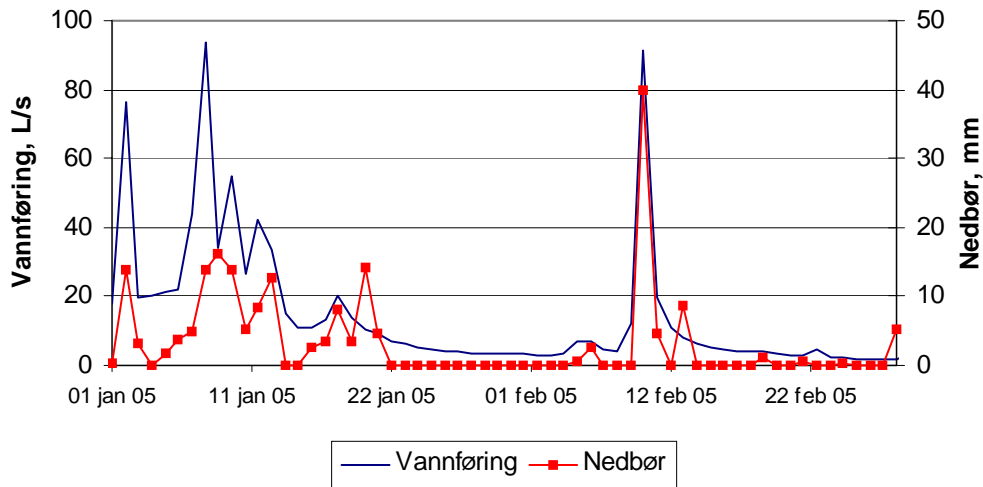
Data fra Birkenes er på døgnbasis og gir derfor en langt bedre tidsoppløsning. Kloridkonsentrasjonen for døgnet 12.-13. januar framstår med en svært markert topp, mens nedbørmengden var moderat. Men to av døgnene forut hadde også forholdsvis høy kloridkonsentrasjon, men bare en tredel av det den var 12.-13. januar (**Figur 7**).

Resultatene viser at nedbørstasjonen Nausta ble mest påvirket av sjøsalter helt i begynnelsen av januar 2005, mens "Inga" førte til sterkest sjøsaltpåvirkning lenger sør.

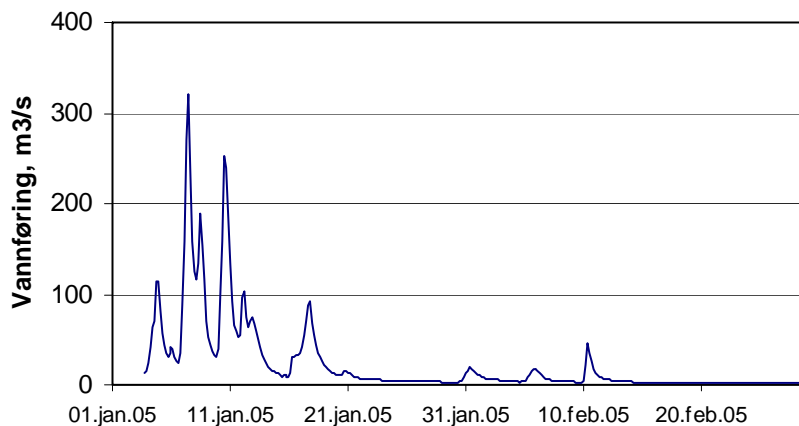
3.2 Avrenning

På Birkenesstasjonen var det først en flomtopp 2. januar, mens "Gudrun" og "Inga" ga høy avrenning i perioden 7.-12. januar (**Figur 8**). Høyeste avrenning i denne perioden var 7. januar, i forkant av "Gudrun". Det harmonerer godt med nedbørdataene.

Limnigrafen ved Regevik i Sira står ca. 2-3 km oppstrøms Tonstad. Middelvannføringen over året er 9,5 m³/s. Tilleggsfeltet ned til Tonstad representerer kun 1,5 m³/s, så vannføringsmønsteret ved Regevik vil være representativt for Sira ved Tonstad. Ved Regevik var maksimal vannføring 320 m³/s (34 x middelvannføring) og ble målt 07.01.2005 ca. kl. 12 (**Figur 9**). Tilsammen representerte avløpet i januar ca. 1/3 av midlere årsavløp. Januar hadde fem mer eller mindre tydelige flomtopper, med 320 m³/s den 7. januar som høyeste.



Figur 8. Døgnmidler for vannføring og døgnnedbør på feltforskningsstasjonen Birkenes nederst i Tovdalsvassdraget. Data fra NVE og NILU.



Figur 9. Vannføring (Q) ved Regevik i Sira vinteren 2005. Data fra Sira-Kvina kraftselskap.

3.3 Vannkjemi

3.3.1 Vassdrag

For å få et inntrykk av sjøsaltpåvirkningen i større vassdrag er Cl og Na* i kalkede vassdrag vurdert.

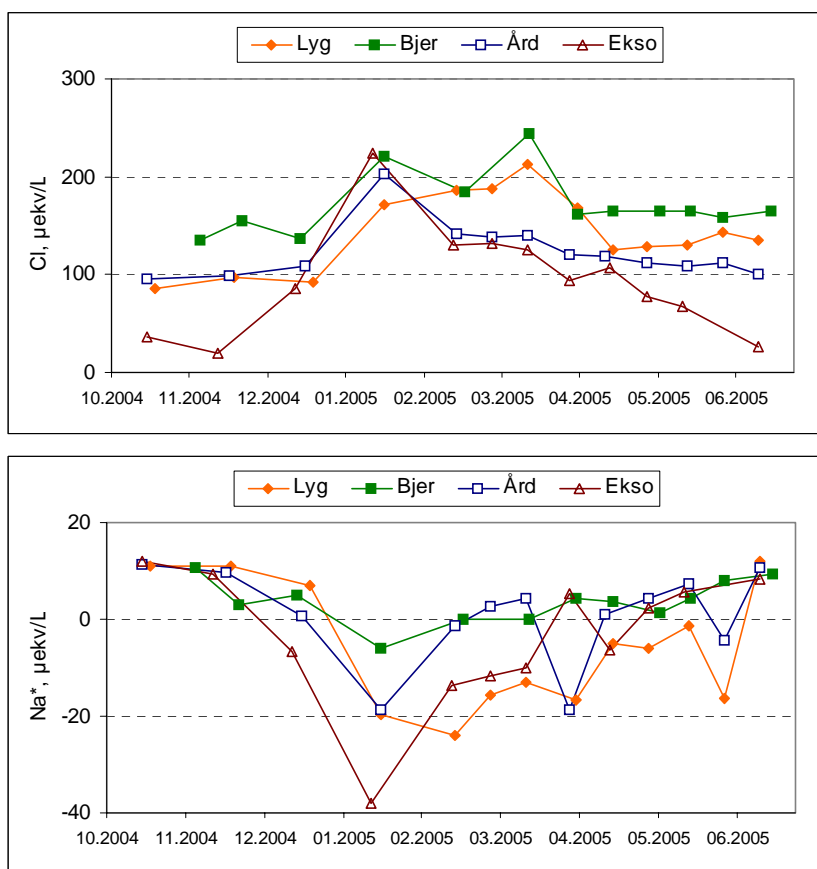
Aust-Agder. Gjerstadvassdraget i Aust-Agder hadde en jevn økning i kloridkonsentrasjonen fra høsten 2004 og fram til våren 2005, men ikke negative verdier for ikke-marin Na (Vedlegg A). I Nidelva var det nærmest ingen effekt, mens Tovdalselva hadde en noe mer markert kloridtopp midt i januar og midt i februar.

Vest-Agder. Mandalsvassdraget hadde en markert sjøsaltpåvirkning med klar kloridøkning 17. januar og videre mot 14. februar 2005 med tilhørende negative verdier for Na^* (Vedlegg A). Laveste verdi for ikke-marin Na^* var $-16 \mu\text{ekv/L}$, et relativt moderat nivå som ikke vil gi så store effekter. En tilsvarende påvirkning skjedde også i april. Påvirkningen i Mandalselva var tydelig til tross for at vassdraget er stort. Påvirkningen i sidevassdrag langt nede i vassdraget har trolig vært atskillig kraftigere. I Lygna var det en topp i klorid midt i mars (**Figur 10**), og Na^* hadde negative verdier i nesten et halvt år, lavest med $-24 \mu\text{ekv/L}$ midt i februar 2005.

Vestlandet. I vassdragene lenger vest var sjøsaltpåvirkningen langt mer markert (**Figur 10**). For Årdalselva og Ekso var det en klar kloridtopp midt i januar, mens det i Bjerkreim også var en topp midt i mars. Kloridøkningen i Bjerkreimselva var moderat, med laveste beregnet Na^* på $-6 \mu\text{ekv/L}$. I dette vassdraget er det betydelig demping av variasjon pga store innsjøer. I Årdalselva ble verdiene like lave, men påvirkningen varierte langt mer.

Na^* - konsentrasjonen i Ekso var $-38 \mu\text{ekv/L}$ den 13. januar. Potensialet for negative effekter var derfor betydelig, men fordi elven kalkes, ville en forvente at pH holdt seg over målnivået. Den 13. januar ble imidlertid pH redusert til 5,45 (fra 6,00 i desember). Endringen i H^+ - konsentrasjon i $\mu\text{ekv/L}$ ble imidlertid kun $2,5 \mu\text{ekv/L}$ (fra pH 6,00 til 5,45) og i Al-ioner under $2 \mu\text{ekv/L}$ (LAl økte til $22 \mu\text{g/L}$), slik at kalkingens bidrag til bufferkapasitet (alkalitet) har vært viktig for å unngå dårligere vannkvalitet under sjøsaltepisodene.

For alle de andre nevnte vassdragene, med unntak av Nidelva (som ikke var fullkalket på dette tidspunktet), var pH nær eller over 6,0 gjennom hele vinteren.



Figur 10. Kloridkonsentrasjon og beregnet ikke-marin natrium (Na^*) for Lygna i Vest-Agder, Bjerkreimselva og Årdalselva i Rogaland og Ekso i Hordaland.

De mest relevante vassdragene i NINAs elveserie er vurdert. Otra i Vest-Agder har et så stort nedbørfelt innover mot fjellene innerst i Agder at kloridkonsentrasjonen normalt er svært lav og lite påvirket av sjøsaltdeposisjon. Det var også tilfellet vinteren 2005. Utløpet av Siravassdraget ved Åna-Sira rett vest for Flekkefjord (Vest-Agder) ligger nedstrøms to store innsjøer, Sirdalsvannet og Lundevannet, og viste ingen spesiell respons på økt sjøsaltilførsel (Vedlegg B). Det skyldes at de store innsjøene utjevner endringer i tilførslene. Seinere i rapporten viser vi betydelig påvirkning og effekter høyere oppe i vassdraget.

Imsa (Rogaland) er et mindre vassdrag (128 km²) øst for Stavanger med en rekke mindre innsjøer i nedbørfeltet, og her var det noe økning i kloridkonsentrasjonen fram til mars, men den relative økningen var forholdsvis liten. Likevel ble det beregnet Na* på -20 µekv/L den 7. mars.

I Haugsdalselva i Matre (Hordaland) var kloridkonsentrasjonen ca. 170 µekv/L (6 mg/L) i januar-april, og avtok mot 55-80 µekv/L fram til sommeren. Na* var -11 til -14 µekv/L i januar-mars. pH-verdiene var blant de laveste (ned til pH 5,1), og konsentrasjonen av uorganisk monomert Al (UM-Al) var blant de høyeste (opp til 40-50 µg UM-Al/L) som er målt i dette vassdraget, se tidsserie for perioden 1993-2003 i Saksgård og Schartau (2004).

3.3.2 Feltforskningsområder, sur nedbør

Data for påvirkning og effekter i de seks feltforskningsområdene Langtjern, Storgama, Birkenes, Øygardsbekken, Svartetjern og Kårvatn er vurdert.

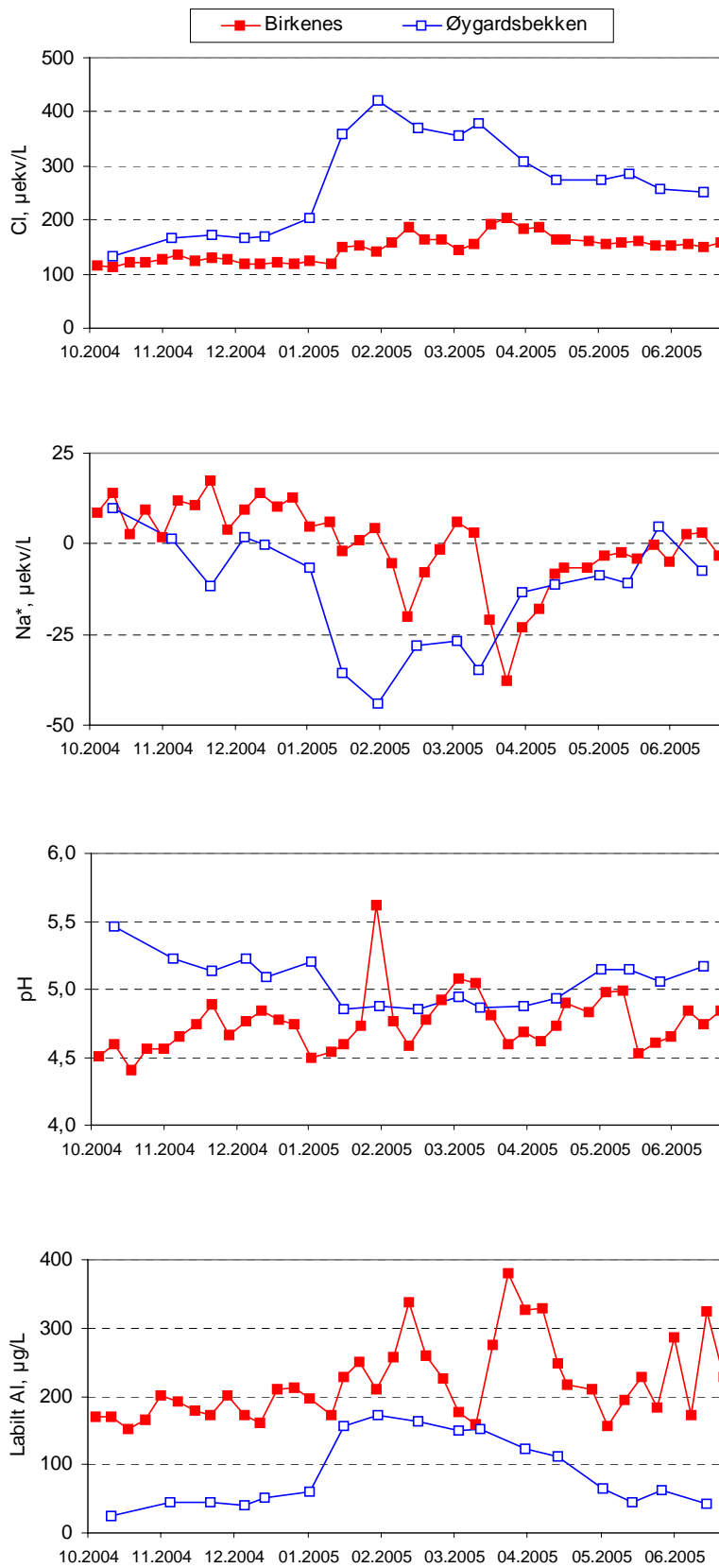
Langtjern i Flå kommune i Buskerud ligger så langt fra kysten at området var helt upåvirket av sjøsaltepisodene. Storgama i Vest-Telemark ligger også så langt inne i landet at påvirkningen bare framkommer som en liten, men jevn, økning fra midt i januar og med stabilt nivå fram til april. Ikke-marin Na hadde positive verdier gjennom hele vinteren.

Birkenesfeltet i Aust-Agder og de tre lokalitetene langs kysten fra Rogaland til Møre og Romsdal, derimot, viste klare effekter gjennom vinteren 2005 (**Figur 11** og **Figur 12**).

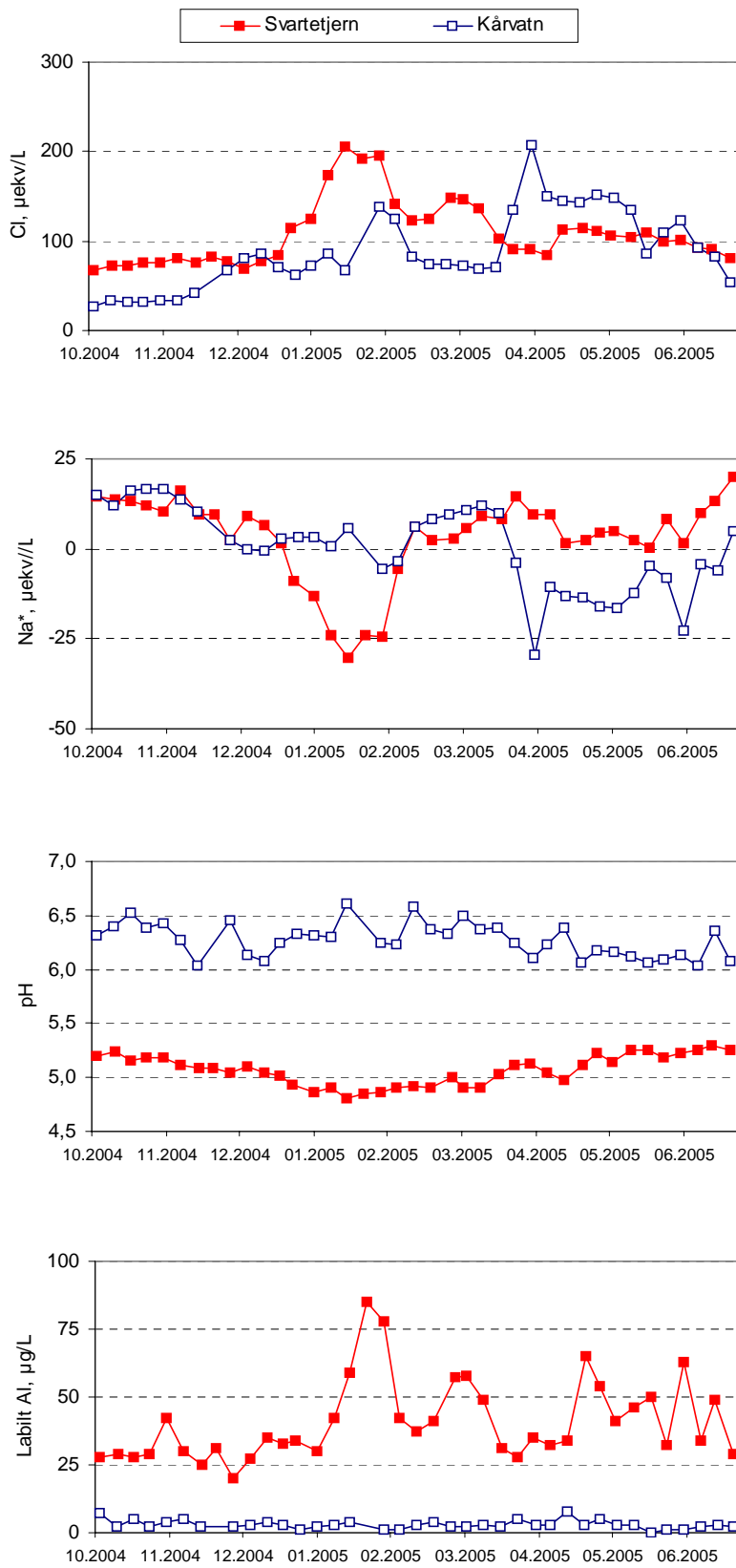
Økningen i Cl-konsentrasjon i januar i Birkenesfeltet var liten (se også **Figur 13**). Største Cl-konsentrasjon var ved påsketider seint i mars, men også i februar var det en klar topp. For disse to periodene ble det beregnet Na*-verdier på hhv. -38 og -20 µekv/L. pH-verdiene i Birkenes var ikke spesielt lave pga sjøsaltepisoder, mens konsentrasjonen av labilt Al og ANC (syrenøytraliserende kapasitet) hadde en klar sammenheng med klorid. Labilt Al var høyest og ANC lavest i mars.

De tre feltene på Vestlandet hadde alle klar sjøsaltpåvirkning, men bare Øygardsbekken og Svartetjern responderte direkte på de navngitte stormene i januar (**Figur 11** og **Figur 12**). På Kårvatn var det en topp i klorid den 30. januar og 4. april. Her vil nedbøren i hovedsak komme som snø slik at saltene akkumuleres i snøen fram til snøsmeltingen.

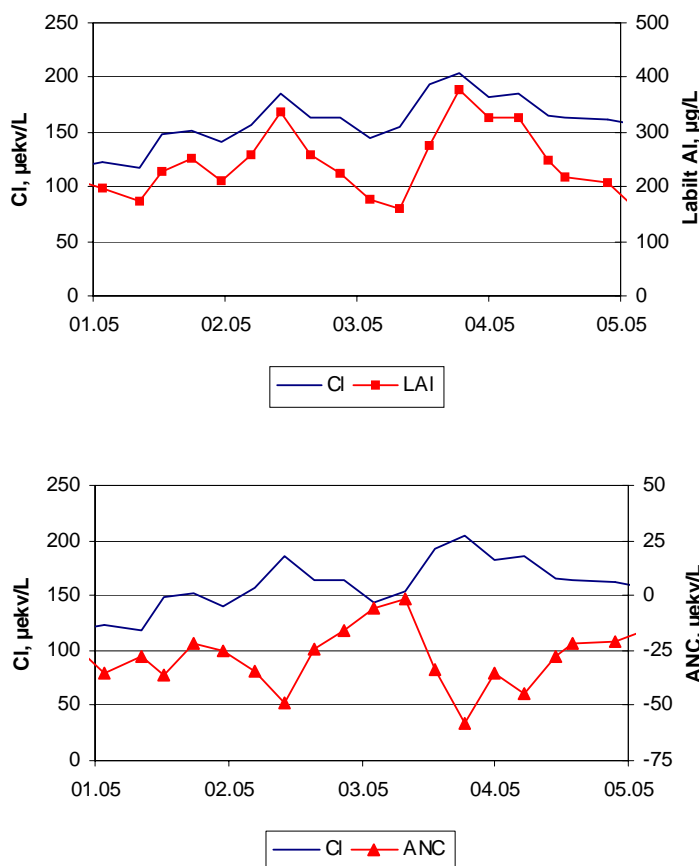
I disse tre lokalitetene ble det beregnet Na* under -25 µekv/L, lavest i Øygardsbekken den 1. februar med -44 µekv/L. Mens pH på Kårvatn hele tiden lå over 6,0 og LAI var under 10 µg/L, ble pH redusert til under 5,0 i de to andre feltene. I Øygardsbekken økte LAI-konsentrasjonen fra 60 µg/L den 3. januar til 156 µg/L den 17. januar og 172 µg/L den 1. februar, og konsentrasjonen var over 100 µg/L helt fram til mai. I Svartetjern var det nær en dobling av LAI til 85 µg/L den 23. januar. Forskjellen i effekt på pH og aluminium mellom Kårvatn og de to andre kan skyldes forskjeller i forsuringspåvirkning, se Hindar et al. (1994), men også forskjeller i bufferevne i og med at konsentrasjonen av ikke-marin Ca (Ca*) er høyest på Kårvatn. For tidsperioden oktober 2004-juni 2005 var Ca* 0,68 mg/L i middel på Kårvatn, mens den var 0,43 og 0,14 mg/L i hhv. Øygardsbekken og på Svartetjern. Midlere ikke-marin Mg-konsentrasjon var så lav som hhv. 0,06, 0,00 og 0,03 mg/L for de tre i samme periode.



Figur 11. Konsentrasjoner av klorid, Na⁺ og labilt Al, samt pH for Birkenes og Øygardsbekken.



Figur 12. Konsentrasjoner av klorid, Na⁺ og labilt Al, samt pH for Svartetjern og Kårvatn.



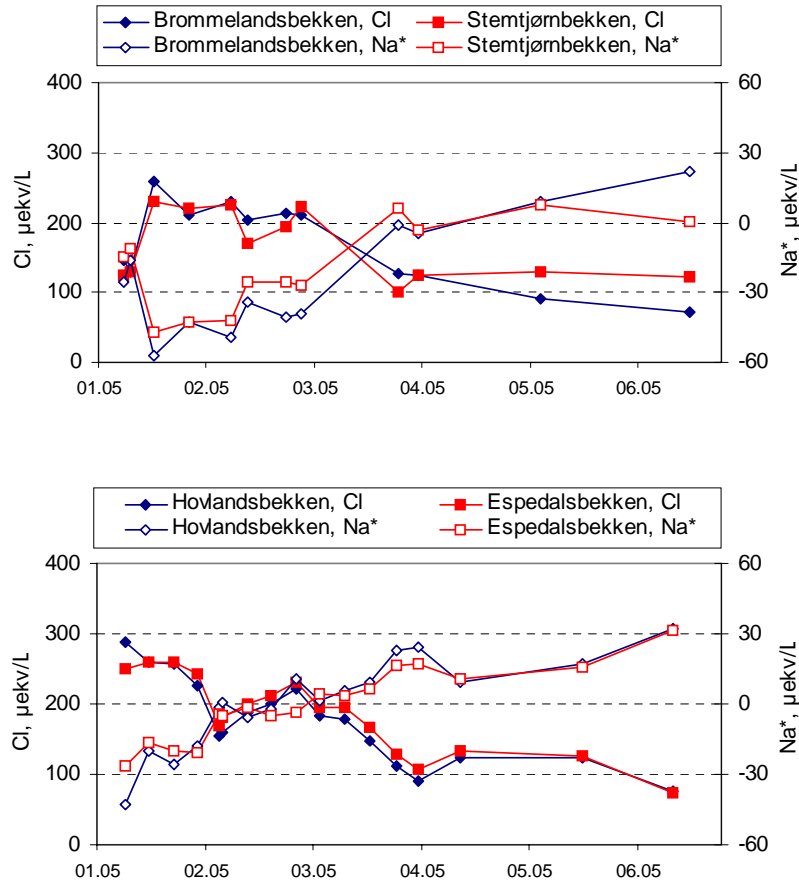
Figur 13. Konsentrasjoner av klorid (Cl), labilt aluminium (LAI) og ANC i avrenningsvannet fra Birkenesfeltet i perioden 1. januar-1. mai 2005.

3.3.3 Feltforskningsområder, kalking

I to områder på Vestlandet, Guddal i Sogn og Fjordane og Suldal i Rogaland, drives forsøk med terrengkalking. I begge områder er det ukalkede referansefelt, mens kalking ble gjennomført i hhv. 1998 og 1999. Kalkingens mål har vært å avsyre under sjøsaltepisoder, fordi det hovedsakelig er i disse periodene uorganisk aluminium mobiliseres og forringer vannkvaliteten (Hindar 2005a). De siste årene er prøvetakingen i større grad enn tidligere innrettet på å fange opp effekter av sjøsaltepisoder, og den gjennomføres derfor ukentlig kun i perioden 1. januar til 1. april.

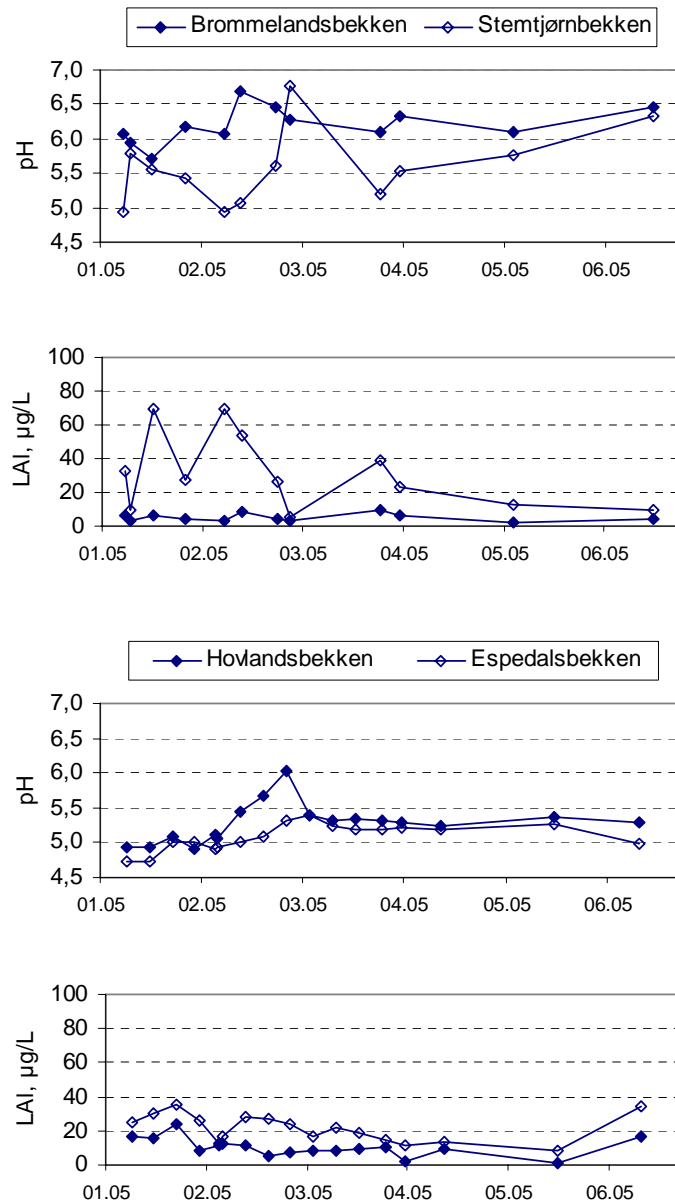
Sjøsaltpåvirkning i Suldalsfeltene (Brommeland og Stemtjørn) ser ut til å ha skjedd før første prøvetaking vinteren 2005 (8. januar 2005), fordi Na^* var negativ (**Figur 14**). En kraftig økning i kloridkonsentrasjon fram til neste prøvetaking (17. januar), med ytterligere reduksjon i Na^* , viser imidlertid at den største sjøsaltdeposisjonen skjedde etter den 8. januar. Feltene her er små og har ikke fordrøyende innsjøer i nedbørfeltet. Sammen med de topografiske forholdene, med bratte lier fra fjellpartier og ned til dalbunnen, fører det til at vannkjemien i bekkevannet responderer umiddelbart på endringer i nedbørmengde og – sammensetning. Påvirkningen var kraftig helt fram til mars i og med at Na^* var mindre enn $-20 \mu\text{ekv/L}$ fra 17. januar til 28. februar.

Feltene i Guddal (Hovland og Espedalen) hadde allerede høy kloridkonsentrasjon og lav Na^* ved første prøvetaking den 9. januar 2005 (**Figur 14**). Men fra og med prøvetakingen den 5. februar var Na^* nær 0 $\mu\text{ekv/L}$, til tross for en ny kloridtopp 27. februar.



Figur 14. Konsentrasjoner av klorid (Cl) og beregnet ikke-marin natrium (Na^*) for feltforskningsområdene i Suldal (øverst) og Guddal (nederst). Terrengkalking er gjennomført i Brommelandsfeltet og Hovlandsdalen, mens de to andre er ukalkede referanseområder.

Effektene på vannkjemi i disse feltene er preget av at Hovland i Guddal og Brommeland i Suldal er terrengkalket. Hindar (2005a) har tidligere vist at terrengkalking er et effektivt tiltak for å hindre effekter av sjøsaltepisoder. Også vinteren 2005 var mobiliseringen av uorganisk aluminium ubetydelig i det kalkede Brommelandsfeltet, mens det var en klar effekt både på pH og LAI i referansefeltet Stemtjørn (**Figur 15**). I Guddal var det også tydelige forskjeller i effekt mellom kalket (Hovland) og ikke-kalket (Espedalen) felt, men her var kalkdosen lavere enn i Suldal, og forskjellen er derfor mindre. Terrengkalkingseffekten i Hovland har imidlertid hatt en klar biologisk betydning (Teien et al. 2004), som fortsatt kan gjøre seg gjeldende ved at LAI-konsentrasjonen stort sett var over 20 $\mu\text{g/L}$ i referansefeltet og stort sett under 20 $\mu\text{g/L}$ i kalket felt vinteren 2005.



Figur 15. pH og ikke-labilt Al (LAI) i første halvdel av 2005 for feltforskningsområdene i Suldal (øverst) og Guddal (nederst). Terrengkalking er gjennomført i Brommelandsfeltet og Hovlandsdalen, mens de to andre er ukalkede referanseområder.

3.3.4 Data fra Lillesandsområdet

Prøver fra 21 lokaliteter, hovedsakelig bekker og mindre vassdrag, på strekningen Grimstad-Kristiansand (**Figur 2**) ble prøvetatt den 18. januar 2005. De fleste av disse ble også prøvetatt to ganger høsten 2001 (uten forutgående sjøsaltepisoder, jfr. data fra Birkenes), slik at en med visse forbehold kan sammenlikne vannkjemien fra en situasjon uten spesiell sjøsaltpåvirkning med forholdene vinteren 2005.

Kloridkonsentrasjonene i prøvene fra januar 2005 var relativt høye og forskjellen mellom prøver fra 2001 og 2005 tilsvarende stor, se data i Vedlegg C. Bjellandsdalsbekken, Bjørkestølbekken og Borkedalsbekken er gode eksempler. Alle lokalitetene er helt upåvirket av lokale inngrep eller arealbruk. I den første var Cl-konsentrasjonen tre ganger så stor som i 2001, mens i de to andre var det en dobling. Resultatene fra januar 2005, men også fra prøvetakingen i mai og juli for flere lokaliteter (Hindar 2005b), viser at vannet hadde underskudd på natrium i forhold til klorid i en lang periode.

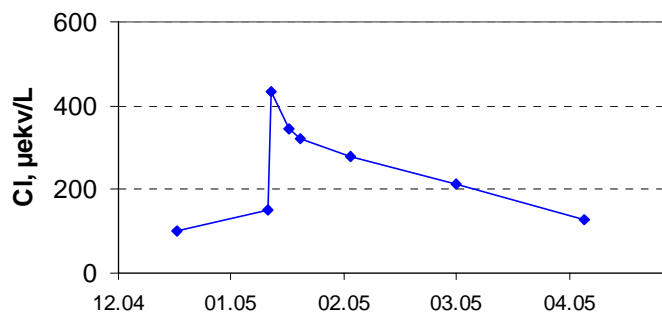
Mange av lokalitetene i dette datasettet er preget av sulfidholdig berggrunn i nedbørfeltet, og for noen av dem har det foregått utsprenninger i slik berggrunn. Det har en klar effekt på sulfatkonsentrasjon og dermed pH og aluminiumskonsentrasjoner i dette området, som også er preget av forsuring pga langtransporterte luftforurensninger (Hindar 2005b). Typisk for prøvene fra 2005 er at også sjøsalteffekten var med å gi svært lav pH. Bidraget var for mange lokaliteter om lag 15 $\mu\text{ekv/L}$, regnet som økning i konsentrasjon av H^+ (Vedlegg C). Det tilsvarte for Bjørkestølbekken en reduksjon i pH fra 4,45 i oktober 2001 til 4,29 i januar 2005. Januarverdien her er den laveste pH-verdien som finnes i dette datasettet. Borkedalsbekken og Stordalsbekken hadde pH på 4,3-tallet i januar 2005.

I en rekke av lokalitetene var konsentrasjonen av labilt Al (LAl) i 2005 langt høyere enn i 2001 (Vedlegg C), og konsentrasjonsforskjeller på 200-300 $\mu\text{g/L}$ ble registrert. I sjøarevassdraget Fjelldalselva var LAl-konsentrasjonen 300 $\mu\text{g/L}$ i januar, et nivå som helt klart er skadelig for fisk. I Kaldvasselva derimot var det ingen effekter av sjøsalter. Vassdraget har et forholdsvis (i dette området) stort nedbørfelt (75 km^2) og flere innsjøer som bidrar til å dempe effekten, slik at endringer skjer over et lengere tidsrom. Det kan også tenkes at sjøsaltpåvirkningen øverst i feltet var mindre enn ute ved kysten.

En annen grunn til at forholdene etter vinterstormene skapte svært dårlig vannkvalitet ser ut til å være at TOC-konsentrasjonene ble svært lave i mange lokaliteter. Som tidligere nevnt virker TOC beskyttende mot Al-forgiftning hos fisk ved at Al bindes i organiske komplekser, og denne beskyttelsen svekkes når TOC-konsentrasjonen avtar. Temaet belyses nærmere i seinere avsnitt.

3.3.5 Sira, Kvina og Frafjordområdet

En prøve fra Sira ved Tonstad ble tatt den 12. januar, og hadde pH 4,58, 435 $\mu\text{ekv Cl/L}$ (15,4 mg/L) og 220 $\mu\text{g Al/L}$. Dagen før var verdiene pH 4,85 og 150 $\mu\text{ekv Cl/L}$ (5,3 mg/L) (**Figur 16**). Det viser at endringen i vannkjemi pga sjøsaltepisoden kom svært raskt her, men figuren viser også at Cl-verdien allerede var økt den 11. januar i forhold til desemberverdien, med tilhørende negativ Na^* -konsentrasjon på -22 $\mu\text{ekv/L}$.



Figur 16. Kloridkonsentrasjon vinteren 2005 målt i Sira ved Tonstad. Økningen fra 150 til 435 $\mu\text{ekv/L}$ skjedde fra 12. til 13. januar.

Helgen 14.-16. januar ble det hentet prøver fra overvåkningsstasjonene rundt Haalandstølen i Frafjord. Også dette området viste seg å være tydelig sjøsaltpåvirket. Vannkjemien i Stølsbekken viste følgende verdier: pH 4,40-4,59, 130 µg Al/l og 646-838 µekv Cl/L (23-30 mg/L). De høyeste verdiene ble målt 16.01.2005 i forbindelse med en kort snøsmeltingsperiode. Til sammenligning var Cl-konsentrasjonen bare 90 µekv/L i desember 2004. En prøveserie fra Kvina den 05.01.2005 viste normale Cl-verdier (68-93 µekv/L).

Prøvene fra Sira og Kvina var mye surere enn vanlig også i månedene før sjøsaltepisoden. I Sira v/Tonstad er det ikke målt så lave pH-verdier på 4-5 år.

For overvåkningsstasjonen "Gjuvatn" i Kvina (**Figur 4**), som ligger lengst mot nord-øst av stasjonene i Kvina, ble det ikke målt effekter på Cl (23-31 µekv/L). Prøver som ble tatt lenger oppe i Gjuvatnfeltet den 22.04.2005 viste 28-31 µekv Cl/L. Det kan derfor se ut som om nord-østlig avgrensning av sjøsaltpåvirkningen gikk ved Roskreppfjorden, 80 km øst for Stavanger. Den nordligste av stasjonene, "Storstein" i Sira (**Figur 4**), hadde 75-85 µekv Cl/L og konduktivitet=15,8-16,2 µS/cm. For årene 2002, 2003 og 2004 var konduktiviteten $11,6 \pm 3,3$ µS/cm (n=9), så denne stasjonen var svakt sjøsaltpåvirket.

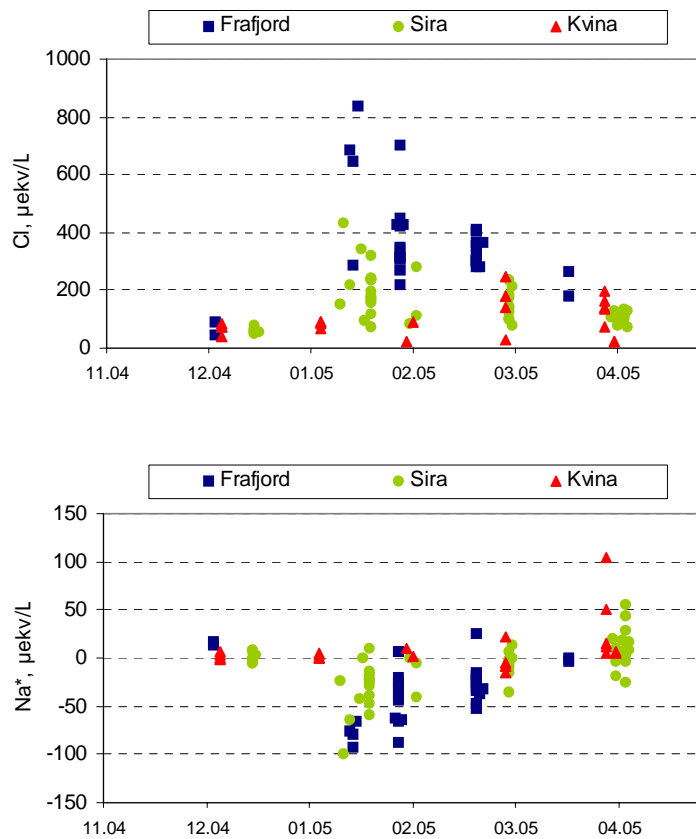
Høyeste Cl-verdi i Frafjordområdet var 850 µekv/L (**Figur 17**). Maksimalverdiene var omlag halvparten av dette i Sira, og enda lavere i Kvina lengst mot øst (250 µekv/L), noe som kan skyldes at disse vassdragene ligger lenger fra kysten. Også styrken av sjøsaltpåvirkningen, målt som Na^{*}, syntes å avta mot øst (**Figur 17**), med ett unntak: Laveste enkeltverdi for Na^{*} ble beregnet for Sira ved Tonstad den 12.01.2005 med -100 µekv/L. Hvis det hovedsakelig er H⁺ og Al-ioner som kompenserer for dette Na-underskuddet, er det fare for ekstremt dårlig vannkvalitet. Prøven den 12. januar "traff" nok spesielt godt, og representerte maksimalt utslag for de fleste parametre.

Sjøsalter dominerte vannkjemien fullstendig på de fleste av overvåkingslokalitetene, og det ble funnet meget gode korrelasjoner mellom Cl og H⁺-korrigeret ledningsevne (Frafjord: r²=1,00; Sira: r²=0,95 og Kvina: r²=0,80). Tas Ca også med i regresjonen (multipel regresjon) blir r² 0,99 også for Sira og Kvina.

I enkelte områder har effekten av sjøsaltepisoden vært spesielt sterk. I Stølsbekken ved Haalandstølen i Frafjord økte Cl-konsentrasjonene fra 90 µekv/L (3.2 mg/L) i desember 2004 til maksimalt 850 µekv/L (30 mg/L) i januar 2005. pH-verdiene er de laveste som er målt på denne stasjonen i perioden 1996-2005, og var ned til pH 4,4 den 16. januar 2005. Effektene av mindre sjøsaltepisoder i 1997 og 2000 var svakere enn i 2005.

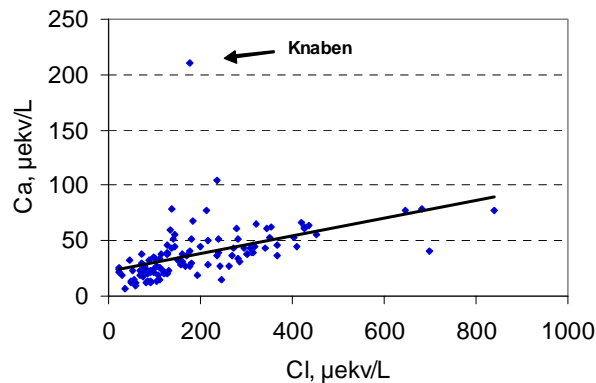
Vinteren 2005 var det flere korte perioder med snøsmelting i Frafjordheiene. Høyeste Cl-verdi i Stølsbekken (850 µekv/L) ble registrert i forbindelse med antatt første snøsmelting etter "Inga". I teorien, dvs. hvis smeltevannets temperatur er nær 0 °C, skal det kalde smeltevannet renne av rett under isen i innsjøene, og i liten grad påvirke dypere vannlag. I Såmtjørn ble det på bunn (8 m) målt klart høyere verdier for bl.a. Cl og Al, kombinert med lavere fargetall, enn høyere oppe. Det kan derfor se ut som om det sjøsaltpåvirkede smeltevannet i mindre grad enn forventet har rent av oppunder isen, men blitt innlagret i dypere vannlag.

Også i Sira ved Tonstad var sjøsalteffekten meget tydelig med over en firedobling av Cl-konsentrasjonen fra desember 2004 til 12. januar 2005 og pH-reduksjon fra 4,94 til 4,58. Al-konsentrasjonen ble imidlertid bare doblet til 220 µg/L. Maksimalutslagene i pH og konduktivitet på de målte prøvene var omtrent like i 1993 og 2005, mens pH-verdiene økte generelt i observasjonsperioden, trolig som følge av bedringer i forsurenings situasjonen.



Figur 17. Klorid og beregnet ikke-marin Na (Na*) for alle enkeltprøver i Sira, Kvina og Frafjord i perioden desember 2004 til april 2005.

Kalsiumkonsentrasjonene økte med økende Cl-konsentrasjon (**Figur 18**). Forholdet mellom Ca og Cl i sjøvann er så lite at en kloridøkning på 10 mg/L kun gir Ca-økning på 0,2 mg/L. Den økningen som er vist i figuren skyldes derfor også ionebytting med Na eller tilførsler fra andre kilder. Er det mye tilgjengelig Ca, bufrer denne kilden mot endringer i pH og Al-økning. Dette ses spesielt i prøver fra Knabenområdet. Trolig er det betydelige mengder ionebyttbart Ca (og Mg) i dette området pga gruveslam.



Figur 18. Forholdet mellom klorid og kalsium i alle vannprøver fra 2005 der disse er målt, se data i vedlegg.

3.3.6 Data fra DN's kalkdosererkontroll

Det samles data hver 14. dag for konduktivitet, pH og kalsium i dette måleprogrammet. Konduktivitet er brukt for å se på utbredelsen og påvirkningen av sjøsaltepisoder, se (Vedlegg D). Endring i konduktivitet fra uke 1 i 2005 til uke 3 gjenspeiler økning i kloridkonsentrasjon og dermed sjøsaltpåvirkning. Prøvetakingen i uke 1 var før stormene Gudrun og Inga, mens prøvetakingen i uke 3 var etter. For noen lokaliteter, særlig i Mandalselva, Lygna, Kvina og Guddalsvassdraget, har det vært en klar reduksjon i pH og svært lave pH-verdier.

For en rekke lokaliteter i Rogaland ble det tatt med flere variable i analysene for uke 3, hovedsakelig prøvetatt den 17. januar, og dette gir en bedre dokumentasjon av både påvirkning og effekter (Vedlegg D) fordi Na^* kan beregnes og konsentrasjoner av total Al kan vurderes. Tabellen viser svært lave verdier for beregnet Na^* i de fleste vassdragene, så potensialet for lav pH og høy Al er til stede. Inntrykket av dataene fra ukalkede områder er imidlertid at utslaget på pH og total Al var moderat. Laveste pH var ca. 4,7, mens høyeste total Al var 220 $\mu\text{g/L}$. Lav pH og lavt fargetall vil si at det aller meste av dette er labilt Al, men konsentrasjonene av LAI har trolig ikke vært over 200 $\mu\text{g/L}$.

3.4 Sammenlikning med tilsvarende sjøsaltepisoder

3.4.1 Birkenesfeltet og Øygardsbekken

Påvirkningen av stormene i januar 2005 og effektene av dem kan sammenliknes med tilsvarende episoder tidligere fordi det finnes lange dataserier for enkelte lokaliteter. Påvirkningen karakteriseres ved hjelp av Cl-konsentrasjoner og Na^* , mens effektene karakteriseres ved pH og labilt Al.

Data for Birkenes (1990-2005) og Øygardsbekken (1992-2005) feltforskningsområder er analysert. De viktigste episodene, med $\text{Na}^* < -20 \mu\text{ekv/L}$, og slik de framkommer i **Figur 19** og **Figur 20** er nærmere tidfestet og karakterisert i **Tabell 2**.

I Birkenes har det vært sjøsaltepisoder med potensiale for negativ påvirkning av vannkvalitet ($\text{Na}^* < -20 \mu\text{ekv/L}$) i vintrene 1990, 1993, 2000 og 2005, samt høsten 1990, 1993 og 2000. Vintrene 1993 og 2000 var spesielt langvarig preget av sjøsaltepisoder. Konsentrasjonen av klorid og beregnet Na^* vinteren 2005 viser at denne vinteren ikke kommer opp mot de to nevnte verken i største utslag eller varighet.

I Øygardsbekken har det vært hyppigere sjøsaltepisoder med potensiale for negativ påvirkning av vannkvalitet ($\text{Na}^* < -20 \mu\text{ekv/L}$) enn i Birkenes. Slike episoder er registrert i vintrene 1993, 1997, 1999, 2000, 2002 og 2005, samt sommer+høst 1993, sommer 1997 og våren 2000 (**Figur 20** og **Tabell 2**). Årene 1993 (vinter til høst) og 1997 (vinter til sommer) var spesielt langvarig preget av sjøsaltepisoder.

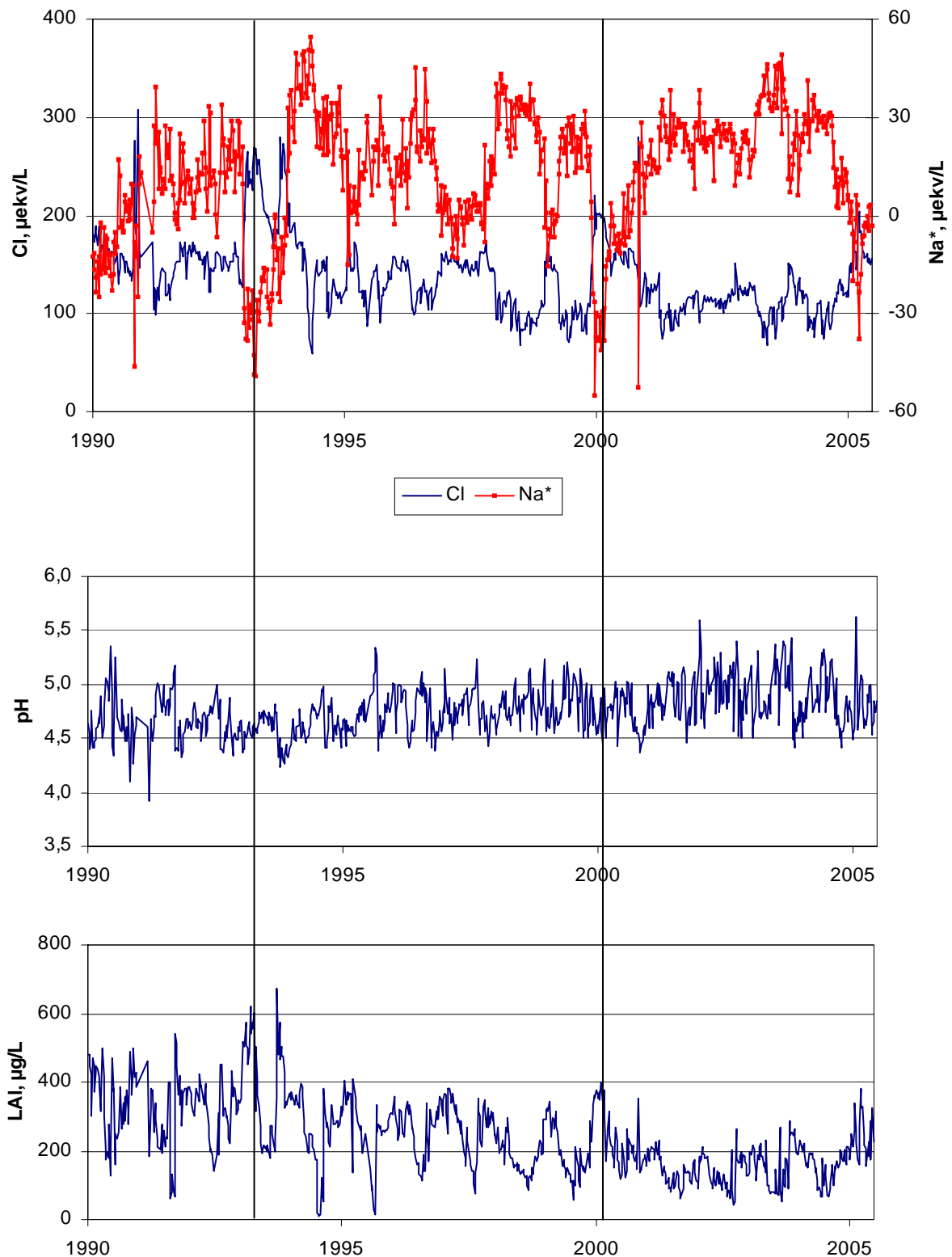
Konsentrasjonen av klorid og beregnet Na^* vinteren 2005 viser at denne vinteren langt på veg kan sammenliknes med de andre vintrene når det gjelder påvirkning i og med at Cl-konsentrasjonen var høyere i 2005 enn alle årene etter rekordvinteren 1993, men ikke varighet fordi påvirkningen i 2005 var forholdsvis kortvarig.

Tabell 2. Karakteristiske trekk ved sjøsaltepisoder i Birkenes i perioden 1990-2005 (øverst) og Øygardsbekken i 1992-2005 (nederst). Periodene og episodene er definert ved at de har $\text{Na}^* < -20$ $\mu\text{ekv/L}$. Variasjonen i klorid for hver periode er gitt sammen med laveste verdi for Na^* og pH, samt høyeste konsentrasjon av labilt Al (LAl) for perioden. Verdier er gitt i $\mu\text{ekv/L}$ (Cl og Na^*) og $\mu\text{g/L}$ (LAl).

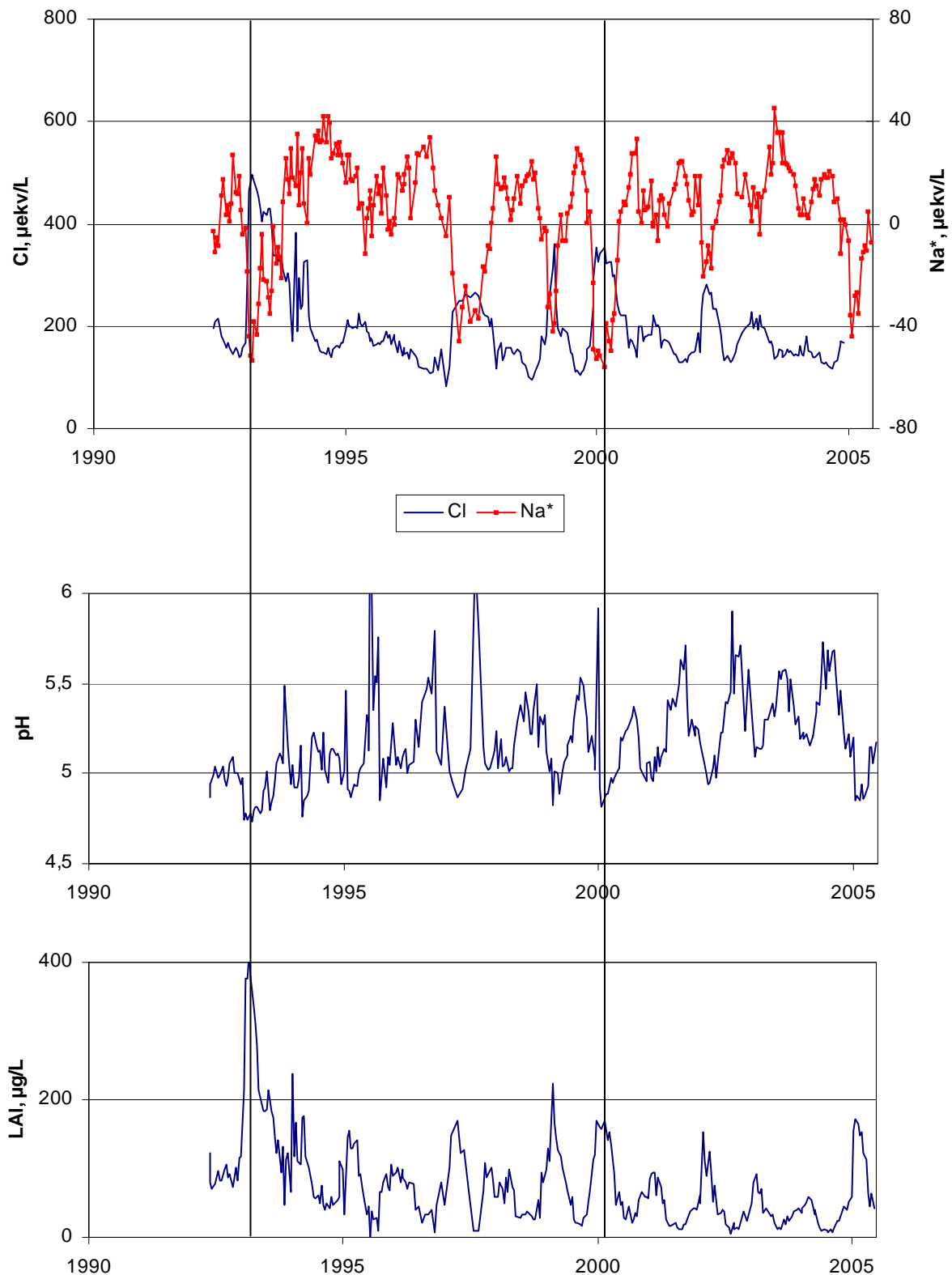
Birkenes				
Periode	Cl	Na*	pH	LAl
Vinteren 1990	170-190	-25	4,4	480
29.10.1990	275	-46	4,1	490
26.11.1990	305	-25	4,26	499
Vinteren 1993	195-270	-49	4,37	620
Høsten 1993	235-280	-26	4,24	674
Vinteren 2000	185-220	-55	4,44	399
6.11.2000	280	-53	4,37	351
14.02.2005	185	-20	4,58	338
Påskan 2005	185-205	-38	4,60	379

Øygardsbekken				
Periode	Cl	Na*	pH	LAl
Vinter 1993	280-480	-54	4,73	407
Sommer 1993	395	-35	4,8	213
26.9.1993	340	-22	5,11	141
Vinter 1997	250	-46	4,87	169
Sommer 1997	260	-38	5,02	127
Vinter 1999	255-365	-42	4,82	224
Vinter-vår 2000	255	-56	4,81	170
19.2.2002	260	-20	4,99	110
Vinter 2005	365-425	-44	4,85	172

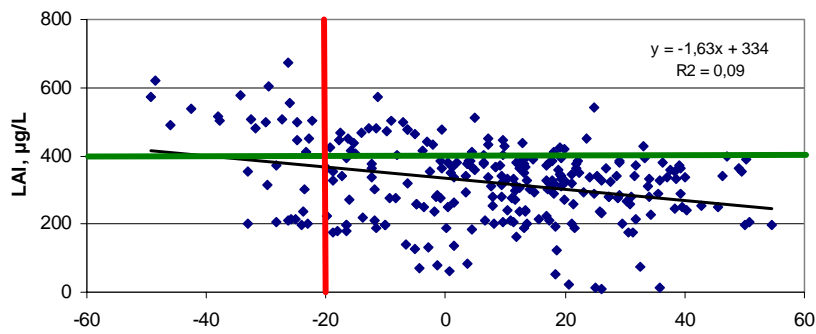
Hindar et al. (2004) viste at effektene av sjøsaltepisoder i elver på Vestlandet og i Nord-Trøndelag er redusert i takt med reduksjon i sulfatkonsentrasjon (reduisert sur nedbør). For å sette sjøsaltvinteren inn i en slik sammenheng, er de undersøkte dataseriene for Birkenes og Øygardsbekken splittet i to omtrent like store "sjøsalt"delar. Forholdet mellom påvirkning (Na^*) og effekt (LAl) for de to periodene er deretter analysert. LAl-nivået ved samme Na^* -konsentrasjon er markert lavere i siste periode, mens stigningsforholdet er høyere i siste periode i Birkenes (**Figur 21**). Analysene bekrefter derfor at sjøsaltepisoder mobiliserer mindre LAl over tid, og høyere stigningsforhold i siste periode i Birkenes indikerer at sjøsaltepisoder er relativt sett viktigere nå enn tidligere for å få høye LAl-konsentrasjoner.



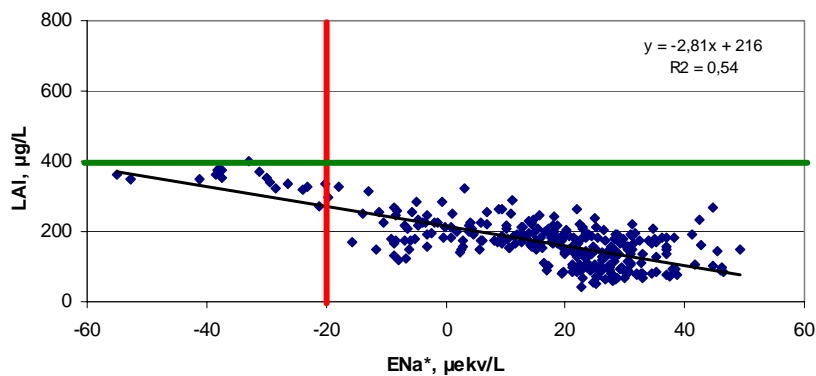
Figur 19. Sjøsaltepisoder i Birkenes i perioden 1990 - juli 2005. Episodeindikatorerne Cl og ikke-marin Na (Na*) er vist øverst, mens effektene på pH og labilt Al er vist under. Vertikale hjelpelinjer markerer episodene vintrene i 1993 og 2000, se også **Tabell 2**.



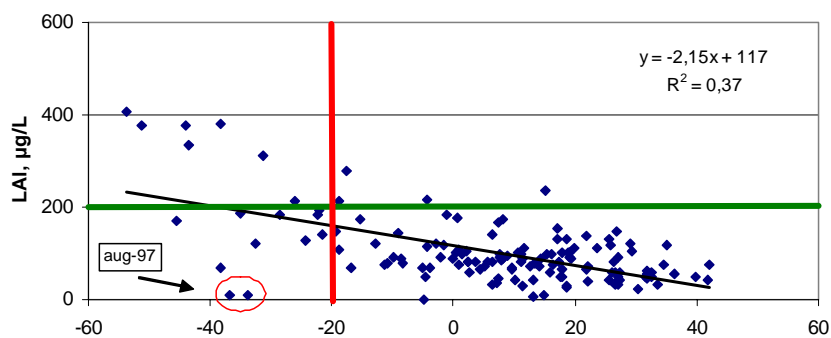
Figur 20. Sjøsaltepisoder i Øygardsbekken i perioden 1990 - juli 2005. Episodeindikatorerne Cl og ikke-marin Na (Na^+) er vist øverst, mens effektene på pH og labilt Al er vist under. Vertikale hjelpelinjer markerer episodene vintrene 1993 og 2000, se **Tabell 2**.



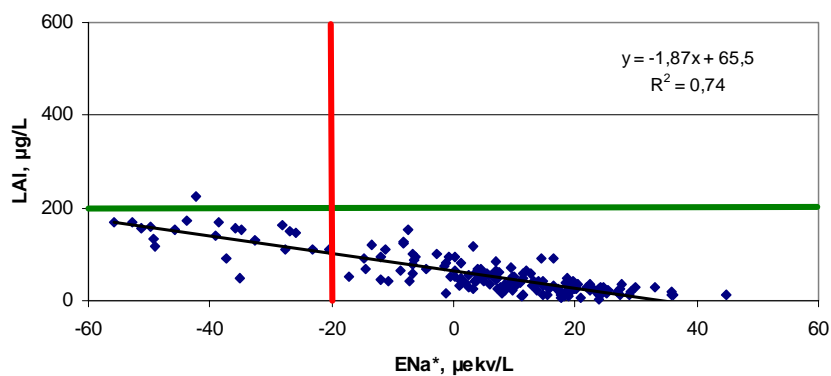
**Birkenes
1990 -1995**



**Birkenes
1999 - 2005**



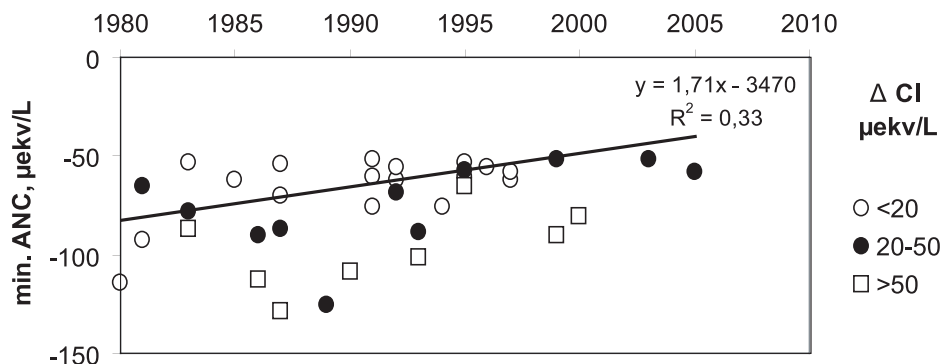
**Øygardsbk.
1992 -1998**



**Øygardsbk.
1998 - 2005**

Figur 21. Forholdet mellom sjøsaltindikatoren ikke-marin Na (Na^*) og LAI i Birkenesfeltet (de to øverste figurene) og Øygardsbekken (to nederste). Alle data i perioden januar 1990-mai 1995 er sammenliknet med data for perioden november 1999-juni 2005 i Birkenes, mens data for mai 1992 - mai 1998 er sammenliknet med data fra mai 1998-juni 2005 i Øygardsbekken. Vertikal hjelpelinje markerer $Na^* = -20$ µekv/L, mens horisontal hjelpelinje er ved hhv. 400 og 200 µg LAI/L.

Vi har også gjort en analyse av forholdet mellom sjøsaltpåvirkning og effekt på ANC (syrenøytraliserende kapasitet; Ca+Mg+Na+K-SO₄-NO₃-Cl) over tid i Birkenes. Denne analysen er for perioden 1980-2005. Sjøsaltepisodene er gruppert i kloridklasser, der forskjellen i Cl-konsentrasjon før og etter episodene danner grunnlaget for grupperingen. Analysen viser at sjøsaltepisoder har vært mindre hyppig i siste del av perioden (Figur 22). Men det er også en klar tendens til at samme påvirkning gir høyere verdier for minimum ANC over tid. Mens endringen over tid for gruppen med $\Delta Cl < 20$ er signifikant ($p=0,02$) er endringen ikke signifikant for $\Delta Cl 20-50$ ($p=0,10$) og for $\Delta Cl > 50$ ($p=0,18$). Sammen med ovenstående Al-analyse understreker dette at sjøsaltepisoder gir mindre reduksjon i vannkvalitet nå enn tidligere.



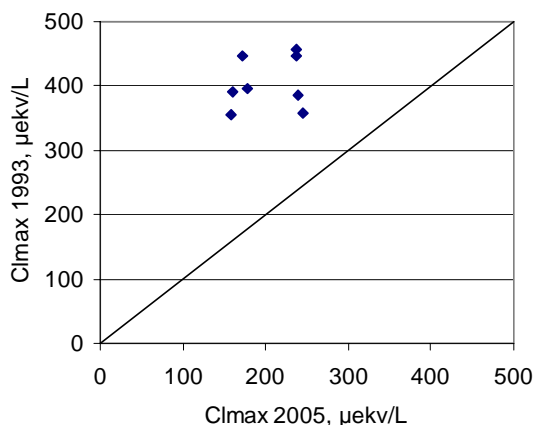
Figur 22. Forholdet mellom sjøsaltpåvirkning (Cl-konsentrasjonen før og etter er gruppert i klasser) og effekt (minimum ANC-verdi) for Birkenes i perioden 1980-2005. Endringen i minimum ANC for gruppen med $\Delta Cl < 20$ er signifikant, og regresjonslinje er vist. Data fra R.F. Wright.

3.4.2 Sira

Den målte vannkjemien i Sira ved Tonstad den 12. januar er omtalt tidligere (pH 4,58; 435 µekv Cl/L og 220 µg Al/L). Til sammenligning var maksimalverdiene fra den store sjøsaltepisoden i 1993 pH 4,60 (12.02 og 16.02.1993), 440 µekv Cl/L (14.02.1993) og 356 µg Al/L (16.02.1993) på denne stasjonen (Enge 1993). Med unntak av Al, var verdiene fra 12.01.2005 på høyde med maksimalverdiene fra 1993. Det indikerer at Al-mobiliseringen var mindre i 2005.

Den kraftigste sjøsaltepisoden som har rammet disse vassdragene de siste 25-30 årene var 1993-episoden (Enge 1993, Hindar et al. 1993). Det ble registrert massiv fiskedød en rekke steder i Sira, bl.a. ved Tonstad. Maksimalverdiene for klorid på åtte stasjoner (data fra 20. januar 2005) var vesentlig lavere enn tilsvarende maksimalverdier fra 18.-19. februar 1993 (Figur 23). Dette indikerer at sjøsaltpåvirkningen i dette området i 2005 ikke var så sterk som i 1993.

I 1993 var også stasjonene oppstrøms Handeland (500 m o.h.) sterkt påvirket av sjøsalt, med høyeste kloridkonsentrasjoner på 460 µekv/L (16,3 mg/L). Dette området var bare moderat påvirket i 2005, med høyeste Cl-konsentrasjon på det halve. I 1993 var det svake effekter helt opp i Gjuvatn nord for Roskrepffjorden, men disse effektene viste seg ikke før i snøsmeltingen i mai, da Cl-konsentrasjonene kom opp mot 100 µekv/L. I 2005 var det ingen tydelige effekter i Gjuvatn. Også på stasjonene lenger nede i Kvina ble det målt vesentlig lavere Cl-konsentrasjoner i 2005 enn i 1993, men her var prøvetakingen i 1993 sporadisk.

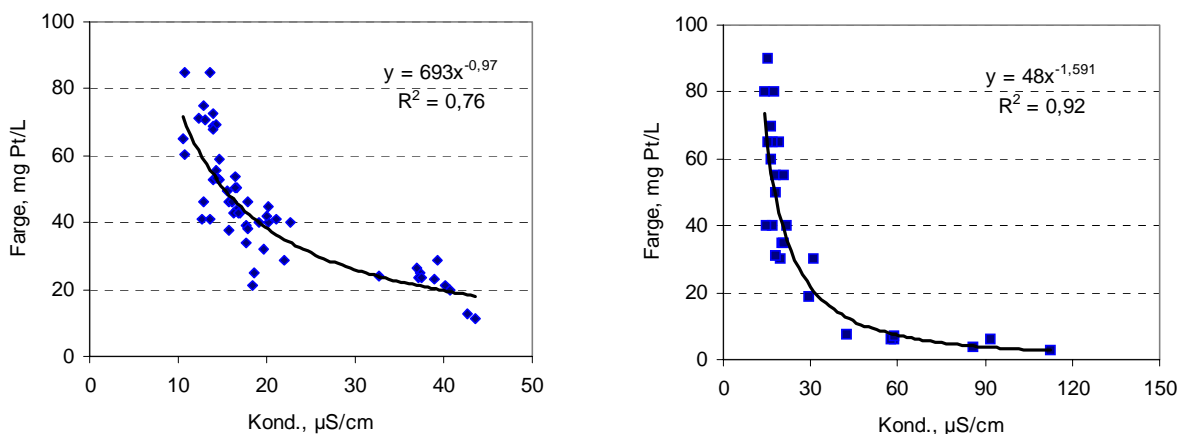


Figur 23. Maksimalverdier for klorid på åtte stasjoner i Sira i 1993 og 2005; data er fra 18.-19. januar 1993 og 20. januar 2005.

Også i Sira har det vært andre sjøsaltepisoder mellom 1993 og 2005, men ingen av disse var så kraftige som 1993- og 2005-episoden. Fiskedata for perioden 1987-2005 er gitt i Vedlegg F.

3.5 Klart vann under sjøsaltepisoder

Under sjøsaltepisodene i 1993 ble det rapportert at vannet var "uvanlig klart" (Enge 1993). På dette tidspunktet ble imidlertid ikke fargetall målt rutinemessig på prøvene fra Sira, så dette ble ikke ytterligere tallfestet. I 2000 ble det foretatt vannkjemisk overvåking på Tonstadheia i forbindelse med overføring av Øksendalfeltene til Tonstad kraftverk (Nordland og Enge 2001). Sjøsaltepisoden i 2000 var tydelig i dette området, med maksimal Cl-konsentrasjon på 290 µekv/L. Her ble det funnet en klar sammenheng mellom sjøsalter (indikert ved konduktivitet) og fargetall (**Figur 24**).



Figur 24. Forholdet mellom konduktivitet og fargetall i prøver fra Tonstadheia i 2000 (venstre del) og i Stølsbekken for 2000-2005 (høyre del). *Konduktiviteten er H⁺-korrigert.

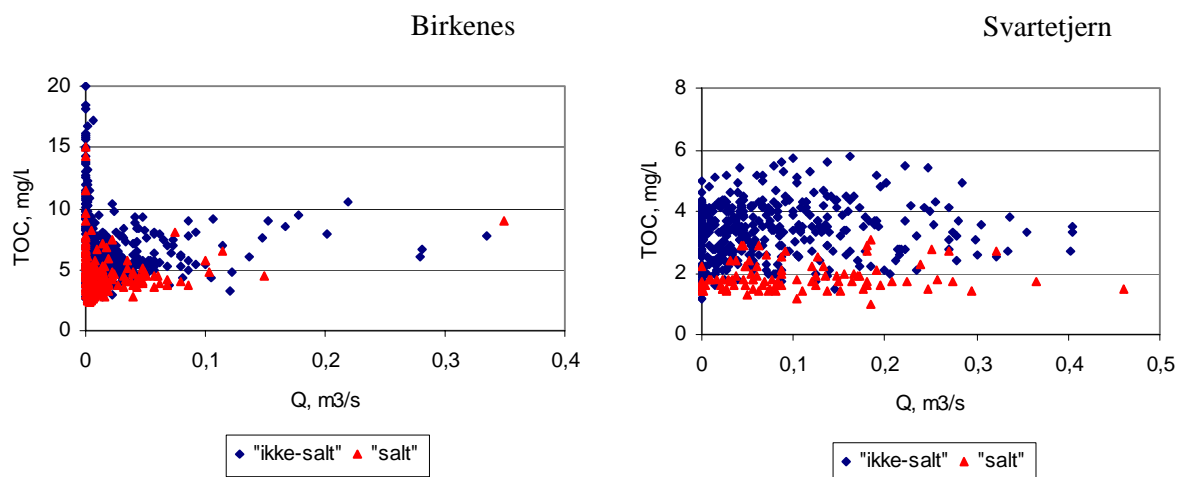
Også i 2005 var vannet uvanlig klart på mange av prøvestasjonene. I Stølsbekken, som i perioden 2000-2004 hadde fargetall på 30-90 mg Pt/L (n=17), var verdiene i januar og februar 2005 bare 3-7 mg/L (se vedlegg). Fargetall og konduktivitet for Stølsbekken i perioden 2000 - 2005 var meget godt korrelert (**Figur 24**). Også for de fleste andre lokalitetene var det lave fargetall under sjøsaltepisoder.

Den gode sammenhengen mellom fargetall og konduktivitet er ytterligere undersøkt ved hjelp av data fra to feltforskningsområder. Hypotesen var at det er systematisk lavere TOC-konsentrasjon under sjøsaltepisoder. For å klargjøre denne effekten er dataseriene for de to feltforskningsområdene Birkenes og Svartetjern splittet etter Na^* . Sjøsaltepisoder ble definert ved $\text{Na}^* < 0$ $\mu\text{ekv/L}$. 20-25 % av dataene kom da i gruppen "salt". Det ble en signifikant ($p < 0,05$) og bemerkelsesverdig klar separasjon av data etter dette kriteriet i begge felt (**Tabell 3**), med midlere TOC-konsentrasjoner på hhv. 75 % og 58 % av det "normale" under sjøsaltepisoder.

Vannføring kan påvirke konsentrasjonen av TOC, men ved å splitte data på denne måten kan vi vise at TOC under sjøsaltepisoder ligger klart lavere i forhold til vannføring enn i perioder uten sjøsaltepisoder (**Figur 25**).

Tabell 3. Middelerverdier for TOC-konsentrasjon for Birkenes og Svartetjern. Data for perioden 1985-2005 for Birkenes og 1994-2005 for Svartetjern er splittet i forhold til sjøsaltepisoder, slik at sjøsaltepisoder ("salt") er definert ved $\text{Na}^* < 0$ $\mu\text{ekv/L}$. Antall observasjoner (n) i hver gruppe er vist.

	TOC, mg/L		n		total
	"salt"	"ikke-salt"	"salt"	"ikke-salt"	
Birkenes	4,3	5,8	239	785	1024
Svartetjern	1,9	3,3	103	441	544



Figur 25. TOC-konsentrasjoner i forhold til vannføring for Birkenes (venstre) og Svartetjern (høyre). Data er splittet i forhold til sjøsaltepisoder, slik at "salt" er definert ved $\text{Na}^* < 0$ $\mu\text{ekv/L}$.

4. Diskusjon

4.1 Geografisk avgrensning

Denne dokumentasjonen er konsentrert om påvirkningen fra stormene "Gudrun" og "Inga" hhv. 8. januar og 12. januar 2005, men data indikerer at det også var andre sjøsaltperioder i Sør-Norge vinteren 2005. Eksempler er maksimal kloridkonsentrasjon ved påsketider i Birkenes og episoder midt i mars i Lygna og Bjerkreim.

Påvirkningen fra "Inga" ser ut til å ha hatt sin østgrense ved Roskreppfjorden mellom Setesdal og Sirdal, men har påvirket vassdrag og feltforskningsområder langt nordover på Vestlandet. Områder langs Agderkysten har vært kraftig påvirket av "Gudrun" (**Figur 26**).

Mens stormen "Gudrun" ga høy vannføring, spesielt den 7. januar i forkant av lavtrykksenteret, ser det ut til at maksimal sjøsaltdeposisjon har vært seinere mange steder, trolig som resultat av "Inga". Det er spesielt tydelig nordover på Vestlandet, der "Gudrun" ikke gjorde seg så sterkt gjeldende.

Materialet fra Lillesand viser at kysten Agder-svenskegrensen ble sterkt rammet av "Gudrun". Ved prøvetakingen 10 dager etter at stormsenteret passerte, ble det målt svært lav pH og høy konsentrasjon av labilt Al i en rekke bekker og mindre vassdrag mellom Grimstad og Kristiansand.



Figur 26. Geografisk utbredelse av stormene Gudrun og Inga, se også **Figur 1**.

4.2 Påvirkning og effekter

Påvirkningen av de to stormene er karakterisert ved hjelp av kloridkonsentrasjon og beregnet konsentrasjon av ikke-marin natrium i en rekke vassdrag. Effektene er blant annet karakterisert ved endringer i pH og konsentrasjon av labilt aluminium.

Om en ser på både påvirkning og effekter kan vinteren 2005 karakteriseres som en sjøsaltvinter på linje med sjøsaltvintrene i 1990, 1993, 1997 og 2000 på Sørvest- og Vestlandet, og påvirkningen lå nær opp til de ekstreme forholdene i 1993. Varigheten var imidlertid relativt begrenset flere steder.

Det ble beregnet konsentrasjoner av Na^* under $-20 \mu\text{ekv/L}$ i elvene Lygna, Imsa og Ekso og i alle de åtte undersøkte feltforskningsområdene. Også i Sira- og Frafjordområdet, samt på et titalls lokaliteter i Lillesandsområdet ble det beregnet $\text{Na}^* < -20 \mu\text{ekv/L}$. Det var dermed fare for ekstremt lav pH og høy konsentrasjon av giftig aluminium i disse elvene og enkeltlokalitetene. Men effekten har vært mindre tydelig de siste årene enn tidlig på 1990-tallet fordi forsuringen generelt er mindre (Hindar et al. 2004). Også analyser i denne undersøkelsen bekrefter at sjøsaltpåvirkning de siste årene gir mindre effekt på uorganisk Al. Analysen for Birkenes viser at det samme gjør seg gjeldende for ANC.

Enkelte av vassdragene som munner ut i sjøen i det sjøsaltrammede området har en stor del av sitt nedbørfelt i områder som i svært liten grad ble påvirket av sjøsalter, og store innsjøer i nedbørfeltene utjevner påvirkningen og reduserer effekten. Sjøsaltpåvirkningen i deler av disse vassdragene kan derfor ha vært stor, mens effekten i ellevannet blir liten. I nedre del av enkelte vassdrag er det derfor registrert liten påvirkning og effekt til tross for at de tilsynelatende ligger i områder som ble rammet av stormene, for eksempel Sira, Otra og Arendalsvassdraget. Til og med i det lille Kaldvellvassdraget øst for Lillesand gjorde disse forholdene seg gjeldende, og endringen i kloridkonsentrasjon og Na^* var helt ubetydelig.

Det er vist i denne rapporten at vannet er klarere under sjøsaltepisoder enn ellers. Årsaken til det kan være flere, men fortykning ser ikke ut til å forklare den betydelige forskjellen. Da ville det ikke være mulig å separere TOC-dataene så godt som det er gjort i forhold til vannføring. To andre hovedgrunner er aktuelle; en ionestyrkeeffekt med utfelling av humusstoffer i jorda og/eller en forsuringseffekt med Al-utfelling. Mindre humus kan forsterke de biologiske effektene ved sjøsaltepisoder ved at en større andel Al er på uorganisk form. Årsakssammenhengen bør derfor undersøkes nærmere, blant annet for å finne ut om dette endres over tid i takt med forsuringsutviklingen.

5. Referanser

DN 2005. Kalking i vann og vassdrag – effektkontroll 2004. DN-notat 2005-2. Internett; <http://www.dirnat.no/wbch3.exe?ce=26293>

Enge, E. 1993. Fiskedød i nedre deler av Sira februar 1993. Notat av 30.03.93.

Hindar, A. 2005a. Whole-catchment application of dolomite to mitigate episodic acidification of streams induced by sea-salt deposition. *Sci. Total Environ.* 343: 35-49.

Hindar, A. 2005b. Karakterisering av vannkjemisk status i bekker og innsjøer før utbygging av E18 Grimstad-Kristiansand. NIVA-rapport 5064-2005. 25 s.

Hindar, A., Henriksen, A., Tørseth, K. og Lien, L. 1993. Betydningen av sjøsaltanrikt nedbør i vassdrag og mindre nedbørfelt. Forsuring og fiskedød etter sjøsaltepisoden i januar 1993. NIVA, O-93129. 42 s.

Hindar, A., Henriksen, A., Tørseth, K. and Semb, A. 1994. Acid water and fish death. *Nature* 372: 327-328.

Hindar, A., Tørseth, K., Henriksen, A. and Orsolini, Y. 2004. The significance of the North Atlantic Oscillation (NAO) for sea-salt episodes and acidification-related effects in Norwegian rivers. *Environmental Science and Technology* 38(1): 26-33.

Nordland, J, og Enge, E. 2001. Konsekvensutredning for utbygging av Øksendalsvassdraget Konsulentfirmaet AMBIO, rapport 25101-1.

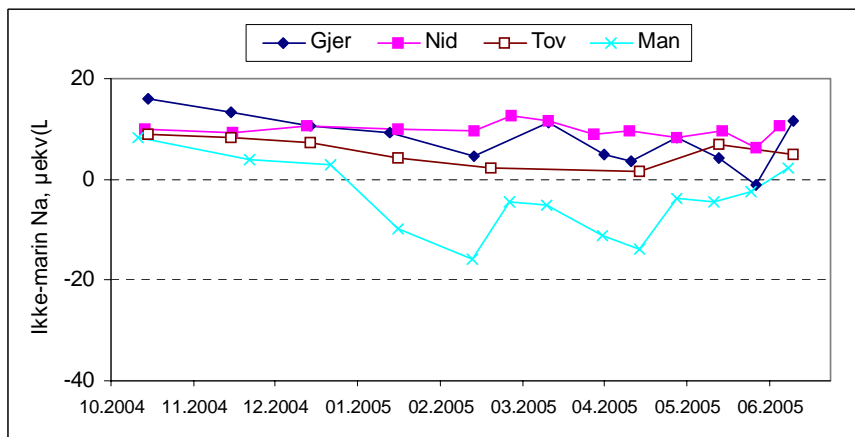
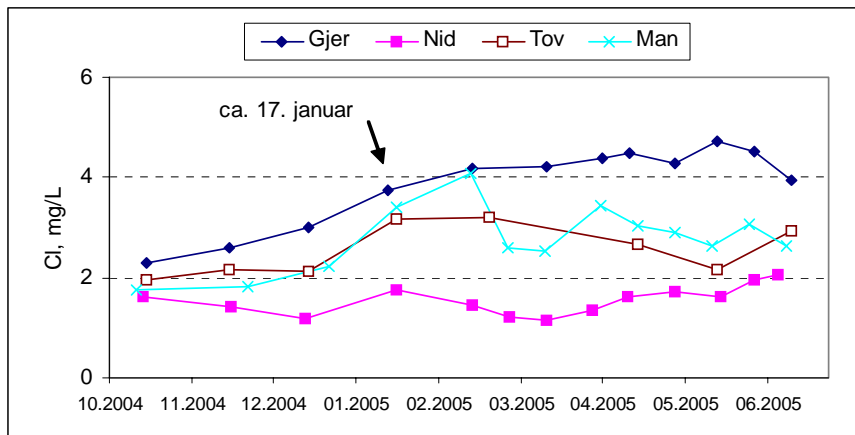
Saksgård, R. og Schartau, A.K. 2004. Kjemisk overvåking av norske vassdrag-Elveserien 2003. NINA Oppdragsmelding 832. 56 s.

SFT 2004. Overvåking av langtransportert forurenset luft og nedbør. Årsrapport – Effekter 2003. SFT-rapport 913/2004, TA-2056/2004. 166 s.

Teien, H.-C., Standring, W.J.F., Salbu, B., Marskar, M., Kroglund, F. and Hindar, A. 2004. Mobilization of aluminium and deposition on fish gills during sea salt episodes – catchment liming as countermeasure. *J. Environ. Monit.* 6: 191-200.

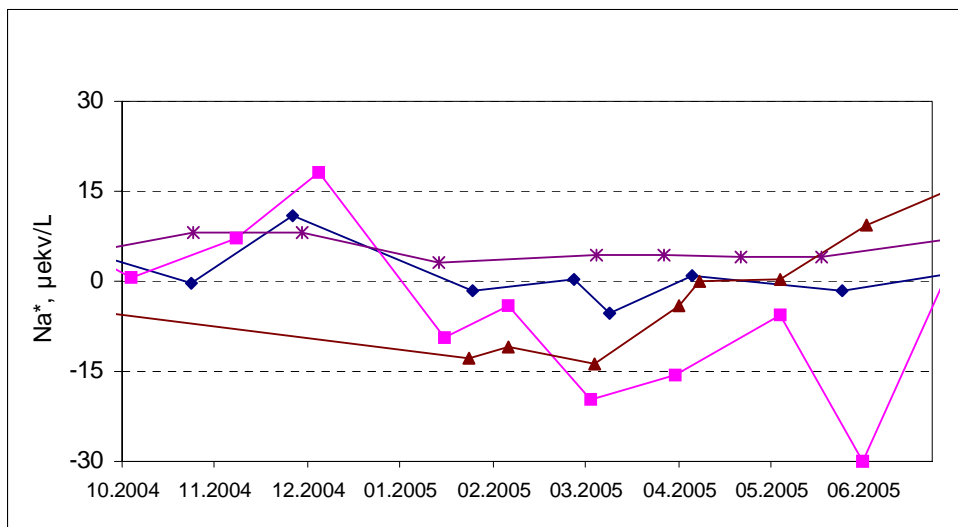
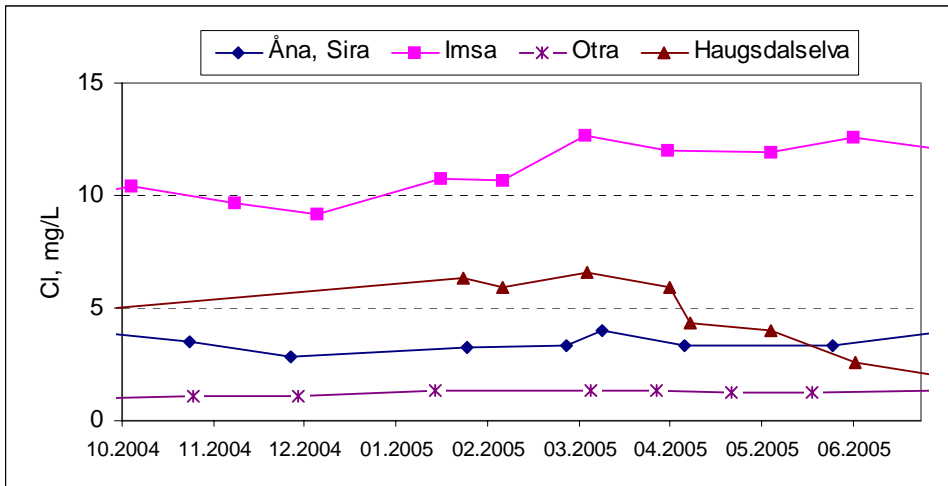
Vedlegg A. Data for kalkede vassdrag

Kloridkonsentrasjon og beregnet ikke-marin natrium for Gjerstadvassdraget, Nidelva, Tovdalselva og Mandalselva i Agder.



Vedlegg B. Data fra NINAs elveserie

Konsentrasjoner av klorid og beregnet ikke-marin natrium for vassdrag i NINAs elveserie.



Vedlegg C. Data fra Lillesandsområdet

Vannkjemi for to prøver høsten 2001 (middelkonsentrasjoner; før) og for prøve tatt den 18. januar 2005 (etter) på utvalgte lokaliteter i Lillesandsområdet. Forskjell i konsentrasjoner er beregnet. De fleste data er gitt i $\mu\text{ekv/L}$ slik at sammenlikning mellom ioner kan gjøres direkte. Klorid (Cl) og natrium (Na) er ionene med høyest konsentrasjon både i 2001 og 2005 i dette sjønære området.

Lokalitet nr	Stasjonsnavn	pH	H $\mu\text{ekv/L}$	Ca $\mu\text{ekv/L}$	Mg $\mu\text{ekv/L}$	Na $\mu\text{ekv/L}$	K $\mu\text{ekv/L}$	Cl $\mu\text{ekv/L}$	SO ₄ $\mu\text{ekv/L}$	NO ₃ -N $\mu\text{ekv/L}$	TOC mg/l	Kond mS/m	LAI $\mu\text{g/l}$	ANC $\mu\text{ekv/l}$
4	Urdevatn innl.bekk													
	før	5,08	9,1	33	45	211	7	209	80	2	4,2	4,16	73	6
	etter	4,62	24,0	42	106	301	10	403	85	11	2,5	6,77	300	-40
6	Bjellandsdalsbekken													
	før	5,46	3,6	44	31	181	8	175	51	4	5,6	3,35	22	35
	etter	4,72	19,1	123	116	334	13	516	65	25	2,9	7,99	187	-21
7	Svarttjern													
	før	5,27	5,4	40	62	207	9	226	96	13	1,1	4,31	111	-17
	etter	4,94	11,5	29	69	198	8	224	85	9	2,3	4,31	184	-14
8	Badstudalsbekken													
	før	5,16	7,2	48	45	190	14	178	115	5	3,8	4,12	123	-1
	etter	4,61	24,5	53	92	273	15	395	89	10	3,6	6,86	443	-61
9	Borkedalsbekken													
	før	4,59	25,9	39	39	191	10	178	142	3	5,7	4,82	376	-43
	etter	4,35	44,7	49	84	253	14	355	116	20	4,5	7,60	576	-93
10	Bjørkestølbekk													
	før	4,58	27,7	21	47	219	8	241	68	1	9,8	5,08	156	-15
	etter	4,29	51,3	44	123	315	20	468	86	16	5,3	8,78	346	-68
14	Stordalsbekken oppe													
	før	4,64	23,4	30	40	213	12	216	49	1	11,6	4,72	104	30
	etter	4,35	44,7	55	119	322	7	446	92	10	5,2	8,24	198	-44
16	Knipemyrbekken													
	før	5,18	8,1	59	61	243	15	227	130	20	4,3	5,15	148	1
	etter	4,57	26,9	52	97	264	11	355	95	23	4,2	6,77	455	-50
17	Kaldvasselva													
	før	5,86	1,4	82	37	147	10	155	71	19	3,6	3,48	21	31
	etter	5,86	1,4	90	45	146	9	160	73	19	4,2	3,56	29	39
18	Bådestølbekk													
	før	6,64	0,2	288	176	245	46	260	237	164	1,4	8,96	7	93
	etter	5,55	2,8	155	100	239	25	296	113	79	3,0	6,44	61	31
			2,6	-133	-76	-6	-21	37	-124	-86	1,6	-2,52	54	-62

Vedlegg D. Data fra DN's dosererkontroll

Konduktivitet (mS/m) fra DN's kalkdosererkontroll. Kalking påvirker vannkjemien på en rekke av stasjonene og dermed pH. Kun spesielt lave pH-verdier og pH-verdier ved spesielt store økninger i konduktivitet er derfor gitt. Data oversendt fra Fylkesmannen i Vest-Agder.

	Hovedelv eller sidevassdrag	Uke 1	Uke 3
Songåna	Hoved	4,3	5,9
Mandalsvassdraget			
Hesså	Side	2,8	4,3
Logåna	Side	3,1	6,0
Kosåna, Egså	Side	1,8 (pH 4,74)	3,0 (pH 4,56)
Kosåna, Bjørndalen	Side	1,7 (pH 4,98)	3,2 (pH 4,64)
Audna			
Tryland	Side	2,4	4,0
Melhusfossen	Hoved	3,1	4,5
Lygna			
Øverst (ref)	Hoved	2,7 (pH 4,66)	5,2 (pH 4,35)
Lygne innløp	Hoved	2,6	2,4*
Kvina			
Litleåna 1	Side		5,2 (pH 4,74)**
Litleåna 2	Side		5,4 (pH 4,6)
Frafjord			
Eikeskog		2,0	4,6
Brådland		2,0	5,8
Espedalselva			
Vinddøla oppstr.	Side	2,3	7,0 (pH 4,8)
Vikedalselva			
Litleåna oppstr.	Side	2,4	7,0 (pH 4,84)
Rødneelva			
Neset		2,1	4,3
Guddalsvassdraget			
Espedalen oppstr.	Side	3,5	5,3 (pH 4,5)

- Kond=4,0 mS/m i uke 5.; **pH=4,49 i uke 5.

Vannkjemidata fra DN's dosererkontroll i Rogaland. Prøvene er tatt hovedsakelig den 17. januar 2005, og analysene er utvidet med total aluminium (Al), natrium (Na), klorid (Cl) og farge. Data oversendt fra Fylkesmannen i Rogaland. Ikke-marin Na (Na*) er beregnet.

Område	Lokalitet	UTM koordinater		Dato	Kalket ?	pH	Kond. µS/cm	Al* mg/l	Na mg/l	Cl mg/l	Farge mg Pt/l	Na* µekv/L	
		Øst	Nord										
Frafjordelva	Eikeskog 1	348 389	6 526 861	18.01.2005	Nei	5,04	50,5	0,137	5,35	12,00	3	-58	
	Brådland 1	348 517	6 525 694	18.01.2005	Nei	5,03	60,5	0,170	7,11	14,00	13	-30	
Espedalselva	Vinddøla oppstr.	344 340	6 535 905	17.01.2005	Nei	4,82	72,3	0,221	7,67	16,00	15	-54	
	Løland oppstr.	340 670	6 532 098	17.01.2005	Ja	5,72	27,2	0,063	2,88	5,30	13	-3	
Ogna	Løland nedstr.	339 681	6 531 601	17.01.2005	Ja	5,97	37,5				15		
	Hetland oppstr	315 762	6 491 397	17.01.2005	Nei	4,93	54,1	0,203	5,98	11,00	15	-6	
	Utløp	314 878	6 490 705	17.01.2005	Ja	6,6	78,2				18		
Bjerkreimselva	Maudal Espeland	338 542	6 512 464	17.01.2005	Nei	5,53	25,1	0,090	2,72	5,10	13	-5	
	Holmen Gjedreim	331 066	6 500 255	17.01.2005	Ja	6,25	40,1	0,102	4,11	7,40	8	0	
	Storelva Ørsdal	348 533	6 506 616	17.01.2005	Nei	4,72	62,8	0,208	6,25	14,00	12	-67	
	Vikeså kraftverk	330 172	6 503 952	17.01.2005	Nei	5,96	61,4	0,124	6,69	13,00	12	-24	
	Malmei oppstrøms	337 556	6 509 689	25.01.2005	Ja	5,63	29,6				12		
Suldalslågen	Tveitliåna før kalk	354 987	6 597 495	17.01.2005	Nei	5,36	33,7	0,090	3,20	7,40	2	-40	
	Tjøstheim før kalk	356 494	6 595 740	17.01.2005	Nei	5,12	35,1	0,100	3,20	7,50	10	-42	
	Mosåna før kalk	353 749	6 593 019	17.01.2005	Nei	4,75	39,3	0,110	3,40	7,60	8	-36	
	Ritlands bekken ved klekkeriet	353 291	6 594 436	17.01.2005	Ja	6,39	25,4	0,130	2,00	4,20	17	-15	
	Tjøstheim etter kalking	356 334	6 595 853	17.01.2005	Ja	6,7	37,6	0,110	3,20	7,40	12	-40	
	Tveitliåna etter kalking	354 894	6 597 265	17.01.2005	Ja	5,4	33,9	0,090	3,20	7,40	0	-40	
	Steinsåna ved Lågen	354 739	6 596 224	17.01.2005	Ja	5,57	35,6	0,080	3,40	7,50	7	-34	
	Mosåna etter kalking	353 986	6 593 232	17.01.2005	Ja	5,07	36,6	0,110	3,40	8,60	8	-60	
	EGERSUND	Stølsvatn (Ø?)	326 170	6 483 801	19.01.2005	Nei	5,32	70,2	0,150	7,60	15,00	15	-32
		Hellelandselva	329 067	6 480 584	19.01.2005	Nei	5,38	43,4	0,110	4,50	9,30	23	-29
Vikedalselva	Låkafooss oppstrøms	329 099	6 603 518	17.01.2005	Nei	5,76	25,6	0,063	2,66	5,00		-5	
	Låkafooss nedstrøms	328 881	6 603 557	17.01.2005	Ja	5,92	28						
Rødneelva	Littlelva oppstrøms	328 914	6 604 003	17.01.2005	Nei	4,68	45,5	0,068	4,74	9,10		-14	
	Littlelva nedstrøms	328 829	6 603 725	17.01.2005	Ja	5,56	41,2						
	Rødne oppstrøms	323 396	6 606 942	17.01.2005	Ja	5,06	44	0,057	4,91	9,70		-21	
STRAND	Rødne nedstrøms	323 015	6 606 860	17.01.2005	Ja	5,58	45,1						
	Jørpeland utløp	330 283	6 545 654	17.01.2005	Ja	5,99	30,2						
Ogna	Jøssang	332 484	6 543 125	17.01.2005	Nei	5,31	56,9	0,173	5,95	13,00		-56	
	Egeland oppstrøms (lok 50)			Uke 52	Nei	5,35	41,1	0,120	5,41	8,37		33	
	Egeland oppstrøms (lok 50)			Uke 3	Nei	6,49	72,4	0,200	9,55	18,38		-29	
Frafjordelva	Egeland oppstrøms (lok 50)			Uke 5	Nei	5,03	63,6	0,150	7,78	14,91		-22	
	Eikjeskog oppstrøms (lok 54)			Uke 52	Nei	5,37	17,1	0,060	1,34	3,17		-18	
	Eikjeskog oppstrøms (lok 54)			Uke 1	Nei	5,4	19,7	0,070	1,86	3,90		-13	
	Eikjeskog oppstrøms (lok 54)			Uke 3	Nei	5,09	46,3	0,110	5,49	11,41		-37	
	Eikjeskog oppstrøms (lok 54)			Uke 5	Nei	5,19	42,2	0,100	4,53	9,93		-43	
Vikedalselva	Littlelva oppstrøms (lok 69)	328 914	6 604 003	Uke 52	Nei	5,18	20,4	0,040	2,16	3,50		9	
	Littlelva oppstrøms (lok 69)	328 914	6 604 003	Uke 1	Nei	5,14	24,4	0,060	2,78	4,64		9	
	Littlelva oppstrøms (lok 69)	328 914	6 604 003	Uke 3	Nei	4,84	70,3	0,070	5,12	9,56		-9	
	Littlelva oppstrøms (lok 69)	328 914	6 604 003	Uke 5	Nei	4,79	42,3	0,070	4,51	8,96		-21	
Suldal	Tjøstheimsåna oppstrøms (lok 133)	356 494	6 595 740	Uke 52	Nei	5,76	16,2	0,080	1,77	2,38		19	
	Tjøstheimsåna oppstrøms (lok 133)	356 494	6 595 740	Uke 3	Nei	5,29	30,1	0,070	3,21	6,87		-27	
	Tjøstheimsåna oppstrøms (lok 133)	356 494	6 595 740	Uke 5	Nei	5,27	27,1	0,100	2,36	5,76		-37	

*Total Al analysert på ICP.

Vedlegg E. Data fra Sirdal, Kvina og Frafjord

Vdr.	Lokalitet	Dato	sted/ dyp	pH	Kond. µS/cm	Al µg/l	Farge mg Pt/l	Ca mg/l	Klorid mg/l	NO3-N µg/l	SO4 mg/l	Na mg/l
Sira	bekk Ådneram	16.12.2004		5,28	15,1	80	35	0,37	2,4			1,2
Sira	bekk Ådneram	20.01.2005		5,18	29,9	90	22	0,73	6,1			2,9
Sira	bekk Ådneram	03.03.2005		5,62	27,9	80	29	1,1	5,1			2,7
Sira	bekk Ådneram	04.04.2005		5,49	24,3	90	27	0,76	4,5			2,1
Sira	Degev.	16.12.2004		5,06	13,4	40	5	0,18	2,1			1,1
Sira	Degev.	03.02.2005		4,97	21,7	40	2	0,30	4,0			2,1
Sira	Degev.	06.04.2005		4,97	23,7	70	5	0,41	4,3			2,8
Sira	Dorgefoss	20.01.2005		5,06	34,8	80	21	0,91	7,0			3,2
Sira	Dorgefoss	03.03.2005		5,46	48,4	70	15	2,1	8,3			4,3
Sira	Dorgefoss	07.04.2005		5,55	26,2	90	28	0,92	4,5			1,9
Sira	Fidjelandsv.	16.12.2004		5,16	13,5	80	30	0,27	1,8			1,2
Sira	Fidjelandsv.	20.01.2005		4,74	32,6	100	21	0,53	6,3			3,1
Sira	Fidjelandsv.	03.03.2005		5,43	24,0	70	15	0,78	4,5			2,4
Sira	Fidjelandsv.	07.04.2005		5,17	22,9	110	23	0,52	4,0			2,3
Sira	Flatstølåna	16.12.2004		5,22	12,1	60	18	0,25	1,8			1,0
Sira	Flatstølåna	20.01.2005		5,11	26,9	90	28	0,57	5,6			2,6
Sira	Flatstølåna	03.03.2005		5,83	20,1	50	13	0,68	3,6			2,0
Sira	Flatstølåna	04.04.2005		5,34	21,5	90	24	0,51	3,9			2,1
Sira	Jogla	16.12.2004		5,16	14,5	80	10	0,32				
Sira	Jogla	20.01.2005		5,21	27,3	130	7	0,54	6,0	60	2,1	2,9
Sira	Jogla	03.03.2005		5,81	20,3	70	6	0,70	3,5	120	1,8	2,1
Sira	Jogla	04.04.2005		5,14	21,1	130	12	0,55	3,7	110	1,2	2,3
Sira	Nesetbekken	16.12.2004		4,83	18,0	80	54	0,47	1,9			1,2
Sira	Nesetbekken	20.01.2005		4,55	45,6	90	27	0,73	8,4			4,1
Sira	Nesetbekken	03.03.2005		5,35	27,1	70	44	0,86	4,9			2,5
Sira	Nesetbekken	07.04.2005		4,80	24,4	100	47	0,45	3,5			3,2
Sira	Ousdalselv	16.12.2004		5,20	18,7	100	35	0,54	2,8			1,5
Sira	Ousdalselv	14.01.2005		5,08	35,9	90	17	1,0	7,7		2,6	2,8
Sira	Ousdalselv	20.01.2005		4,90	40,1	110	15	1,0	8,4			3,6
Sira	Ousdalselv	03.03.2005		5,66	35,1	80	18	1,4	6,5			2,8
Sira	Ousdalselv	07.04.2005		5,22	23,0	100	28	0,68	3,9			2,4
Sira	Raudåv.	16.12.2004		4,90	14,7	70	36	0,25				
Sira	Raudåv.	20.01.2005		4,79	23,2	80	27	0,47	4,2			2,0
Sira	Raudåv.	03.03.2005		4,99	23,0	80	23	0,44	4,3			2,2
Sira	Raudåv.	07.04.2005		4,86	23,3	90	32	0,37	3,8			3,1
Sira	Sira Nesset	16.12.2004		5,30	14,1	90	32	0,39				
Sira	Sira Nesset	20.01.2005		5,19	27,4	80	19	0,64	5,7			2,6
Sira	Sira Nesset	03.03.2005		5,72	26,2	70	18	0,89	5,1			2,5
Sira	Sira Nesset	07.04.2005		5,27	23,0	100	31	0,76	4,1			2,4
Sira	Sira Omlid	16.12.2004		5,21	17,2	70	21	0,44				
Sira	Sira Omlid	20.01.2005		4,99	39,5	100	14	0,79	8,5			3,8
Sira	Sira Omlid	03.03.2005		5,51	33,8	80	8	1,0	6,4			3,4
Sira	Sira Omlid	07.04.2005		5,24	24,3	110	20	0,40	4,5			2,4
Sira	Sira Tonstad	17.12.2004		4,94	22,2	100	33	0,46	3,5			
Sira	Sira Tonstad	11.01.2005		4,85	28,0	60	18	0,66	5,4		2,8	2,4
Sira	Sira Tonstad	12.01.2005		4,58	69,4	220	16	1,3	15,4			6,3
Sira	Sira Tonstad	17.01.2005		4,60	58,3	160	12	1,2	12,2		2,6	5,8
Sira	Sira Tonstad	20.01.2005		4,82	52,2	160	14	1,3	11,4			5,0
Sira	Sira Tonstad	03.02.2005		4,98	44,9	120	11	1,2	9,9			4,6
Sira	Sira Tonstad	04.03.2005		5,90	41,9	60	11	1,6	7,6			4,5
Sira	Sira Tonstad	08.04.2005		5,12	26,8	120	30	0,77	4,5			2,9
Sira	Sirdalsv.	17.12.2004		5,20	14,6	70	24	0,29	2,0			1,2
Sira	Sirdalsv.	20.01.2005		5,09	19,9	80	22	0,56	2,6			1,7
Sira	Sirdalsv.	04.03.2005		5,31	17,8	50	15	0,50	2,8			1,6
Sira	Sirdalsv.	08.04.2005		5,20	16,8	70	16	0,47	2,5			1,6
Sira	Skreå	16.12.2004		5,04	16,3	70	15	0,25	2,1			1,4
Sira	Skreå	20.01.2005		4,81	40,9	130	12	0,54	8,7			4,3
Sira	Skreå	03.03.2005		5,27	31,5	70	5	0,83	6,2			3,4
Sira	Skreå	07.04.2005		4,96	26,9	100	16	0,47	4,7			3,3
Sira	Storstein	01.02.2005		5,18	15,8	40	2	0,26	3,0	70	1,4	1,7
Sira	Storstein	05.04.2005		5,22	16,0	60	7	0,36	2,7	100	<1	1,6
Sira	Storstein	22.04.2005		5,27	16,2	60	4	0,31	3,0	120	<1	
Sira	Sandv. v/Degev	03.04.2005		4,99	21,1	60	1	0,27	3,7			2,5
Sira	Sandv. (Gyland)	28.04.2005		4,96	32,4	90	27	0,50				
Sira	Åna-Sira	18.01.2005		5,22	20,3	90	18	0,50	3,4			1,9

Vdr.	Lokalitet	Dato	sted/ dyp	pH	Kond. µS/cm	Al µg/l	Farge mg Pt/l	Ca mg/l	Klorid mg/l	NO3-N µg/l	SO4 mg/l	Na mg/l
Kvina	Gjuvann	31.01.2005		5,73	9,2	30	2	0,51	0,9			0,72
Kvina	Gjuvann	04.04.2005		5,69	9,1	40	3	0,43	0,8			0,58
Kvina	Gjuvann	22.04.2005		5,63	10,2	50	3	0,43	1,1	100	<1	
Kvina	Hiså	06.12.2004		4,56	24,4	130	66	0,23	2,9			1,7
Kvina	Hiså	05.01.2005		4,55	24,5	110	54	0,28	3,3			1,8
Kvina	Hiså	02.03.2005		4,38	50,4	110	29	0,30	8,7			4,5
Kvina	Hiså	01.04.2005		4,45	42,6	110	32	0,38	6,9			6,2
Kvina	Hiså	28.04.2005		4,51	33,3	90	39	0,27				
Kvina	Knaben	06.12.2004		4,95	19,8	150	40	0,75	2,6			1,4
Kvina	Knaben	02.03.2005		5,66	53,1	170	16	4,2	6,3			3,3
Kvina	Knaben	01.04.2005		5,03	31,7	150	25	1,2	4,8			3,0
Kvina	Knaben	28.04.2005		5,16	20,9	110	28	0,63				
Kvina	Lindelund	05.01.2005		4,69	22,7	120	48	0,47	3,3			1,8
Kvina	Lindelund	01.04.2005		4,72	33,7	140	29	0,77	5,7			4,3
Kvina	Nesjen	06.12.2004		5,26	11,3	70	17	0,14	1,3			0,89
Kvina	Nesjen	05.01.2005		4,92	16,2	120	37	0,46	2,4			1,4
Kvina	Nesjen	02.03.2005		5,30	12,1	50	8	0,39	1,1			1,1
Kvina	Nesjen	01.04.2005		5,10	16,9	80	8	0,44	2,6			1,6
Kvina	Nesjen	28.04.2005		4,93	19,1	90	32	0,26				
Kvina	Risnes bro	06.12.2004		4,88	20,2	160	47	0,59	2,6			1,5
Kvina	Risnes bro	05.01.2005		4,89	21,4	140	35	0,66	3,1			1,8
Kvina	Risnes bro	02.03.2005		5,31	31,9	130	19	1,6	4,9			2,6
Kvina	Risnes bro	01.04.2005		4,98	30,4	160	25	1,0	5,0			3,1
Kvina	Risnes bro	28.04.2005		5,13	20,8	110	32	0,60				
Kvina	Roskrepp	02.02.2005		5,68	18,7	20	11	0,43	3,2			1,8
Kvina	Roskrepp	04.04.2005		5,74	10,4	40	6	0,48	0,8			0,62
Kvina	Bossv.	22.04.2005		5,68	9,7	40	2	0,44	1,0	110	<1	
Kvina	Mygland	05.01.2005		4,64	22,7	120	40	0,40	3,0			1,8
Kvina	Nutev.	22.04.2005		5,80	9,8	40	3	0,46	1,0	70	<1	
Kvina	Revsv.	22.04.2005		5,41	10,0	70	1	0,21	1,1	130	<1	
Kvina	Skammev.	22.04.2005		5,53	10,0	60	3	0,41	1,0	80	1,0	

Merknader: Nesjen og Roskreppfjord (Kvina) prøvetas i selve magasinet under isfrie forhold, og i utløpet av kraftstasjoner når magasinene er islagt. Noe av variasjonene i vannkvalitet fra gang til gang kan tilbakeføres til dette.

Lokalitet	Dato	sted/ dyp	pH	Kond. µS/cm	Al µg/l	Farge mg Pt/l	Ca mg/l	Klorid mg/l	NO3-N µg/l	SO4 mg/l	Na mg/l
H. Sliravatn	29.01.2005	0	5,25	52,1	50	12	0,86	12,1	70		6,9
H. Sliravatn	29.01.2005	1	5,13	46,2	80	9	0,88	10,9	60		5,5
H. Sliravatn	29.01.2005	5	5,11	47,0	80	15	0,91	11,1	30		5,4
H. Sliravatn	29.01.2005	10	5,08	52,1	80	9	1,1	12,4	70		5,9
H. Sliravatn	21.02.2005	0	5,20	55,8	50	11	0,91	13,0	140		6,5
H. Sliravatn	21.02.2005	1	5,22	45,4	60	17	0,86	10,5	70		5,1
H. Sliravatn	21.02.2005	5	5,22	48,5	60	21	0,90	11,3	70		5,7
H. Sliravatn	21.02.2005	10	5,26	52,4	60	18	1,2	12,6	90		5,8
H. Sliravatn	20.03.2005	0	5,13	29,2	10	4	0,43	5,7			
H. Sliravatn	20.03.2005	1	5,29	35,9	50	6	0,77	8,0			
H. Sliravatn	20.03.2005	5	5,28	37,7	60	10	0,82	8,2			
H. Sliravatn	20.03.2005	10	5,35	49,6	60	6	1,7	11,2			
H. Sliravatn (ut)	04.12.2004	ut	5,63	13,3			0,64	1,6			1,3
H. Sliravatn (ut)	15.01.2005	ut	4,66	47,2	80	17	0,64	10,1			3,8
H. Sliravatn (ut)	15.01.2005	ut	5,35	32,1	50	10	0,65	7,5			
H. Sliravatn (ut)	29.01.2005	ut	5,25	40,9	50	7	0,86	9,6	40		4,9
H. Sliravatn (ut)	20.03.2005	ut	5,30	36,1	50	8	0,78	7,9			
H. Sliravatn (ut)	16.04.2005	ut	5,24	28,0	60	11	0,47	5,7	130	2,6	
Sliradal	23.02.2005		4,90	56,5	160	4	0,73	13,0	170	2,1	6,5
Sliradal	21.03.2005		4,90	44,5	130	5	0,54	9,3	190	1,9	5,1
Stølsbekk	04.12.2004		5,09	18,0			0,25	3,2			2,1
Stølsbekk	14.01.2005		4,52	102	130	6	1,6	24,2			11,7
Stølsbekk	15.01.2005		4,59	95,1	130	4	1,5	22,9		3,2	10,6
Stølsbekk	16.01.2005		4,40	127	130	3	1,6	29,7			15,0
Stølsbekk	28.01.2005		5,08	61,4	60	6	1,3	15,1	10	2,3	6,9
Stølsbekk	29.01.2005		5,15	60,2	60	6	1,3	14,9	10	2,4	6,3
Stølsbekk	30.01.2005		4,99	62,4	60	7	1,2	15,1	20	2,5	6,9
Stølsbekk	22.02.2005		5,40	43,7	40	7	1,0	10,0	20	2,6	4,7
Stølsbekk	21.03.2005		5,33	30,8	50	19	0,59	6,4	<10	3,2	3,5
Stølsbekk	16.04.2005		5,12	17,5	60	40	0,19	2,8	10	2,5	
Stølsbekk	23.04.2005		5,60	18,7	50	31	0,39	3,4	10	3,3	
Såmtjørn	29.01.2005	0	4,95	101	60	10	0,82	24,8	40		13,9
Såmtjørn	29.01.2005	1	4,74	49,1	120	19	0,80	11,0	20		5,4
Såmtjørn	29.01.2005	2	4,74	44,3	110	21	0,74	9,5	20		4,3
Såmtjørn	29.01.2005	4	4,85	36,8	100	23	0,58	7,7	20		3,7
Såmtjørn	29.01.2005	8	4,78	67,9	140	12	1,1	16,0	20		7,4
Såmtjørn	21.02.2005	0	4,88	63,9	80	22	0,90	14,5	40		7,7
Såmtjørn	21.02.2005	1	4,84	48,3	100	33	0,76	10,7	10		5,5
Såmtjørn	21.02.2005	2	4,87	45,7	100	34	0,69	10,0	<10		5,1
Såmtjørn	21.02.2005	4	4,93	47,1	100	39	0,75	10,7	40		6,5
Såmtjørn	21.02.2005	8	4,91	62,1	110	24	1,1	14,3	40		6,9
Såmtjørn	20.03.2005	0	4,96	27,7	40	13	0,47	5,0			
Såmtjørn	20.03.2005	1	4,87	29,4	60	28	0,61	5,2			
Såmtjørn	20.03.2005	2	4,83	45,4	90	20	0,74	9,9			
Såmtjørn	20.03.2005	4	4,87	49,1	110	20	0,78	10,7			
Såmtjørn	20.03.2005	8	4,89	66,6	120	14	1,2	16,4			
Såmtjørn (ut)	04.12.2004	ut	4,98	16,4			0,18	1,9			
Såmtjørn (ut)	29.01.2005	ut	4,65	50,9	110	22	0,79	11,1	20		5,3
Såmtjørn (ut)	20.03.2005	ut	4,88	30,5	60	18	0,45	5,6			
Såmtjørn (ut)	16.04.2005	ut	5,01	20,3	60	31	0,28	3,1	40	2,2	
Såmtjørn (ut)	24.04.2005	ut	4,95	29,5	60	16	0,47	6,0	20	1,6	

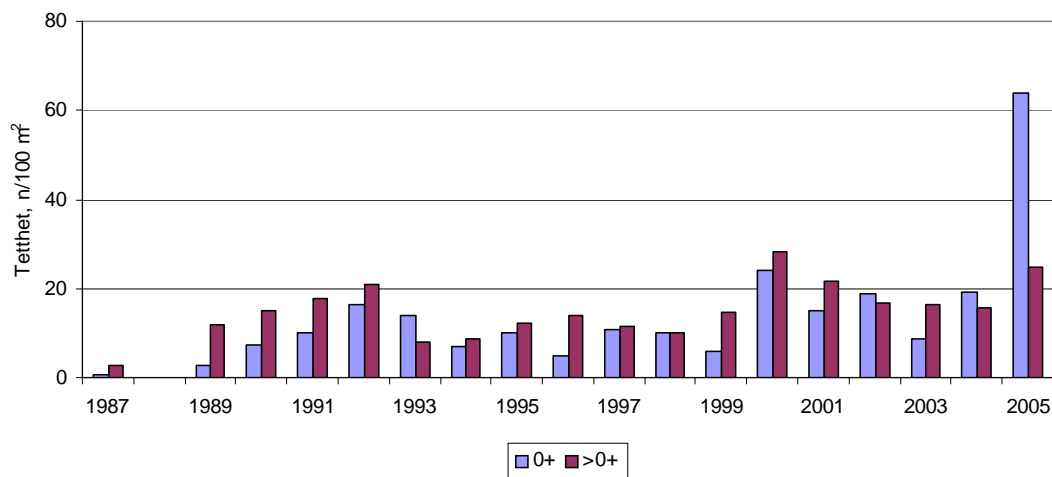
Merknader: "0"-metersprøven vinterstid er tatt i borehullet. Denne prøven vil være en blanding av overvann, smeltet snø og 0-m innsjøvann. Mange av disse prøvene hadde relativt lave verdier for bl.a. farge og Al.

Vedlegg F. Biologiske observasjoner

Rapporten omhandler først og fremst vannkjemisk påvirkning og effekter av sjøsaltepisodene i januar 2005. I dette vedlegget tar vi imidlertid med noen fiskeobservasjoner som ble gjort i Sira og i Frafjordområdet.

Det ble lett etter død fisk i Ousdalselv (Sira) den 17.01.05 uten at det ble gjort funn (Odd Kvinen, pers.medd.). Vannføringen var imidlertid stor, og død fisk kan ha vært vanskelig å se. Heller ikke i Sira ved Tonstad ble det observert død fisk i denne perioden (Ivar Skregelid, pers. medd.). På begge disse lokalitetene ble det registrert omfattende fiskedød i 1993 (Enge 1993). Fiskeundersøkelsene i Sira har en sammenhengende dataserie på 19 år, og viste maksimalverdier for tettheter av aure i 2005. Total fisketetthet var dobbelt så høy som tidligere maksimalverdi (se figur). Det er derfor lite trolig at det her har vært noen effekter på fisk (aure) av denne episoden.

Stølsbekken hadde laveste pH-verdi på 4,40 og Sämtjørn 4,65 (utløp). Disse renner sammen ved Haalandstølen. Det har alltid vært fisk (aure) i dette området, og området ble undersøkt ved elektrisk fiske den 14. mai 2005. Det ble funnet mye fisk, særlig 1+. Denne kan ikke ha kommet nedenfra pga. vandringshinder. Dette viser at sjøsaltepisoden trolig ikke har forårsaket fiskedød i dette området til tross for ekstremt surt vann.



Tettheter av aure i Sira i perioden 1987-2005.