



Statlig program for  
forurensningsovervåking

# Rapport 677/96

Oppdragsgiver

Statens forurensningstilsyn

Utførende institusjon

Norsk institutt for vannforskning

## Regional innsjøundersøkelse 1995

En vannkjemisk undersøkelse av  
1500 norske innsjøer



Overvåking av langtransportert forurenset luft og nedbør

## **Regional innsjøundersøkelse 1995**

**En vannkjemisk undersøkelse av 1500 norske innsjøer**

*"Det er bedre med én  
prøve fra tusen innsjøer  
en tusen prøver  
fra én innsjø".  
Henriksen, 1987*

*Forfattere og medarbeidere:*

Brit Lisa Skjelkvåle

Arne Henriksen

Bjørn Faafeng

Eirik Fjeld

Tor Traaen

Leif Lien

Espen Lydersen

Ann Kristin Buan

## Forord

Miljøvernmyndighetene i Norge, Sverige og Finland tok i 1993 et felles initiativ for å utføre en regional innsjøundersøkelse i alle de tre nordiske landene på samme tid. Med støtte fra Nordisk Ministerråd, ble det etablert et NMR-prosjekt for å samordne metoder for valg av innsjøer, prøvetaking, og analyser. Prosjektet ble etterhvert utvidet til å innbefatte Russisk Kola, Russisk Karelen, Danmark, Wales og Skottland. Målsetningen med det Nordiske prosjektet er å gi en status for innsjøer i Norden, både for en vannkjemisk beskrivelse, men også for bruk i det internasjonale tålegrensearbeidet. Dette samarbeidsprosjektet er unikt i sitt slag, da det er første gang det har vært mulig å samle vannkjemiske data fra hele Nord-Europa på en slik måte at det er mulig med en felles bearbeiding av dataene.

Denne rapporten presenterer resultatene fra den norske innsjø-undersøkelsen høsten 1995, og i tillegg ser den på regionale trender i vannkjemisk fra 1986 til 1995.

Da det ble bestemt at det skulle finansieres en landsomfattende innsjøundersøkelse i Norge basert på et statistisk utvalg av innsjøer, var det flere som var interessert i prøver til forskjellige formål fra de samme innsjøene. Det ble derfor også tatt prøver for fosfor, tungmetaller og sporelementer. Fosforanalysene er delvis finansiert av SFT og delvis av NIVA og resultatene er presentert i denne rapporten. Tungmetaller og sporelementanalyser er finansiert av MD og resultatene vil rapporteres senere.

Undersøkelsen har blitt gjennomført av Norsk institutt for vannforskning med Arne Henriksen som prosjektleder. Brit Lisa Skjelkvåle og Arne Henriksen har hatt hovedansvaret for rapporteringen, mens Bjørn Faafeng har hatt ansvaret for kapitlet som omhandler eutrofi og næringssalter. Eirik Fjeld har utført den statistiske behandlingen av dataene, mens Ann Kristin Buan har stått for datalagring og kartpresentasjoner. Tor Traaen og Leif Lien har vært med på å finne frem og vurdere de utvalgte innsjøene. Prøveinnsamlingen ble i stor grad gjennomført av Espen Lydersen og Leif Lien.

Vi vil takke alle som har hjulpet oss i denne undersøkelsen; miljøvernavdelingene hos alle fylkesmennene, miljøvernleder i en rekke kommuner, Statskog og fjelloppsynsmenn for allmenninger og nasjonalparker. Deres hjelp har vært av stor betydning både i utvalgssprosessen, men også i den praktiske gjennomføringen ved innsamling av vannprøvene.

Vi vil også takke laboratoriet ved NIVA som gjorde en kjempeinnsats da alle vannprøvene kom inn i store mengder i noen få hektiske uker høsten 1995.

Oslo, 10.3.97

*Tor Johannessen*

# Innhold

<b>Sammendrag</b>	<b>6</b>
<b>Summary</b>	<b>9</b>
<b>1. Innledning</b>	<b>12</b>
1.1 Tidligere regionale undersøkelser.	12
1.2 Nordisk samarbeid - Nordic Lake Survey 1995	13
1.3 Hovedmålsetningene for "Regional innsjøundersøkelse 1995"	13
<b>2. Størrelsesfordeling av innsjøer i Norge</b>	<b>14</b>
<b>3. Valg av innsjøer</b>	<b>18</b>
3.1 Statistisk valgte innsjøer	18
3.1.1 "Vekting" av stratifiserte data	21
3.2 "Gamle 1000-sjøer"	21
<b>4. Innsamling og analyser</b>	<b>22</b>
4.1 Innsamling	22
4.2 Analyser	24
4.3 Beregnede verdier	25
4.3.1 Sjøsalt-"korrigerings"	25
4.3.2 Beregning av syrenøytraliserende kapasitet - ANC	25
<b>5. Vannkjemisk status for Norge 1995</b>	<b>27</b>
5.1 Faktorer som er med på å bestemme vannkjemien i innsjøer	28
5.1.1 Geologi	28
5.1.2 Hydrologi	28
5.1.3 Nedbørkjemi	29
5.1.4 Jord	31
5.1.5 Vegetasjon	31
5.2 Vannkjemisk status i norske innsjøer 1995	32
5.2.1 Sjøsalter	32
5.2.2 Bikarbonat og basekationer	32
5.2.3 ANC - syrenøytraliserende kapasitet.	33
5.2.4 Sulfat	33
5.2.5 pH og aluminium	34
5.2.6 Organiske anioner	35
5.2.7 Nitrogen	35
5.2.8 Fosfor	37
5.2.9 Silisium	38
5.2.10 Fluorid	39
5.3 Norske innsjøer i en nord-europeisk sammenheng	39

---

<b>6. Forskjeller i vannkjemi mellom store og små innsjøer</b>	<b>46</b>
<b>7. Endringer i vannkjemi de siste 10 årene</b>	<b>49</b>
<b>8. Forsuringssituasjonen - tålegrenser</b>	<b>56</b>
<b>9. Referanser</b>	<b>59</b>
<b>Vedlegg A. Prosentligningstabell</b>	<b>62</b>
<b>Vedlegg B. Beregning av tålegrenser og overskridelse av tålegrenser for tilførsler av syre til overflatevann</b>	<b>71</b>

---

## Sammendrag

Norske innsjøer sett i en nord-europeisk sammenheng er karakterisert ved lave konsentrasjoner av oppløste ioner i vannet. Årsaken til dette er en kombinasjon av at berggrunnen i Norge er forvittringsresistent og avgir lite ioner, samtidig med at det er lite løsmasser og tynne jordsmonn. I tillegg mottar Norge store nedbørmengder som gir høy avrenning som virker fortynnende på ionekonsentrasjonene. Norge har også en stor andel av innsjøer med lavt innhold av organisk karbon, fosfor og total-nitrogen og dette reflekterer bl.a at andelen av skog og myr er liten i Norge.

De naturgitte forholdene i Norge gjør at en stor andel av norske innsjøer har liten motstand mot forsuring og at tålegrensene for tilførsler av syre generelt er lave over hele landet. Størst andel av innsjøer med overskridelser av tålegrensen finner vi på Sørlandet og Vestlandet, mens Midt-Norge har minst andel av innsjøer med overskridelse. Når de vedtatte målene for reduksjoner i utslipp av svovel i Europa er nådd, vil det bli store reduksjoner i prosentandel av innsjøer med overskridelser. Østlandet vil få den kraftigste reduksjonen, mens Sørlandet og spesielt Vestlandet viser noe mindre nedgang i prosentandel av innsjøer der tålegrensene er overskredet.

Fra 1986 og 1995 har det vært en signifikant nedgang i sulfat i innsjøer i alle deler av landet. Nedgangen har medført en klar bedring i vannkvaliteten ved en økning i ANC (syrenøytraliserende kapasitet) og pH og nedgang i aluminium. Alle endringene er mest markert i de mest forsurede områdene av landet (Sørlandet).

### Bakgrunn og hovedmål

Høsten 1995 ble det gjennomført regionale innsjøundersøkelser i Norge, Sverige og Finland, etter initiativ fra miljøvernmyndighetene i de respektive landene. Alle landene har tidligere gjennomført regionale innsjøundersøkelser, men dette er den første undersøkelsen i sitt slag som er koordinert m.h.p. metoder og tidspunkt for gjennomføring. Det er derfor første gang det er mulig å gjennomføre en felles bearbeiding av data for alle innsjøer i de tre landene.

Hovedmålene med den regionale innsjøundersøkelsen i Norge i 1995 er å beskrive status for norske innsjøer med hensyn på:

- generell vannkjemi
- utbredelse og grad av forsuring
- utbredelse og grad av eutrofiering

Andre viktige mål er å se på:

- utviklingen i vannkjemi de siste 10 årene
- forskjeller i vannkjemi for store og små innsjøer

Resultatene fra undersøkelsen skal videre brukes til å:

- etablere et referansenivå for vannkjemi for å følge opp fremtidige effekter av den nye svovelprotokollen som ble signert i Oslo i Juni 1994
- skaffe vannkjemiske data for bruk i forbindelse med utarbeidelse av en ny nitrogenprotokoll

## Gjennomføring og metoder

I undersøkelsen var det to utvalg av innsjøer; ett sett med statistisk valgte innsjøer (ca. 1000) og ett sett med innsjøer som var prøvetatt en gang tidligere (ca. 500) i "1000-sjøers undersøkelsen 1986".

Et statistiske utvalg av innsjøer gir et representativt bilde av vannkjemien i norske innsjøer og kan samtidig gi informasjon om forskjeller og likheter mellom innsjøer av forskjellig størrelse og i forskjellige regioner av landet.

Resultatene fra de "gamle 1000-sjøene" er brukt til å se på den regionale utviklingen i vannkemi de siste 10 årene.

Prøveinnsamling ble foretatt etter høst-sirkulasjonen 1995. De fleste prøvene ble samlet inn med helikopter. Vannprøvene ble analysert for pH, kalsium, magnesium, natrium, kalium, aluminium, klorid, sulfat, nitrat, ammonium, total-nitrogen, total-fosfor, total organisk karbon, silisium og fluorid. Alle analysene ble utført på NIVA's kjemiske analyselaboratorium etter akkrediterte metoder.

## Størrelsesfordeling av innsjøer i Norge

I Norge er det 38.857 registrerte innsjøer større enn 0.04 km<sup>2</sup> og antall innsjøer større enn 0.01 km<sup>2</sup> er anslått til ca. 134.000. Innsjøer utgjør 5.15% av Norges areal. Det er flest innsjøer med lite areal (< 1 km<sup>2</sup>), mens innsjøer mellom 1-10 km<sup>2</sup> utgjør størst areal.

## Vannkjemisk status for norske innsjøer

Vannkjemien i norske innsjøer er bestemt av berggrunnsgeologi, nedbørkemi og hydrologi, jordsmonn og vegetasjon.

Berggrunnen i Norge består hovedsakelig av forvittringsresistente mineraler som avgir lite ioner til vann. Norske innsjøer har derfor

generelt lavt innhold av basekationer (Ca, Mg, Na og K) og bikarbonat (alkalitet).

Nedbøren er dominert av sjøsalter langs kysten som gir høyt innhold av sjøsalter i innsjøer i disse områdene. Svovel og nitrogen i nedbør fra langtransportert forurensing ("sur nedbør") har de høyeste avsetningene på Sørlandet og Vestlandet og avtar nordover, men også østlige deler av Finnmark er berørt av sur nedbør fra industri på Kola. Sur nedbør virker forsurende på innsjøer, og Sørlandet og Vestlandet er de landsdelene hvor vi finner høyest andel av innsjøer med lave pH-verdier (< 5.5) og negative ANC-verdier (syrenøytraliserende kapasitet).

Nedbørmengde og avrenning er spesielt høye langs kysten av Vest-Norge og avtar østover. Områder med høy vanngjennomstrømning har oftest innsjøer med lave ionekonsentrasjoner, mens områder med liten vanngjennomstrømning generelt har høyere ionekonsentrasjoner i innsjøene. Det geografiske mønsteret for konsentrasjonene av oppløste ioner i innsjøene reflekterer derfor i stor grad nedbørmønsteret i Norge, med de laveste konsentrasjonene i de mest nedbørrike fjellstrøkene på Vestlandet.

Løsmasser og jordsmonn er generelt tynne i Norge, men de er større i enkelte deler av Øst-Norge og rundt Trondheimsfjorden enn i resten av landet. Disse områdene har generelt høyere ionekonsentrasjoner p.g.a lengre kontakttid mellom vannet og mineralmaterialet i nedbørfeltet.

Størstedelen av Norge består av fjell og hei, mens skog utgjør en mindre andel. Skogområder har ofte høyere innhold av organisk karbon i innsjøene p.g.a større utvasking av organisk materiale fra nedbørfeltene. Fordelingen av fosfor og total-nitrogen følger i store trekk samme mønster som organisk karbon. Fosforkonsentrasjonene i norske innsjøer er generelt svært lave (90% av innsjøene har < 9 µg P/l). Mindre enn 2% av innsjøene har et N:P < 12 som viser at norske innsjøer er i all hovedsak fosfor-begrenset.

Det som særpreger vannkjemien i norske innsjøer i forhold til innsjøene i andre nord-europeiske land er at det er en langt større andel av norske innsjøer som har lavt innhold av oppløste ioner ("tynn vannkvalitet"). Dette forholdet gjelder basekationer, bikarbonat, sulfat, organisk karbon, total nitrogen og fosfor. Medianverdien for konsentrasjonen av basekationer og alkalitet er 2-3 ganger høyere, og for total organisk karbon er den 3-4 ganger høyere for innsjøer i de andre nord-europeiske landene i forhold til innsjøer i Norge. Dette kommer av at det i Norge er mindre løsmasser og jordtykkelser og større nedbørmengder og avrenning enn i de andre landene, samtidig med at andelen av skog og myr er mindre i Norge.

### **Forskjeller i vannkjemi mellom store og små innsjøer**

Det er klare forskjeller i vannkjemi mellom små og store innsjøer. De små innsjøene har oftere lave konsentrasjoner av basekationer og alkalitet enn store innsjøene, og dermed også lavere ANC og pH-verdier og høyere konsentrasjoner av labilt Al. Tålegrensen for sur nedbør viser imidlertid svært lik fordeling for alle klassene. Ioner som hovedsaklig tilføres via nedbøren, som Cl og Na, har høyere konsentrasjoner i små enn i store innsjøer, fordi små innsjøer som oftest er mer direkte påvirket av nedbørens kjemiske sammensetning. Sulfat som både tilføres gjennom forvitring og nedbør viser små forskjeller mellom små og store innsjøer. Ioner som er sterkt influert av andelen av organisk materiale i nedbørfeltet som organisk karbon, fosfor og total-nitrogen, har svært lik fordeling av konsentrasjoner. Høye konsentrasjonene av organisk karbon finnes riktignok hovedsakelig i de små innsjøene.

### **Endringer i vannkjemi de siste 10 årene**

Sammenligning av vannkjemien for 485 innsjøer som ble prøvetatt i 1986 og 1995 viser at det har vært en klar nedgang i sulfat i innsjøer i alle deler av landet i perioden. Nedgangen har medført en klar bedring av vannkvaliteten uttrykt ved en økning i ANC (syre-nøytraliserende kapasitet) og pH og nedgang i aluminium. Nedgangen i sulfat er kompensert av en liten nedgang i basekationer og for innsjøer hvor  $ANC < 0$ , en nedgang i  $H^+$  og  $Al^{3+}$ , mens for innsjøer med  $ANC > 0$ , en økning i alkalitet ( $HCO_3$ ). Alle endringene er mest markert i de mest forsurede områdene av landet.

### **Forsuringssituasjonen**

De naturgitte forholdene i Norge gjør at tålegrensene for tilførsler av syre generelt er lav over hele landet. Størst andel av innsjøer der det er overskridelse av tålegrensene finner vi på Sørlandet og Vestlandet, mens Midt-Norge har minst andel av innsjøer med overskridelse. Når de vedtatte målene for reduksjoner i utslipp av svovel i Europa er nådd, vil det bli betydelige reduksjoner i antall innsjøer med overskridelse av tålegrensen for sur nedbør. Østlandet vil få den kraftigste reduksjonen, mens Sørlandet og spesielt Vestlandet vil få mindre nedgang i prosentandel av innsjøer med overskridelser. Årsaken til dette er at overskridelsene av tålegrenser for tilførsler av syre i disse landsdelene i dag er store, slik at det krever kraftige reduksjoner i syretilførsler (S- og N-deposisjon) for å komme ned til et nivå som ikke overskrider tålegrensen. På Østlandet ligger mange av innsjøene idag på grensen til overskridelse, slik at her er forholdsvis mindre reduksjoner i syretilførsler nødvendig.



## Summary

# Regional lake survey in Norway - autumn 1995. A survey of the water chemistry of 1500 lakes.

Year: 1997

Authors: Skjelkvåle, B.L., Henriksen, A., Faafeng, B., Fjeld, E., Traaen, T., Lien, L., Lydersen, L. and Buan, A.K.

Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN No.: ISBN 82-577-3169-2

### Introduction

Autumn 1995 a regional lake surveys in the Northern European countries were conducted on the initiative from the environmental ministries in Sweden, Finland and Norway. These 3 countries have previously undertaken regional lake surveys, but 1995 was the first lake survey co-ordinated with regard to methods and sampling period. The project was expanded to also include Denmark, Russian Kola, Russian Karelia, Scotland and Wales. The data allow for the first time a common evaluation of lake chemistry in all of northern Europe.

The key objectives the Nordic Regional Lake survey 1995 are to assess the status of the lakes with respect to:

- general water quality,
- occurrence and large-scale regional variation of acidification,
- occurrence and large-scale regional variation of eutrophication.

The results from the survey are also be used to:

- establish a new baseline of water quality against which changes resulting from future emission reductions can be assessed, as agreed in the new sulphur protocol signed in Oslo in June 1994,
- document the role of nitrogen deposition on lake water chemistry in connection with the new nitrogen protocol.

In addition the Norwegian national evaluation also addresses:

- trends in water chemistry from 1986 to 1995,
- differences in lake chemistry between lakes of different sizes.

### Sampling and methods

In the Norwegian survey there are two sets of lakes; one set of about 100 lakes statistically chosen, and one set of about 500 lakes that were previously sampled in 1986.

The statistically-selected lakes give a representative picture of the water chemistry in Norway and can be used to answer the main objectives for this project. The resampled lakes are used to study regional trends in water chemistry over the last 10 years.

The water samples were collected shortly after the autumn lake overturn, either by foot or by helicopter depending of the accessibility of the lakes. The water samples were analysed for pH, calcium, magnesium, sodium, potassium, aluminium, chloride, sulphate, nitrate, ammonium, total-nitrogen, total-phosphorous, total organic carbon, silica and fluoride. All analyses were carried out at Norwegian Institute for Water Research.

## Lake size distribution

There are 38,857 registered lakes in Norway greater than 0.04 km<sup>2</sup>, and 134,000 lakes greater than 0.01 km<sup>2</sup>. Lakes comprise 5.15% of Norway's area. Small lakes (<1 km<sup>2</sup>) are most common, while lakes between 1-10 km<sup>2</sup> cover the biggest area.

## Water chemistry status

Water chemistry in Norwegian lakes is largely controlled by bedrock geology, precipitation chemistry, hydrology, soil type and vegetation.

The Norwegian bedrock and soils derived from this bedrock is dominated by minerals resistant to chemical weathering; small amounts of ions are released to the water. The concentrations of base cations (Ca, Mg, Na, K) and alkalinity (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) are therefore low.

Precipitation along the coast is dominated by seasalts which give high levels of chloride, sodium and magnesium in coastal lakes.

Sulphur and nitrogen from long-range transported air pollution ("acid rain") is deposited at the highest rates in southern and western Norway and decreases northwards. The eastern part of Finnmark in northern Norway is also affected by sulphur pollution from industry on the Kola peninsula in Russia. Acid rain acidifies lakes, and southern and western parts of Norway are regions with lakes with low pH (pH < 5.5) and negative ANC-values (Acid Neutralising Capacity).

Precipitation and runoff are particularly high along the western coast of Norway and decrease eastwards. High water flux dilutes surface waters, and areas with high precipitation have lakes with low concentrations of ions, while areas with low water fluxes have higher ion concentrations in the lakes. The geographical pattern of ion concentrations in lakes therefore generally reflects the precipitation pattern in Norway.

The soils and overburden in Norway are generally thin, with thicker deposits found in parts of eastern Norway, around Trondheims-

fjorden, and Finnmarksvidda. These areas in general have higher ion concentrations due to longer contact time between the percolating water and the mineral material in the catchment.

Mountainous areas and areas without forest is the dominating landscape type in Norway. Forested areas often have a higher content of organic carbon in lakes. The distribution of total phosphorous and nitrogen follows in general the same pattern as organic carbon. Concentrations of phosphorous in Norwegian lakes are in general very low, and the main part of Norwegian lakes are phosphorous limited.

Norwegian lakes in general have low ionic strength with low concentrations of base cations, alkalinity, sulphate, organic carbon, total nitrogen and phosphorous relative to lakes in the other northern European countries. The median value for concentrations of base cations and alkalinity is 2-3 times higher and for total organic carbon 3-4 times higher in lakes in other Northern European countries compared to Norway. These differences are due thinner soils, colder climate, absence of forests, and higher precipitation in Norway relative to the other countries.

These differences causes less resistance to acid rain and thereby also much lower critical loads for acidity in Norwegian lakes, relative to lakes in the other northern European countries.

## Differences in water chemistry between lakes of different sizes

There are significant differences in water chemistry for lakes of different sizes. The small lakes have lower concentrations of base cations and bicarbonate, ions that come from the catchment and are influenced by factors such as bedrock geology and soil thickness. Small lakes have lower levels of ANC, pH and labile Al compared with large lakes. Critical loads for acidity, however, show very similar values for lakes of different size. Ions that are influenced by seasalt input, like Cl and Na,

have higher concentrations in small lakes relative to big lakes. Sulphate shows small differences between small and big lakes. Ions that are influenced by biological processes in the catchment like organic carbon, total nitrogen and phosphorous show very similar levels in lakes of different sizes. However, high concentrations, especially of organic carbon, are mainly found in the small lakes.

### **Trends in water chemistry from 1986 to 1995**

Comparison of water chemistry from 485 lakes which were sampled in 1986 and 1995 show that there has been a significant decrease in sulphate in all parts of the country during this period. The decline has caused an improvement in water quality; ANC and pH have increased, and labile Al has decreased. The decline in sulphate is compensated by a small decrease in base cations combined with a decrease in  $H^+$  and  $Al^{3+}$  for lakes with  $ANC < 0$ , and an increase in  $HCO_3^-$  for lakes with

$ANC > 0$ . The changes are strongest in the most acidified parts of Norway.

### **Acidification status**

Due to the type of water chemistry in Norway, the critical loads for acidification are generally very low. Lakes with exceedance of critical loads are found especially in southern and western Norway. In 2010, when the full effect of the sulphur protocol from 1994 is expected, there will be a large decrease in the number of lakes with critical loads exceedance. The greatest reductions will be in the eastern parts of the country, while lakes in southern and especially western Norway will still exhibit exceedance. This is because the exceedances in these areas today are relatively large, so greater reductions in sulphur deposition are required to move these lakes to the non-exceedance category. In eastern parts of Norway, the exceedances are much smaller, and consequently smaller reductions in sulphur deposition are required to move the lakes to the non-exceedance category.

# 1. Innledning

## 1.1 Tidligere regionale undersøkelser.

Sur nedbør er sett på som et av Norges største miljøproblemer. Mange tusen tidligere gode fiskevann og elver er idag forsuret og tomme for fisk som en følge av nedfall av svovel og nitrogen. Forsuringsskader ble registrert allerede i begynnelsen av dette århundre i elver og innsjøer på Sørlandet, men den regionale utbredelsen av problemet ble først tatt opp i SNSF-prosjektet (Overrein et al. 1981). Den første omfattende regionale innsjøundersøkelsen ble utført høsten 1974 (Wright et al. 1977) der 155 innsjøer ble plukket ut statistisk sør for 63° breddegrad. Samme høst og høsten etter samlet konsulent E. Snekvik fra det daværende Direktorat for vilt og ferskvannsfiske (DVF) inn prøver fra 713 innsjøer på Sørlandet (Wright og Snekvik, 1978). Fiskestatus for 600 av disse sjøene ble samlet inn ved å spørre lokalbefolkningen og ved gjennomgang av skriftlige kilder. SNSF-prosjektet utvidet sine undersøkelser vinteren 1975 til å omfatte hele Norge med den samme utvalgsmetoden som ble brukt høsten før (Wright et al. 1977). Et mindre antall innsjøer i Sør-Norge ble fulgt opp i 1977, 1978 og 1981 (Henriksen, 1979, SFT 1982). I 1986 ble den til da mest omfattende regionale innsjøundersøkelsen i Norge gjennomført. Det ble

samlet inn prøver fra 1005 innsjøer etter høstsirkulasjonen. Innsjøene ble ikke plukket ut statistisk, men valgt i områder med en geologi som erfaringsmessig ga avrenningsvann med lav bufferkapasitet, slik som granitter, gneisser og migmatitter. 305 av disse sjøene var også prøvetatt høstene 1974 og 1975 (se tabell 1.1). Parallelt med de vannkjemiske undersøkelsene ble det samlet inn opplysninger om fiskestatus og endringer i fiskebestandene fra de samme innsjøene. Dette datasettet ga grunnlag for en mer omfattende beskrivelse av sammenhenger mellom forsuret vann og fiskekader, samt utgangspunktet for beregning av tålegrenser for sure tilførsler for hele Norge. "1000-sjøers undersøkelsen" i 1986 er fulgt opp med årlig prøvetaking i ca. 100 av innsjøene (SFT, 1996).

I 1988 ble 355 innsjøer over hele landet (inkl. 5 på Svalbard) prøvetatt 4 ganger hver i perioden mai til september. Denne "Landsomfattende trofiundersøkelsen av norske innsjøer" (Faafeng et al. 1990a) la hovedvekt på å beskrive plantenæringsstoffene fosfor og nitrogen, samt planteplankton og dyreplankton. Undersøkelsen er fulgt opp med årlig prøvetaking i ca. 50 av innsjøene (Faafeng et al. 1990b).

**Tabell 1.1 Regionale innsjøundersøkelser i Norge**

Tidspunkt	Antall innsjøer	Omfang	Referanse
Oktober 1974	155	Sør for 63° breddegrad	Wright et al., 1977 Wright og Henriksen, 1978
Mars 1975	153	Hele Norge	Wright et al., 1977
Høsten 1974 og høsten 1975	719	Sørlandet	Wright og Snekvik, 1978
Mars 1977	38	Sør-Norge	Henriksen, 1979
Mars 1978	49	Sør-Norge	Henriksen 1979
Mars 1981	49	Sør-Norge	SFT 1982
Høsten 1986 (1000-sjøers undersøkelsen)	1005	Hele Norge	Henriksen et al., 1988
1988 (4 g.)	355	Hele Norge	Faafeng et al., 1990a
Høsten 1995	1500	Hele Norge	Skjelkvåle et al., 1997,

## 1.2 Nordisk samarbeid - Nordic Lake Survey 1995

De norske erfaringer med regionale undersøkelser førte til at tilsvarende undersøkelser ble gjennomført i andre land. I sammenheng med et stort forsurningsprosjekt i USA ble det utført regionale innsjøundersøkelser i store deler av landet. I Sverige og Finland ble det også i de etterfølgende år gjennomført landsomfattende innsjøundersøkelser (se Henriksen et al. 1996 for oversikt over regionale undersøkelser i Sverige og Finland).

Innsjøundersøkelsene i de tre nordiske land dannet grunnlaget for et omfattende samarbeid for å utvikle metoder for å beregne tålegrenser for forsuring og å kartlegge overskridelser av tålegrenser i innsjøer. Disse prosjektene er blitt gjennomført gjennom nordiske samarbeidsprosjekter med støtte av Nordisk Ministerråd (NMR).

Ett av mange resultater fra dette samarbeidet var at de nordiske landene ble enige om å gjennomføre en koordinert innsjøundersøkelse basert på statistisk likt utvalg av innsjøer større enn 0,04 km<sup>2</sup> i 1995. Gjennom et NMR-prosjekt ble metoder for valg av innsjøer, prøvetaking, og analyser for regionale innsjøundersøkelse i Norge, Sverige og Finland, samordnet. Prosjektet har etterhvert blitt utvidet til å innbefatte Russisk Kola, Russisk Karelen, Danmark, Wales og Skottland (Henriksen et al., 1996, 1997). Målsetningen med det Nordiske prosjektet er å gi en status for innsjøer i Norden, både for en vannkjemisk beskrivelse, men også for bruk i med det videre tålegrensearbeidet.

Dette samarbeidsprosjektet er unikt i sitt slag, da det er første gang det har vært mulig å samle vannkjemiske data fra store deler av Nord-Europa på en slik måte at det er mulig med en felles bearbeiding av dataene.

## 1.3 Hovedmålsetningene for "Regional innsjøundersøkelse 1995"

Hovedmålene med den regionale innsjøundersøkelsen i 1995 er å beskrive status for norske innsjøer med hensyn på:

- generell vannkjemisk
- utbredelse og grad av forsuring
- utbredelse og grad av eutrofiering

Andre viktige mål er å se på:

- utviklingen i vannkjemisk de siste 10 årene
- forskjeller i vannkjemisk for store og små innsjøer

Resultatene fra undersøkelsen skal videre brukes til å:

- etablere et referansenivå for vannkjemisk for å følge opp fremtidige effekter av den nye svovelprotokollen som ble signert i Oslo i Juni 1994 (UN/ECE, 1994)
- skaffe vannkjemiske data for bruk i forbindelse med utarbeidelse av en ny nitrogenprotokoll

Gjennom "Nordic Lake Survey 1995" vil dessuten resultatene fra den norske regionale innsjøundersøkelsen bearbeides sammen med resultater fra innsjøundersøkelsene fra de andre landene i Nord-Europa (Henriksen et al. 1996, 1997).

## 2. Størrelsesfordeling av innsjøer i Norge

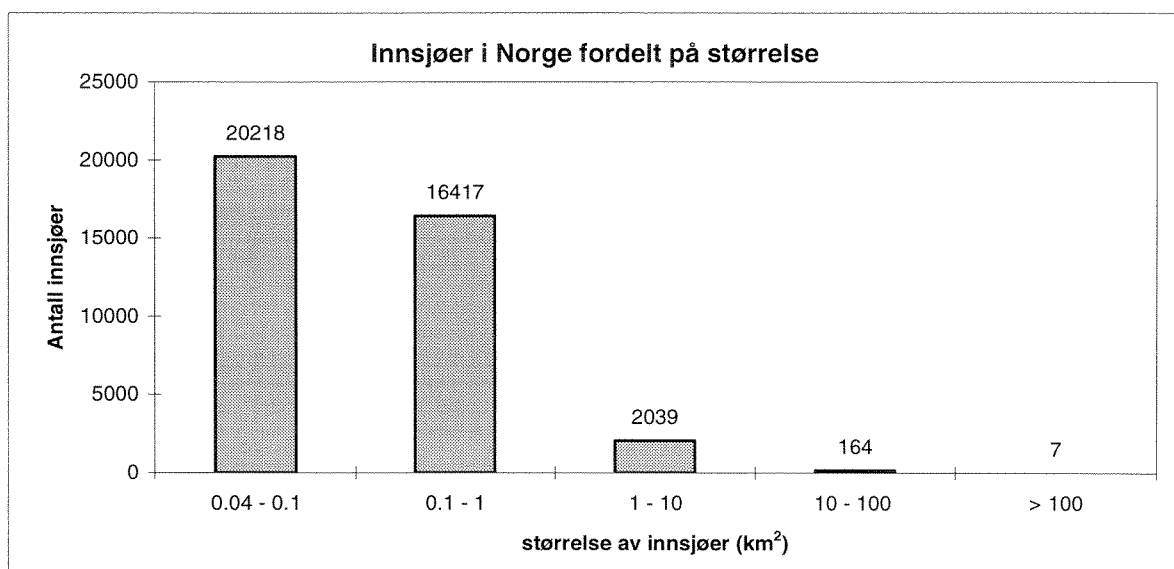
I Norge er det 38.857 registrerte innsjøer større enn 0.04 km<sup>2</sup> og innsjøer større enn 0.01 km<sup>2</sup> er anslått til ca. 134.000. Innsjøer utgjør 5.15% av Norges areal. Det er flest innsjøer med lite overflateareal (< 1 km<sup>2</sup>), mens innsjøer mellom 1-10 km<sup>2</sup> utgjør størst vannareal.

For å komme fram til et representativt utvalg av innsjøer har vi sett på hvordan innsjøene i Norge fordeler seg m.h.p. størrelse og geografisk fordeling. NVE's innsjødatabase inneholder alle innsjøer i Norge som er større enn 0.04 km<sup>2</sup>, og denne databasen er brukt som utgangspunkt både i dette arbeidet.

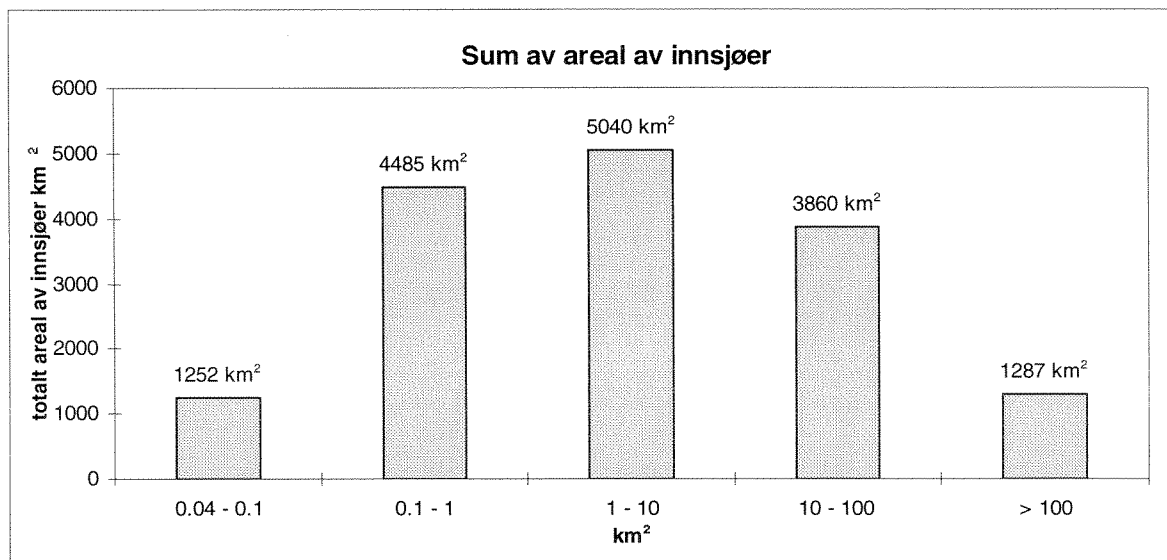
I NVE's innsjødatabase er det 38.857 innsjøer som er større enn 0.04 km<sup>2</sup>. Vi har gjort et anslag av hvor mange innsjøer som finnes i Norge i størrelsen 0.01 km<sup>2</sup> - 0.04 km<sup>2</sup> ved å telle opp innsjøer fra et utvalg av 1:50 000 kart. Fordelt over hele fastlands Norge fant vi at det måtte være ca. 96.000. Det betyr at det

er ca. 134.000 innsjøer i Norge som er større enn 0.01 km<sup>2</sup>.

For å se på størrelsesfordeling av innsjøene har vi delt de i 5 størrelsesklasser; 0.04-0.1, 0.1-1, 1-10, 10-100 og > 100 km<sup>2</sup>. Antall innsjøer og det totale arealet av innsjøene i hver av de 5 størrelsesklassene er presentert i figur 2.1 og 2.2. Figurene viser klart at det er størst antall av de små innsjøene, mens de ca. 2000 innsjøene mellom 1-10 km<sup>2</sup> utgjør størst areal. De drøyt 20.000 innsjøene fra 0.04 - 0.1 km<sup>2</sup> utgjør omtrent like stort areal som de 7 innsjøene over 100 km<sup>2</sup>.



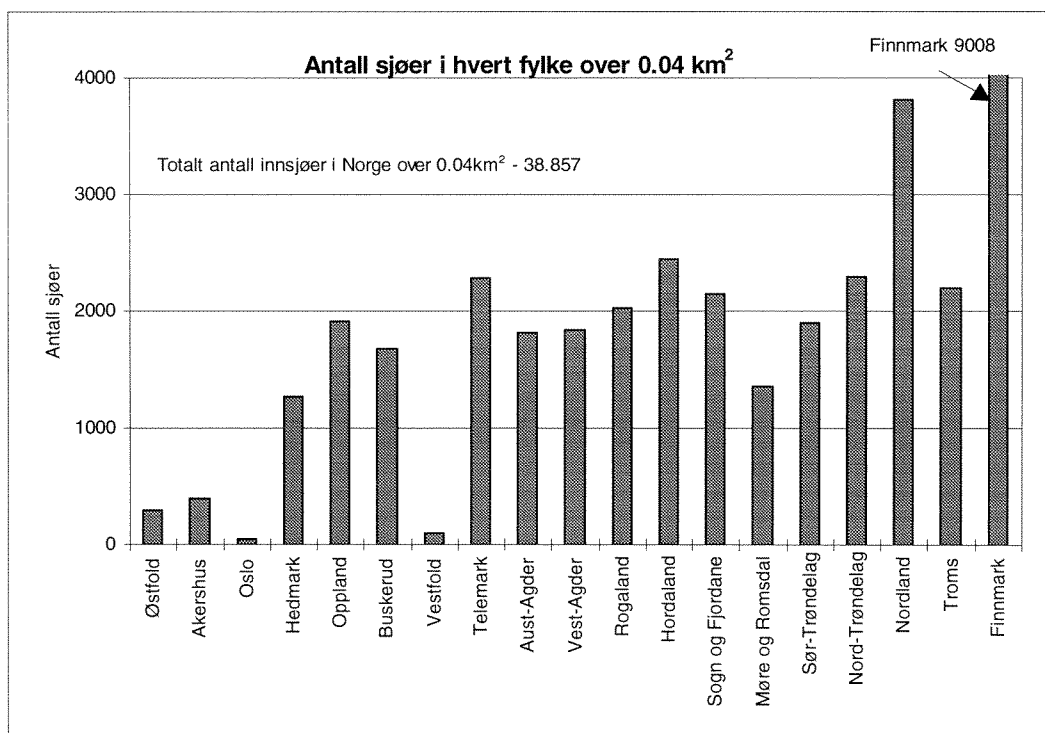
Figur 2.1 Antall innsjøer i Norge fordelt på størrelse.



Figur 2.2 Totalt areal av innsjøer i de forskjellige størrelsesklassene.

Det totale antall innsjøer i hvert fylket i Norge varierer avhengig av størrelsen på fylket (figur 2.3). I denne sammenhengen er Finnmark det

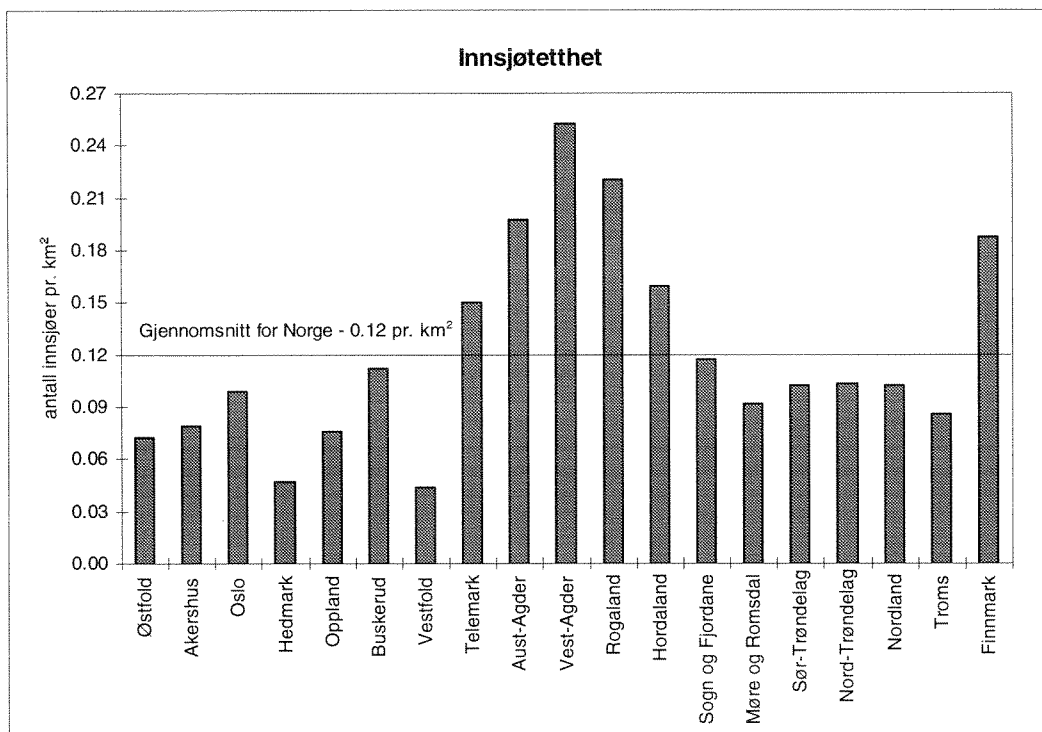
tallmessig mest innsjørike fylke med 9008 innsjøer.



Figur 2.3 Totalt antall innsjøer i hvert fylke.

Hvis vi derimot ser på antall innsjøer pr. areal (tetthet av innsjøer) (figur 2.4) ser vi at Vest-Agder skiller seg ut med en innsjøtetthet på 0.25 innsjøer pr. km<sup>2</sup>. Finnmark kommer i denne sammenhengen på en 4. plass etter

Aust-Agder og Rogaland. Den gjennomsnittlige tettheten for Norge er 0.12 innsjøer pr km<sup>2</sup>, d.v.s. én innsjø pr. ca. 18 km<sup>2</sup>.

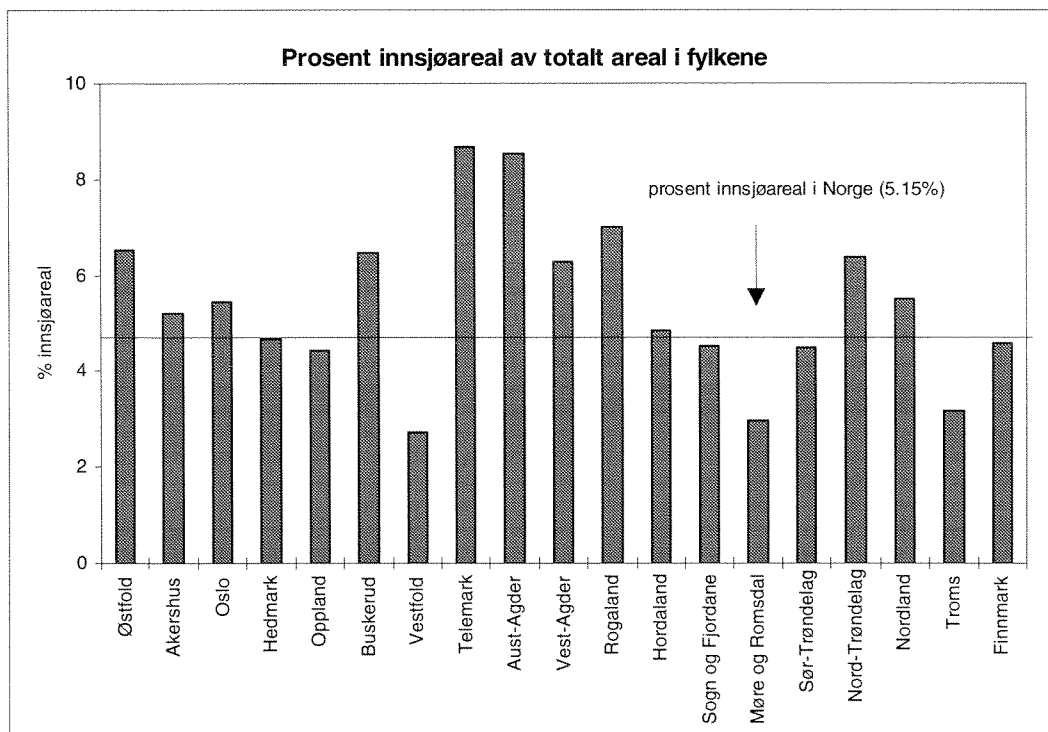


Figur 2.4 Innsjøtetthet (antall innsjøer pr. areal) fordelt på fylker.

Hvis vi ser på hvor stort prosentvis areal innsjøene utgjør av det totale arealet i fylket (figur 2.5), ser vi at Telemark er det mest vannrike fylket med 8.7% av arealet dekket av innsjøer og deretter Aust-Agder med 8.5%.

For landet totalt utgjør innsjøer 5.15% av arealet. Årsaken til at Telemark har størst vannareal på tross av at det ikke har størst innsjøtetthet viser at Telemark har en større andel av store innsjøer enn andre fylker.





Figur 2.5 Prosent innsjøareal av totalt areal fordelt på fylke.

### 3. Valg av innsjøer

*I undersøkelsen er det to utvalg av innsjøer; ett sett med statistisk valgte innsjøer (ca. 1000) og ett sett med innsjøer som er prøvetatt tidligere (ca. 500) ("1000-sjøers undersøkelsen 1986"). Det statistiske utvalget av innsjøer er samtidig en del av "Nordic Lake Survey 1995", et nordisk samarbeidsprosjekt, som har samlet vannkjemiske data fra hele Nord-Europa på en slik måte at det er mulig med en fellesbearbeiding av dataene. Et statistisk utvalg av innsjøer gir et representativt bilde av vannkjemien i norske innsjøer og kan samtidig gi informasjon om forskjeller og likheter mellom innsjøer av forskjellig størrelse og i forskjellige regioner av landet. De "gamle 1000-sjøene" er brukt til å se på den regionale utviklingen i vannkjemie de siste 10 årene.*

#### 3.1 Statistisk valgte innsjøer

I motsetning til "1000-sjøers undersøkelsen" i 1986 (Henriksen et al. 1988), hvor sjøene ble plukket ut bl.a på grunnlag av berggrunnsgeologi for å se på spesielt forsurningsfølsomme innsjøer, ønsket vi i "Regional innsjøundersøkelse 1995" å ha et utvalg av innsjøer som kunne gi opplysninger om vannkjemie i forskjellige typer populasjoner av innsjøer, slik som innsjøer av forskjellige størrelser og innsjøer i forskjellige regioner i Norge. For å få til dette trengte vi et statistisk utvalg av innsjøer.

Før vi valgte ut innsjøene bestemte vi oss for en fordeling av innsjøene som tok hensyn til størrelse og geografi. Størrelse, fordi vi ønsket å kunne vurdere likheter og forskjeller i vannkjemie fra innsjøer med forskjellige størrelser, og geografi, fordi vi ønsket å legge større vekt på innsjøer i Sør-Norge fordi forurensningsproblemet er størst i denne delen av landet.

Innsjøene ble delt opp i 5 størrelsesklasser (tabell 3.1). Basert på den størrelsesmessige fordelingen av innsjøene som beskrevet i kap. 2, valgte vi en 1:1:4:8 fordeling for klasse 1:2:3:4. D.v.s. vi valgte ut samme prosentandel innsjøer i klasse 1 og 2, 4 ganger så høy andel av innsjøer i klasse 3 og 8 ganger så høy andel i klasse 4. I klasse 5 er det totalt bare 7 innsjøer, og alle disse ble tatt med. Videre valgte vi et 3:2:1 forhold mellom Sør-Norge, Midt-Norge og Nord-Norge. D.v.s. at det ble valgt ut dobbelt så høy andel av innsjøer i Midt-Norge som i Nord-Norge og 3 ganger så høy andel i Sør-Norge som i Nord-Norge. Videre ble det bestemt at det skulle velges ut minimum 1% av innsjøene i hver klasse/region (populasjon).

Fordelingsnøkkelen er gitt i tabell 3.2.

**Tabell 3.1 Intervaller for inndeling av størrelsesklasser**

klasse	km <sup>2</sup>
1	0.04-0.01
2	0.1-1
3	1-10
4	10-100
5	>100

**Tabell 3.2 Plan for prosentvis utvalg av innsjøer i størrelsesklasser og regioner for de statistisk utvalgte innsjøene i "Regional innsjøundersøkelse 1995".**

		Sør-Norge	Midt-Norge	Nord-Norge
		Fylke 1-14	Fylke 15-17	Fylke 18-20
klasse 1	0.04-0.1 km <sup>2</sup>	3%	2%	1%
klasse 2	0.1-1 km <sup>2</sup>	3%	2%	1%
klasse 3	1-10 km <sup>2</sup>	12%	8%	4%
klasse 4	10-100 km <sup>2</sup>	24%	16%	8%
klasse 5	> 100 km <sup>2</sup>	Alle	Alle	Alle

Innsjøene ble valgt ut fra NVE's innsjødatabase som inneholder alle innsjøer i Norge over 0.04 km<sup>2</sup>. For hvert enkelt fylke ble det gjort et prosentvis utvalg som angitt i tabell 3.2. På denne måten sikret vi en jevnere arealmessig fordeling av utvalgte innsjøer, enn om vi hadde gjort et utvalg av f.eks. hele Sør-Norge på en gang. Da kunne vi ha risikert å få stor tetthet av utvalgte innsjøer i enkelte områder, og liten tetthet av utvalgte innsjøer i andre områder. Innen det enkelte fylket gjorde vi ingenting for å påvirke utvalget slik at i f.eks. Sør-Trøndelag er det få utvalgte innsjøer i den østre delen av fylket, mens det er mange i den vestre delen. En diskusjon om forskjellige typer tilfeldige utvalg av innsjøer fra NVE's innsjødatabase og konsekvenser av disse er gjort av Faafeng (1995).

Selve utvelgelsen av innsjøen fra databasen ble gjort med en "random"-funksjon, d.v.s. at vi laget et lite dataprogram som valgte et angitt antall tilfeldige innsjøer fra databasen innen hvert fylke.

Alle de utvalgte innsjøene ble funnet fram på kart og enkelte ble byttet ut hvis de var:

- kalket
- regulert mer enn 5 m
- maksimumsdybden var mindre enn 1 m
- innsjøen var en utvidelse av en elv
- innsjøen lå uforholdsmessig langt ned i nedbørfeltet slik at forholdet:  
areal av nedbørfelt : areal av innsjø > 100:1
- ikke naturlige innsjøer

Fordi enkelte av de utvalgte innsjøene ville bli forkastet, valgte vi det dobbelte antallet av hva vi trengte i hver klasse og region. Når en innsjø ble forkastet ble den erstattet med den første innsjøen på reservelista. Et unntak fra dette var kalkede innsjøer. Der vi måtte forkaste en innsjø på grunn av kalking, valgte vi en ny innsjø i samme område. Årsaken til dette var at vi ellers ville fått en underrepresentasjon av innsjøer i forsurede områder med mye kalking.

Da vi hadde gjort vårt endelige utvalg, ble listene sendt til miljøvernmyndighetene hos fylkesmennene til høring. I denne runden ble flere innsjøer forkastet av forskjellige årsaker, som f.eks. lokale punktutslipp, lokale kalkingsprosjekt som vi tidligere ikke hadde kjennskap til o.l.

Det endelige utvalget av innsjøer i hvert fylke og hver landsdel og størrelsesklasse er vist i tabell 3.3. Spesielt for de store innsjøene (klasse 4) ble det noe avvik mellom den ønskede fordelingen og fordelingen vi endte opp med tilslutt. Årsaken til dette er at det er relativt få innsjøer i denne klassen, slik at en innsjø fra eller til gjør stort utslag på prosenten. I tillegg er det vanskelig å finne egnede innsjøer i denne størrelsesklassen fordi mange av de store innsjøene er påvirket av reguleringer eller andre inngrep, siden de ofte ligger langt nede i vassdragene.

Den utvalgsmetodikken som er brukt i denne undersøkelsen er utarbeidet i det nordiske samarbeidsprosjekt - Nordic Lake Survey 1995 (Henriksen et al. 1996) (se kap 1.1).

**Tabell 3.3** Totalt antall innsjøer i Norge fordelt på fylker og størrelsesklasser, samt antall utvalgte innsjøer i hver kategori og prosentandel av totalt antall innsjøer i kategorien.

Størrelsesklasse Areal (km <sup>2</sup> )	1 0.04-0.1		2 0.1-1		3 1 til 10		4 10-100		5 > 100	
	Totalt antall innsjøer	Prosent utvalgt	Totalt antall innsjøer	Prosent utvalgt	Totalt antall innsjøer	Prosent utvalgt	Totalt antall innsjøer	Prosent utvalgt	Totalt antall innsjøer	Prosent utvalgt
Østfold	134	3.0	130	3.1	25	12.0	7	28.6		
Akershus	189	3.2	183	3.3	16	12.5	4	25.0		
Oslo	15	6.7	24	4.2	7	14.3	0			
Hedmark	648	3.1	523	3.1	93	11.8	10	20.0	2	100
Oppland	875	3.0	882	2.9	142	12.0	15	26.7	1	100
Buskerud	868	3.1	698	2.9	90	11.1	17	23.5	1	100
Vestfold	51	5.9	32	3.1	12	8.3	1			
<b>Østlandet</b>	<b>2780</b>	<b>3.1</b>	<b>2472</b>	<b>3.0</b>	<b>385</b>	<b>11.7</b>	<b>54</b>	<b>24.1</b>	<b>4</b>	<b>100</b>
Telemark	1166	2.7	969	3.1	130	10.8	21	23.8		
Aust-Agder	910	3.0	802	3.0	92	12.0	9	22.2		
Vest-Agder	1006	3.1	768	2.9	68	13.2	2	0.0		
<b>Sørlandet</b>	<b>3082</b>	<b>2.9</b>	<b>2539</b>	<b>3.0</b>	<b>290</b>	<b>11.7</b>	<b>32</b>	<b>21.9</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
Rogaland	1047	3.1	871	3.1	97	12.4	4	25.0		
Hordaland	1258	2.7	1069	3.1	119	10.9	2	0.0		
Sogn og Fjordane	1064	3.0	963	2.9	118	11.9	8	25.0		
<b>Vestlandet</b>	<b>3369</b>	<b>2.9</b>	<b>2903</b>	<b>3.0</b>	<b>334</b>	<b>11.7</b>	<b>14</b>	<b>21.4</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
Møre og Romsdal	585	2.1	708	2.3	68	8.8	3	0.0		
Sør-Trøndelag	1022	2.1	764	2.1	106	8.5	9	11.1		
Nord-Trøndelag	1230	2.0	901	2.2	150	8.7	14	14.3	2	100
<b>Midt-Norge</b>	<b>2837</b>	<b>2.0</b>	<b>2373</b>	<b>2.2</b>	<b>324</b>	<b>8.6</b>	<b>26</b>	<b>11.5</b>	<b>2</b>	<b>2</b>
Nordland	1830	1.2	1645	1.2	319	4.4	21	9.5	1	100
Troms	1117	1.2	975	1.1	101	5.0	8	12.5		
Finnmark	5203	1.2	3510	1.2	286	4.5	9	11.1		
<b>Nord-Norge</b>	<b>8150</b>	<b>1.2</b>	<b>6130</b>	<b>1.2</b>	<b>706</b>	<b>4.5</b>	<b>38</b>	<b>10.5</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
<b>Sum</b>	<b>20218</b>	<b>2.1</b>	<b>16417</b>	<b>2.2</b>	<b>2039</b>	<b>8.7</b>	<b>164</b>	<b>30</b>	<b>7</b>	<b>7</b>

### 3.1.1 "Vekting" av stratifiserte data

Når vi velger ut forskjellig prosentandel av innsjøer i de forskjellige innsjøpopulasjonene (klassene og landsdelene), får vi en *stratifisering* av dataene. Vi har da ikke lenger et rent statistisk utvalg av innsjøer, fordi vi har gjort større utvalg av enkelte innsjøtyper og i enkelte regioner. Vi har f.eks. valgt ut 24% av alle store innsjøer i Sør-Norge, men bare 1% av alle små innsjøer i Nord-Norge. Ved omregning av resultatene for å bruke de i statistiske analyser bli hver innsjø gitt en vekt som er omvendt proporsjonal med utvalgsprosenten. Vekten for hver populasjon ble beregnet ved:

$$w_j = \frac{p_{\min}}{p_i} \quad (3.1)$$

hvor

$p_{\min}$  er utvalgsprosenten for populasjonen med det laveste utvalget, og

$p_i$  er utvalgsprosenten for den gitte populasjonen.

Alle dataene er vektet før de er brukt i statistiske analyser.

### 3.2 "Gamle 1000-sjøer"

I tillegg til de ca. 1000 statistisk valgte sjøene, ble også 485 innsjøer som tidligere var med i "1000-sjøers undersøkelsen" (Henriksen et al., 1988) i 1986 prøvetatt på nytt. Av de ca. 1000 sjøene som ble prøvetatt i 1986 er det ca. 500 som ikke ble prøvetatt på nytt i 1995. Årsaken til dette er at det har blitt kalket, eller har skjedd andre inngrep i løpet av perioden fra 1986 til 1995 som gjør at det ikke lenger er interessant å bruke innsjøene for å se på endringer i vannkjemi i relasjon til endringer i sur nedbør.

Innsjøene fra "1000-sjøers undersøkelsen" ble som tidligere nevnt valgt ut på en annen måte enn de statistiske valgte innsjøene i 1995 undersøkelsen. I "1000-sjøers undersøkelsen" ble det lagt vekt på å velge ut innsjøer i spesielt forsurningsfølsomme områder og områder med forsurningsproblemer, slik som Sørlandet og Øst-Finnmark. Størrelsen på innsjøene var hovedsakelig fra 0.1-2 km<sup>2</sup>. En oversikt over antall innsjøer som er prøvetatt i 1986 og 1995 fordelt på region og størrelser vist i tabell 3.4.

Disse 485 innsjøene med data fra 1986 og 1995 er i denne rapporten brukt til å se på den regionale utviklingen i vannkjemi i denne perioden.

**Tabell 3.4** Antall innsjøer i størrelsesklasser og regioner av "gamle" innsjøer fra "1000-sjøers undersøkelsen" i 1986 (Henriksen et. al 1988) som ble prøvetatt på nytt i 1995.

Klasse	1	2	3	4	
Areal	0.04-0.1km <sup>2</sup>	0.1-1 km <sup>2</sup>	1-10 km <sup>2</sup>	10-100 km <sup>2</sup>	Totalt
Østlandet	4	44	17	0	65
Sørlandet	1	141	47	0	189
Vestlandet	0	74	20	0	94
Midt-Norge	0	43	18	0	61
Nord-Norge	0	46	30	0	76
SUM	5	348	132	0	485

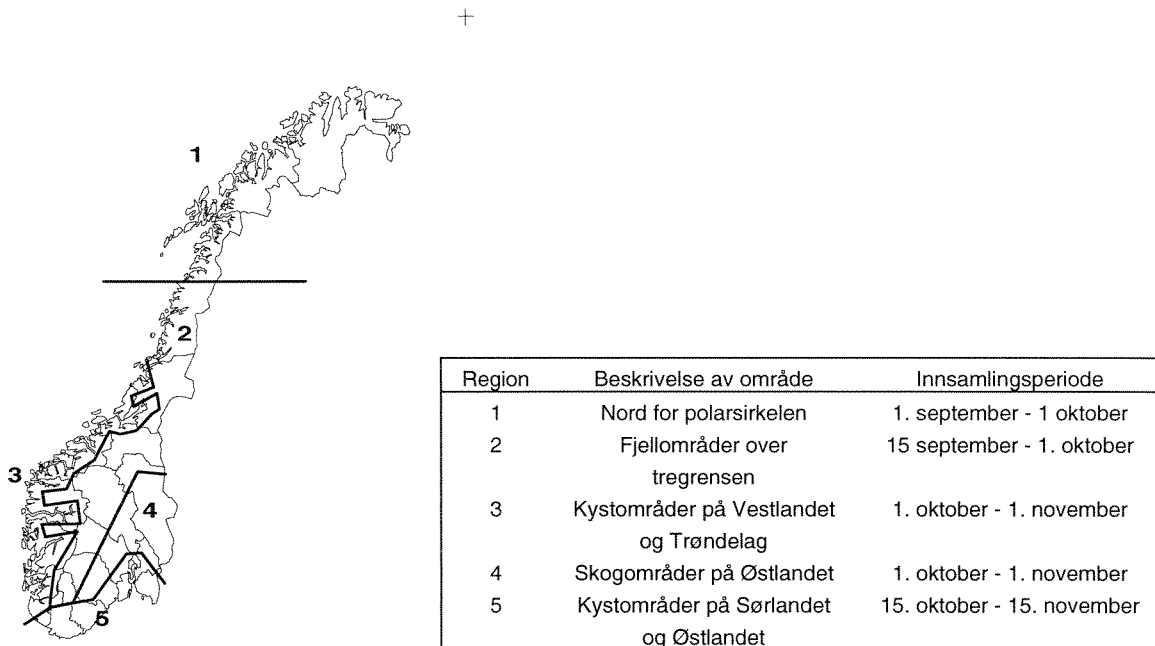
## 4. Innsamling og analyser

Prøveinnsamlingen ble gjennomført etter høstsirkulasjonen 1995. De fleste prøvene ble samlet inn med helikopter. Vannprøver ble analysert for pH, kalsium, magnesium, natrium, kalium, aluminium, klorid, sulfat, nitrat, ammonium, total-nitrogen, total-fosfor, total organisk karbon, silisium og fluorid. Alle analysene ble utført på NIVA's kjemiske analyselaboratorium etter akkrediterte metoder.

### 4.1 Innsamling

Vannprøvene ble tatt etter høstsirkulasjonen i 1995. Etter høstsirkulasjonen er vannmassene godt blandet, slik at hele innsjøen har en mest mulig homogen vannkjemi. Prøver tatt fra samme innsjøer og forskjellige år under slike betingelser er det mulig å sammenligne. Dette er bl.a vist i den årlige "100-sjøers" undersøkelsen som har pågått hvert år siden 1987 (SFT, 1996). Til tross for store variasjoner i årlige nedbørmønster og nedbørmengder viser dataene fra de årlige prøvetakingene god overensstemmelse med tidligere prøver i samme innsjø.

Sirkulasjonen skjer når temperaturen i overflatevannet synker til under 6°C, men kan også skje før, hvis det er mye vind eller hvis vannet er grunt. Vi satte opp en tentativ prøvetakingsplan for Norge som er vist i figur. 4.1. Alle vannprøvene ble samlet inn i perioden 15. september til 1. desember 1995. Bare et mindre antall prøver ble hentet til fots (ca 2%), mens de resterende ble tatt fra helikopter.



Figur 4.1 Plan for innsamling av representative prøver for "Regional innsjøundersøkelse 1995".

I Nordland, Troms og Finnmark ble prøvene samlet inn med helikopter i samarbeid med Statskog, som sto for den praktiske delen av jobben.

Prøveinnsamling i Norge sør for Nordland ble foretatt med personale fra NIVA. To helikopter ble brukt i dette arbeidet. Et Bell Long-Ranger helikopter fra Heli-Lift A/S ble brukt til ca. 800 innsjøer, og et Hughes 300 fra Fjellfly A/S ble brukt til ca. 300 innsjøer. Helikopteret fra Heli-Lift hadde pontonger og kunne lande på innsjøene slik at vannprøven ble tatt med vannhenter ut fra helikoptret. Helikoptret fra Fjellfly landet på land nær utløpet av innsjøen slik at prøvetakeren gikk ut av helikoptret og tok vannprøven rett på flasken i utløpsosen av innsjøen. Fordelen med å bruke et helikopter med pontonger, er at det også kan brukes effektivt i skogklede områder. Et helikopter som skal lande på land er avhengig av åpent rom for å kunne lande, og det vil derfor ikke være særlig egnet i annet enn i åpent fjellterreng.

Det var på forhånd innhentet landingstillatelse for helikopter fra de respektive kommunene eller fra nasjonalparkforvaltningen der innsjøen lå i en nasjonalpark.

For enkelte innsjøer ble prøvene tatt til fots av personale fra NIVA eller lokale prøvetakere i samarbeid med kommuner eller nasjonalparkforvaltning.

I vurderingen om hvordan vi skulle samle inn prøvene kom vi fram til at det mest kostnadseffektive i en slik stor undersøkelse var å bruke helikopter mest mulig. Prøvetaking fra helikopter med vannhenter er uten tvil den mest effektive prøveinnsamlingsmetoden. Avhengig av avstanden mellom innsjøene ble det samlet opptil 100 prøver pr. dag på denne måten. Når helikopteret landet på land og prøvetakeren gikk ut av helikopteret var ca. 50 prøver det meste man kunne greie på en dag. Prøvetaking til fots er det mest tidkrevende, og avhengig av avstand fra vei er 1-5 prøver det meste man kan greie på en dag.

Det ble tatt vannprøver i tre forskjellige flasker; én for hovedelementkjemi (se tabell 4.1), én for fosfor og én for sporelementer og tungmetaller. I tillegg ble temperatur ved prøvetakingstidspunktet registrert.

(Sporelementer og tungmetaller vil ikke bli rapportert i denne rapporten, de er delvis rapportert i Skjelkvåle et al. (1996) og vil bli mer utførlig rapportert senere i 1997).

Alle prøveflasker var merket på forhånd, og det var utarbeidet en prøvetakingsinstruks for å sikre en mest mulig lik måte å ta prøvene på. Vannprøvene ble tatt i utløpsosen fra innsjøen, eller så nær utløpsosen som mulig (helikopter med vannhenter). På slutten av hver arbeidsdag ble alle prøveflasker sendt tilbake til NIVA med flyfrakt, eller med post. De fleste prøvene ankom NIVA dagen etter prøvetaking.

## 4.2 Analyser

Alle analysene ble utført på NIVA etter akkrediterte metoder (EN-4500 / P-009).

Variabler og analysemetoder er presentert i tabell 4.1. Ammonium ble bare analysert i innsjøer som var tydelig landbrukspåvirkede,

eller svært turbide (mye partikler i vannet). fordi ammoniumnivåene i upåvirkede innsjøer stort sett er så lave at de ligger under deteksjonsgrensen for analysemetoden. Det ble derfor bare analysert for ammonium i 185 innsjøer.

**Tabell 4.1 Kjemiske variable og analysemetode for innsjøer i den regionale innsjøundersøkelsen**

Kode	Variabelnavn	Enhet	Analysemetode
pH	pH		Potensiometri
Kond	Konduktivitet	mS/m 25°C	Elektrometri
Ca	Kalsium	mg/l	ICP - (Induktivt koblet plasma - atomemisjon)
Mg	Magnesium	mg/l	"
Na	Natrium	mg/l	"
K	Kalium	mg/l	"
Cl	Klorid	mg/l	Ionekromatografi
SO <sub>4</sub>	Sulfat	mg/l	"
NO <sub>3</sub>	Nitrat	µg N/l	Automatisert kolorimetri
Alk	Alkalitet	mmol/l	Potensiometrisk titrering til pH = 4.5
F	Fluorid	µg/l	Ionekromatografi
TOC	Total Organisk Karbon	mg C/l	Oksidasjon til CO <sub>2</sub> og måling med IR-detektor
RAI	Reaktiv Aluminium	µg/l	Automatisert kolorimetri
IIAI	Ikke Labil Aluminium	µg/l	"
LAI	Labil Aluminium	µg/l	"
Tot-N	Total Nitrogen	µg N/l	Fotometri (AA)
Tot-P	Total Fosfor	µg P/l	"
NH <sub>4</sub>	Ammonium	µg N/l	"
SiO <sub>2</sub>	Silisium	mg/l	"



### 4.3 Beregnede verdier

I tillegg til de analyserte verdiene bruker vi også endel beregnede verdier i diskusjoner av resultatene. Dette er "sjøsalt-korrigerte" eller ikke-marine verdier og syrenøytraliserende kapasitet - ANC. Disse begrepene vil bli forklart her.

#### 4.3.1 Sjøsalt-"korrigerings"

Det er vanlig å anta at sjøsalter transporteres med nedbøren til nedbørfeltet i samme

mengdeforhold som de finnes i havvannet og at kilden til klorid i all hovedsak er sjøsalter. Videre antar man at klorid er "mobilt", og at det følger vannet gjennom nedbørfeltet slik at  $Cl_{inn} = Cl_{ut}$ . Ved å bruke forholdet mellom klorid og de andre ionene i sjøvann kan man derfor å beregne bidraget fra ikke-marine kilder i avrenningsvannet, d.v.s. forvitring og langtransporterte forurensninger. Det gjøres ved følgende ligninger:

$$[Ca^{2+}]^* = [Ca^{2+}] - 0.037 \cdot [Cl] \quad (4.1)$$

$$[Mg^{2+}]^* = [Mg^{2+}] - 0.196 \cdot [Cl] \quad (4.2)$$

$$[Na^+]^* = [Na^+] - 0.859 \cdot [Cl] \quad (4.3)$$

$$[K^+]^* = [K^+] - 0.018 \cdot [Cl] \quad (4.4)$$

$$[SO_4^{2-}]^* = [SO_4^{2-}] - 0.103 \cdot [Cl] \quad (4.5)$$

\* angir at det er en ikke-marin eller sjøsaltkorrigerert verdi

#### 4.3.2 Beregning av syrenøytraliserende kapasitet - ANC

ANC (Acid Neutralizing Capacity) eller den syrenøytraliserende kapasiteten uttrykker en

løsning evne til å motstå forsuring. ANC brukes i stor grad som et uttrykk for vannkvaliteten. ANC er definert ved (Reuss and Johnsson 1986):

$$ANC1 = ([Ca^{2+}] + [Mg^{2+}] + [Na^+] + [K^+] + [NH_4^+]) - ([Cl^-] + [SO_4^{2-}] + [NO_3^-]) \quad (4.6)$$

$$ANC1 = \Sigma[\text{basekationer}] - \Sigma[\text{sterke syres anioner}]$$

Ionebalansen i vann er gitt ved:

$$\Sigma [\text{ladningen av kationer}] (\mu\text{ekv/l}) = \Sigma [\text{ladning av anioner}] (\mu\text{ekv/l})$$

$$\Sigma [H^+] + [Al^{n+}] + [Ca^{2+}] + [Mg^{2+}] + [Na^+] + [K^+] + [NH_4^+] = \Sigma [Cl^-] + [SO_4^{2-}] + [NO_3^-] + [HCO_3^-] + [A^-] + [F^-] \quad (4.7)$$

der  $A^-$  er organiske anioner beregnet ved ligningen

$$A^- = 4.7 - 6.87 \cdot \exp(-0.322 \cdot \text{TOC}) \quad (4.8)$$

basert på empiriske data fra tidligere norske innsjøundersøkelser.

ved å sette sammen ligning 4.6 og 4.7 kan ANC også uttrykkes ved:

$$\text{ANC2} = [\text{HCO}_3^-] + [\text{A}^-] - [\text{H}^+] - [\text{Al}^{n+}] \quad (4.9)$$

I denne ligningen er både  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{A}^-$  og  $\text{Al}^{n+}$  beregnede verdier, og ikke direkte analyseverdier, slik som er tilfelle i ligning 4.6.

## 5. Vannkjemisk status for Norge 1995

Vannkjemien i norske innsjøer er bestemt av berggrunnsgeologi, nedbørkemi og hydrologi, jordsmonn og vegetasjon.

Berggrunnen i Norge består hovedsakelig av forvittringsresistente mineraler som avgir lite ioner til vann. Norske innsjøer har derfor generelt lavt innhold av basekationer (Ca, Mg, Na og K) og bikarbonat (alkalitet).

Nedbøren langs kysten er dominert av sjøsalter som gir høyt innhold av salter i innsjøer i kystnære områder. Svovel og nitrogen i nedbør fra langtransporterte forurensinger ("sur nedbør") har de høyeste avsetningene på Sørlandet og Vestlandet og avtar nordover, men også østlige deler av Finnmark er berørt av sur nedbør fra industri på Kolahalvøya i Russland. Sur nedbør kan forsure innsjøer, og Sørlandet og Vestlandet er de landsdelene hvor vi finner høyest andel av innsjøer med lave pH-verdier (< 5.5) og negative ANC-verdier (syrenøytralisernde kapasitet).

Nedbørmengde og avrenning er spesielt høye langs kysten av Vest-Norge og avtar østover. Områder med høy vanngjennomstrømning har innsjøer med lave ionekonsentrasjoner, mens områder med liten vanngjennomstrømning har høyere ionekonsentrasjoner i innsjøene. Det geografiske mønstret for konsentrasjoner av oppløste ioner i innsjøer reflekterer derfor i stor grad nedbørmønstret i Norge, med de laveste konsentrasjonene i de mest nedbørrike fjellstrøkene på Vestlandet.

Løsmasser og jordsmonn er generelt tynne i Norge, men de er tykkere i deler av Øst-Norge og rundt Trondheimsfjorden og Finnmarksvidda enn i resten av landet. Disse områdene har generelt høyere ionekonsentrasjoner p.g.a lengre oppholdtid mellom vannet og mineralmaterialet i nedbørfeltet.

Størstedelen av Norge består av fjell og hei, mens skog utgjør en mindre andel. Skogområder har ofte høyere innhold av organisk karbon i innsjøene p.g.a større tilførsler av organisk materiale fra nedbørfeltet. Fordelingen av fosfor og total-nitrogen følger i store trekk samme mønster som organisk karbon.

Det som særpreger vannkjemien i norske innsjøer i forhold til innsjøene i andre nord-europeiske land er at det er en langt større andel av de norske innsjøene som har lavt innhold av oppløste ioner ("tynn vannkvalitet"). Dette forholdet gjelder basekationer, bikarbonat, sulfat, organisk karbon, total nitrogen og fosfor. Medianverdien for konsentrasjonen av basekationer og alkalitet er 2-3 ganger høyere, og for total organisk karbon er den 3-4 ganger høyere for innsjøer i de andre nord-europeiske landene i forhold til innsjøer i Norge. Dette kommer av at det i Norge er mindre løsmasser og jordtykkelser og større nedbørmengder og avrenning enn de andre landene, samtidig med at andelen av skog og myr er mindre i Norge.

Fosforkonsentrasjonene i norske innsjøer er generelt svært lave (90% av innsjøene har < 9 µg P/l). Mindre enn 2% av innsjøene har et N:P > 12 som viser at norske innsjøer er i all hovedsak fosfor-begrenset.

## 5.1 Faktorer som er med på å bestemme vannkjemien i innsjøer

Den kjemiske sammensetningen av overflatevann er i hovedsak bestemt av bidrag fra ioner gjennom atmosfærisk deposisjon og bidrag av ioner fra forvitring og ionebytte i nedbørfeltet. I Norge er den atmosfæriske deposisjonen først og fremst influert av bidrag fra sjøsalter og langtransporterte forurensninger, mens andre bidrag som støv fra jord, skogbranner og vulkanutbrudd utgjør ubetydelige andeler.

Når nedbør renner gjennom et nedbørfelt vil det på sin vei til bekker, elver og innsjøer i kortere eller lengre tid passere gjennom fjell og løsavsetninger. Dette infiltrerende markvannet tar del i en rekke forskjellige prosesser i jordsmonnet som er med på å endre vannets kjemi slik at det etterhvert får en annen kjemisk sammensetning enn nedbøren. Slike prosesser er både biologiske (mikrobiologisk aktivitet i jorda, opptak til planter under vekst, og frigivelse fra plantene under nedbryting) og kjemiske (forvitring, ionebytte, adsorpsjon/desorpsjon, reduksjon/oksydasjon, utfelling/oppløsning). De biologiske prosessene fører ofte til en resirkulering eller fjerning (f.eks. ved hogst) av ionene, mens forvitring gir et netto bidrag til den kjemiske sammensetningen av vannet. Summen av bidrag fra ioner fra nedbør og forvitring sammen med alle prosessene som skjer i nedbørfeltet er med på å bestemme avrenningsvannets kjemiske sammensetning.

De forskjellige prosessene i jorda er relatert til karakteristiske forhold i nedbørfeltet som igjen har klare geografiske mønstre:

- geologi
- hydrologi
- nedbørkjemi
- jordtykkelse og type jordmonn
- vegetasjon - skog/ikke skog

### 5.1.1 Geologi

Berggrunnen i Norge består hovedsakelig av tre geologiske provinser; Prekambrium og Kaledon og en liten provins som kalles Oslofeltet (Sigmond et al. 1986). Prekambrium består hovedsakelig av granitter og forskjellige

typer gneisser. Kaledon består delvis av samme bergarter som prekambrium, men også en rekke forskjellige metamorfe bergarter av sedimentær og magmatisk opprinnelse, slik som gabbro og grønnstein. Oslo-feltet er en Permisk kontinental rift som foruten en del kambro-siluriske kalksteiner og leirskifere består av magmatiske bergarter som alkaline dyperuptive granitter og syenitter og vulkanske basalter. De prekambriske bergartene er generelt de mest forvittringsresistente, mens en del av de kaledonske metamorfe bergartene er noe mindre forvittringsresistente.

Kambrosiluriske bergarter og basalter i Oslofeltet forvitrer raskt, mens granittene er mer forvittringsresistente. En del av de mønstrene vi ser i vannkjemien kan forklares ved hjelp av berggrunnsgeologien.

### 5.1.2 Hydrologi

Det er et stort spenn i nedbørmengder i Norge, fra årsmiddelverdier på opptil 5000 mm/år på Vestlandet til 300-400 mm/år på Finnmarksvidda og indre deler av Østlandet. På de fleste strekningene like innenfor kysten av Norge fra Lindesnes til Nordkapp stiger terrenget bratt til flere hundre meter over havet. Når luftmassene som kommer inn fra vest treffer kysten, blir de presset hurtig til værs fordi terrenget under stiger. Dermed avkjøles luftmassene, og fuktigheten i luften kondenseres og faller ned som nedbør. Dette kalles orografisk nedbør. Nedbøren øker derfor fra kysten og inn mot en maksimalsone 30-40 km innenfor denne ytre kystlinjen. På losiden av fjellene kommer det store nedbørmengder, spesielt på Vestlandet, Helgelandskysten og i Lofoten. I områder som ligger i le for de vanligste større værsystemene slik som indre Østlandet, Finnmarksvidda og enkelte mindre områder nær svenskegrensa, faller normalt små nedbørmengder.

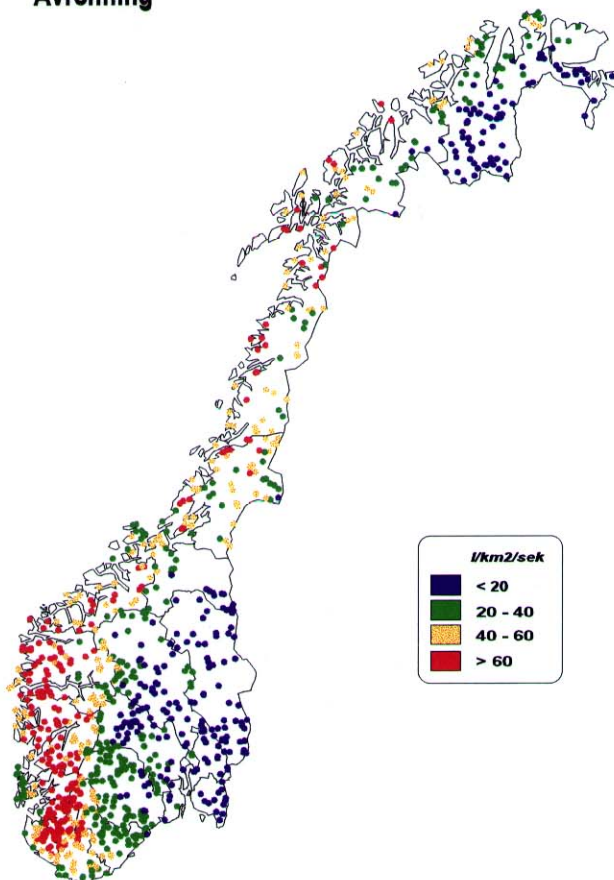
Nedbørmønstret reflekteres i avrenningen. Et punktkart som viser spesifikk avrenning for perioden 1931-1960 for hver av de statistisk valgte innsjøene i undersøkelsen (figur 5.1)

perioden 1931-1960 for hver av de statistisk valgte innsjøene i undersøkelsen (figur 5.1) viser det samme mønsteret som nedbøren med høy avrenning på Vestlandet og langs Helgelandskysten i forhold til Østlandet og Finnmarksvidda. Nedbørmengden er viktig for

konsentrasjonen av ionene i vannet. Store nedbørmengder bidrar til å fortynne konsentrasjoner av ioner i avrenningsvannet, mens små nedbørmengder i kombinasjon med høy fordampning virker oppkonsentrerende.

Regional innsjøundersøkelse høsten 1995

### Avrenning



**Figur 5.1** Spesifikk årlig avrenning (1931-1960) for de ca. 1000 statistisk valgte innsjøene i Norge. Avrenningstallene er fra NVE.

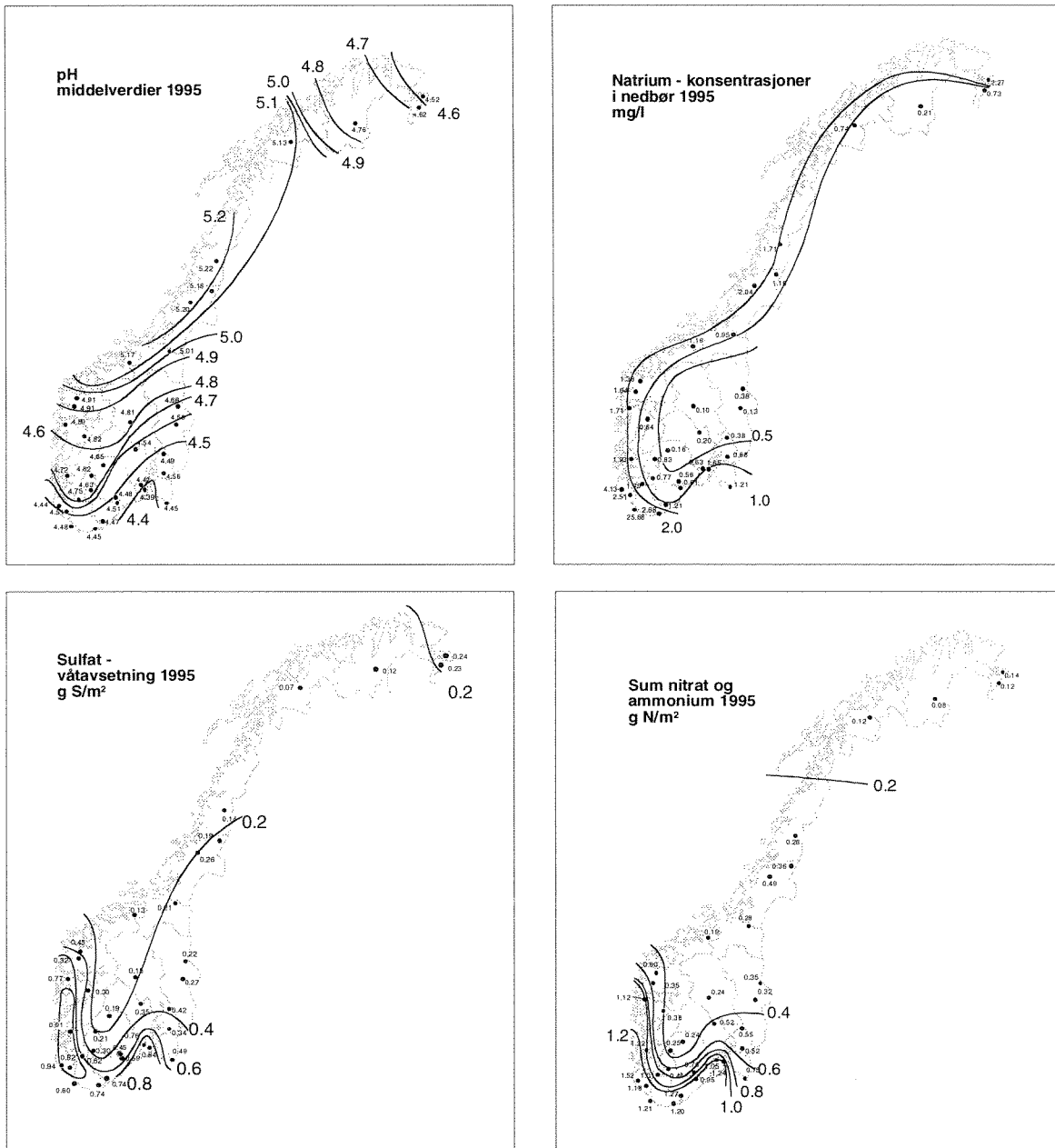
### 5.1.3 Nedbørkjemi

Den kjemiske sammensetningen av nedbøren i Norge, er som før nevnt, hovedsakelig en kombinasjon av bidrag fra sjøsalter og langtransporterte forurensninger. Sjøsaltinnholdet i nedbøren er illustrert ved konsentrasjonen av natrium i nedbøren i 1995 (figur 5.2). Konsentrasjonen av sjøsalter er høyest nær kysten og avtar innover i landet.

De store nedbørmengdene langs kysten, som beskrevet i avsnittet over, er svært effektive til å "vaske" luften. D.v.s. at alt som befinner seg i luften av aerosoler, støv og partikler blir fanget opp av nedbøren og transportert ned til bakken. Siden nedbørmengdene langs kysten både er store og kontinuerlige året igjennom, vil også store deler av luftas innhold av sjøsalter bli avsatt her.

kommer i all hovedsak fra England og det Europeiske kontinentet. Derfor er nedfallet av S og N høyest i Sør-Norge og avtar nordover. Øst-Finnmark mottar forurensninger fra industri på Kola. Kartene i figur 5.2 viser hvordan nedfallet av S og N avtar fra sør mot

nord, og hvordan dette reflekteres i surheten (pH) i nedbøren. I Øst-Finnmark er det også forhøyede konsentrasjoner av S og lave pH verdier i nedbøren, mens det i dette området ikke er forhøyede konsentrasjoner av N.



Figur 5.2 Middeldkonsentrasjoner i nedbør av pH og natrium, og våtavsetning av sulfat og nitrat + ammonium på norske bakgrunnsstasjoner i 1995 (Tørseth, 1996).

### 5.1.4 Jord

Berggrunnen, løsavsetningene og jorda gir grunnlaget for mengden av tilgjengelige ikke-marine basekationer i et nedbørfelt. Et forvittringsresistent mineralmateriale vil avgi mindre basekationer og bikarbonat enn en mer "myk" bergart. Jordtykkelsen og jordtypen gir grunnlag for kontakttiden mellom det infiltrerende vannet og mineralmaterialet i jorda. Ioneinnholdet i vannet øker normalt med økende kontaktid.

I områder med mye morenemateriale og løsavleiringer er jordsmonnet generelt tykkere enn i områder uten løsmasser. Løsmassene i Norge ble dannet under siste istid og fordelingen av løsmasser i Norge er bl.a. en funksjon av berggrunnens motstandskraft mot erosjon og isdekkets erosjonsevne (Låg, 1981). Sørlandet, mye av Vestlandet og de ytre kyststrøkene av Trøndelag og Nord-Norge er stort sett svært jordfattige, mens Jæren og Østlandet har tykkere jordsmonn. Høyfjellsområder har generelt et tynt jordsmonn. Ioneinnholdet i vannet vil til en viss grad være preget av tykkelsen av jordsmonne og løsavsetninger. Bart fjell og fjell med tynt (< 0.5 - 1 m) og usammenhengende løsmassedekke er den arealmessige dominerende jordartsgruppen i Norge (Thoresen, 1991). Morenedekker (> 0.5 - 1 m) dominerer østlige deler av Sør-Norge i et område mellom svenskegrensa ved Finnskogen i sør og Røros i nord.

Landområder som lå under sjøvann etter siste istid, kan ha høyt innhold av sjøsalter i jordsmonnet. Innsjøer som ligger i kontakt med slikt jordsmonn vil ha høyt innhold av marine salter. Områder med marine avsetninger ligger først og fremst på Østlandet

fra Romerike og sørover, men også andre steder rundt Oslofjorden og Trondheimsfjorden.

Innsjøer som ligger på kalkrik berggrunn, slik som f.eks. enkelte steder i Oslofeltet vil ha høyt innhold av basekationer. Innsjøer andre steder som viser høye basekationekonsentrasjoner er mest sannsynlig påvirket av lokale geologiske forhold.

### 5.1.5 Vegetasjon

Omtrent halvparten av Norges landareal består av fjell eller områder uten skog, mens ca. 23% av landarealet består av skog (tabell 5.1, Låg, 1981). Skogområdene finnes i første rekke på Østlandet og indre deler av Trøndelag. Skogområdene er karakterisert ved at de finnes i lavereliggende strøk, og ofte med tykkere jordsmonn enn i fjellområder. Det vil derfor være større hyppighet av "brune vann" d.v.s innsjøer med høyt innhold av organiske stoffer (humus) i skogsområder enn i fjellområder. I områder med skog er det et annet næringsopptak fra jorda enn i områder uten skog. Skogsområder vil f.eks. i mye større grad ta opp nitrogenforbindelser fra jorda, og dette vil igjen reflekteres i avrenningsvannet.

**Tabell 5.1 Fordeling av Norges landareal på landskapstyper (Låg, 1981)**

Fjell	48 %
Skog	23 %
Myr under skoggrensa	7 %
Impediment (uproduktiv skog)	13 %
Vann	5 %
Landbruksarealer	5 %

## 5.2 Vannkjemi i norske innsjøer 1995

I dette kapitlet er resultatene fra de statistisk utvalgte innsjøene diskutert. Kartframstilling av en rekke utvalgte kjemiske variable er presentert fra s. 41 og utover, mens 2.5, , 10, 25, 50, 75, 90 og 97.5 prosentilene for alle målte variable er presentert i vedlegg A.

### 5.2.1 Sjøsalter

Innsjøer i kystnære områder er vanligvis sterkt påvirket av sjøsalter. Klorid og natrium kommer fra sjøsprøyt og transporteres som våt- og/eller tørravsetning til nedbørfeltene. Som forklart ovenfor "vaskes" sjøsaltpartiklene ut av luften med nedbøren, og sjøsaltinnholdet i norske innsjøer er derfor sterkt preget av nedbørmønsteret. Innsjøene med høyest innhold av klorid og natrium finner vi i en 30 - 40 km bred sone innenfor kysten (blå "prikker" på kart 5.1), og derfra avtar konsentrasjonene innover i landet. Vi finner også høye konsentrasjoner av klorid og natrium rundt Oslofjorden og i Østfold, men disse innsjøene er påvirket av bidrag fra gamle marine avsetninger (se kap. 5.1.4).

Det samme mønsteret som for klorid og natrium finner vi også for magnesium, men det er ikke like utpreget for kalsium og kalium. Årsaken til dette er at det er relativt lite kalsium og kalium i sjøvann i forhold til magnesium og natrium.

"Sjøsalt"-mønsteret viser seg også i konduktiviteten, eller den spesifikke ledningsevnen. Den spesifikke ledningsevnen er et mål på vannets evne til å lede elektrisitet og er derfor en funksjon av bl.a ionestyrken, selv om type av ioner også virker inn. Det er en klar positiv sammenheng mellom kloridinnhold og konduktivitet som viser at de sjøsaltpåvirkede innsjøene har høyest ionestyrke.

### 5.2.2 Bikarbonat og basekationer

Kjemisk forvitring av mineraler er den viktigste kilden til ikke-marine basekationer ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$  og  $\text{K}^+$ ) og bikarbonat

( $\text{HCO}_3^-$ ). Innholdet av bikarbonat er et uttrykk for vannets alkalitet, slik at bikarbonat og alkalitet ofte brukes om hverandre. I næringsfattige upåvirkede klarvannsjøer er vanligvis kalsium og magnesium hovedkationene og bikarbonat hovedanionet. Disse finnes normalt i omtrent like store mengder.

Et karakteristisk trekk for innsjøer over hele landet er de lave konsentrasjonene av ikke-marin kalsium og magnesium og bikarbonat. Dette er mest utpreget på Sørlandet og Vestlandet, mens Østlandet og Finnmark generelt viser noe høyere verdier. Dette mønsteret gjelder også for ikke-marin natrium. Kalium viser generelt lave konsentrasjoner med liten variasjon mellom landsdelene.

Konsentrasjonene av ikke-marine basekationer ( $\text{Ca}+\text{Mg}$ ) er sterkt påvirket av forvitringshastigheten av mineralmaterialet i berggrunn og løsmasser, tykkelse av jord og løsmasser, og nedbørmengder. Siden mineralmateriale i jord og løsmasser i Norge forvitrer langsomt, samtidig med at bart fjell og fjell med tynt og usammenhengende jordekke er arealmessig dominerende, gir dette liten produksjon av basekationer og bikarbonat. I tillegg mottar store deler av slike områder, mye nedbør som virker fortynnende. Ca. 100 av de undersøkte innsjøene (10%) har en total ionestyrke ( $\Sigma$  kationer ( $\mu\text{ekv/l}$ ) +  $\Sigma$  kationer ( $\mu\text{ekv/l}$ )) på  $< 100 \mu\text{ekv/l}$ . Vann med lav ionestyrke er det vi kaller "tynt vann" og slike innsjøer karakteriseres som "følsomme", for de har liten motstandskraft mot forsurening. Felles for de 100 innsjøene med lav ionestyrke er at de ligger i høyfjellsområder ( $> 700 \text{ m.o.h.}$ ), med unntak av tre innsjøer i Finnmark som ligger mellom 400-500 m.o.h.. Dette er områder uten skog, og med tynt jordekke. Av de 100 sjøene er det bare 7 som har  $\text{TOC} > 0.2 \text{ mg C/l}$ . Av disse er det en innsjø hvor organiske anioner er det dominerende anionet (navnløst vann h.o.h. 1066 i Tolga kommune,  $\text{TOC} 7.4 \text{ mg C/l}$ ).



Lave konsentrasjoner av basekationer ("røde prikker" på kart 5.2) finner vi derfor i hovedsak på Sørvestlandet og Vestlandet, men også ellers i fjellområdene i hele Norge.

Tilførsler av forsurende antropogene forurensninger bidrar til å tappe jordsmonnet for basekationer og bikarbonat. Store områder på Sørlandet og Sørvestlandet som har mottatt sur nedbør i over 100 år har derfor svært lave konsentrasjoner av bikarbonat i innsjøene. Innsjøer som med bikarbonat  $< 0 \mu\text{ekv/l}$  finner vi i Telemark, Aust- og Vest-Agder, Rogaland, Hordaland og Sogn og Fjordane. Av våre undersøkte innsjøer finnes det imidlertid tilsammen 19 innsjøer i de resterende 13 fylkene som også har bikarbonat  $< 0 \mu\text{ekv/l}$ . Av disse innsjøene har 12  $\text{TOC} > 5 \text{ mg C/l}$ . Her utgjør organiske anioner det viktigste anionet, og disse innsjøene har antageligvis aldri hatt bikarbonat - de er naturlig sure. 5 av innsjøene ligger i Finnmark, mens to er høyfjellsjøer i Sør-Norge. Felles for disse er at de har en ekstremt tynn vannkvalitet. Den siste av innsjøene uten alkalitet er Skorovatn i Namsskogan kommune, som er påvirket av lokal sur forurensning fra gruvedrift.

### 5.2.3 ANC - syrenøytraliserende kapasitet.

En måte å kvantifisere hvilken kapasitet en innsjø har til å motstå forsuring, er å se på vannets syrenøytraliserende kapasitet - ANC (Acid Neutralizing Capacity) (se kap. 4.3.2). ANC er definert som en løsnings evne til å nøytralisere tilførsler av sterke syrer til et gitt nivå, eller sagt på en annen måte: ANC uttrykker et nedbørfelts motstandskraft mot forsuring. Høye positive verdier uttrykker god vannkvalitet og stor motstand mot forsuring, mens lave positive verdier uttrykker liten motstand mot forsuring. Negative ANC-verdier betyr at innsjøen er sur.

150 av de undersøkte innsjøene (15%) har  $\text{ANC} < 0 \mu\text{ekv/l}$ , d.v.s. at de ikke har noen motstandevne mot forsuring ("røde prikker" på kart i kart 5.3). Av disse er det bare 11 som ikke er lokalisert på Sørlandet eller Vestlandet. Det betyr at over 30% av innsjøene i Sør- og

Vestland fylkene har  $\text{ANC} < 0 \mu\text{ekv/l}$ . Felles for innsjøene (med unntak av Skorovatn i Nord-Trøndelag) som ikke ligger på Sør- og Vestlandet men som har  $\text{ANC} < 0$  er at de har en ekstremt tynn vannkvalitet. I denne typer innsjøer er lave ANC-verdiene ikke nødvendigvis forårsaket av forsuring, men er naturlig for disse innsjøene.

### 5.2.4 Sulfat

De naturlige kildene for sulfat i vann er sulfat som er frigjort ved forvitring av mineraler og sulfat fra sjøvann som er tilført via nedbør. En annen viktig kilde til sulfat i norske innsjøer idag er fra langtransporterte forurensninger. Forbrenning av fossilt brennstoff som olje, kull og gass frigjør bl.a. svovel og nitrogen. I atmosfæren vil disse stoffene oksideres til syrer og oppløses i vandrdåper som faller ned som sulfat ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) og nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ).

Innsjøer uten påvirkning av sur nedbør har en bakgrunnskonsentrasjon av sulfat som er lavere enn  $0.5\text{-}0.6 \text{ mg/l}$  ( $10\text{-}12 \mu\text{ekv/l}$ ), som hovedsakelig er av geologisk opprinnelse. Sulfatkonsentrasjoner over dette nivået er derfor vanligvis tilført gjennom nedbør og tørravsetning. I områder som mottar lite sur nedbør, som f.eks. Midt-Norge, har 75% av de undersøkte innsjøene lavere konsentrasjoner av ikke-marin sulfat enn ca.  $1.1 \text{ mg/l}$  ( $24 \mu\text{ekv/l}$ ), mens de tilsvarende tallene for Sørlandet er  $2.7 \text{ mg/l}$  ( $57 \mu\text{ekv/l}$ ).

Sulfationet er den drivende kraften i forsuringprosessen. Svovel tas lite opp i vegetasjonen og de tilførte sulfationene vil normalt renne gjennom jorda og ut i vassdraget. Sulfat kalles derfor et "mobilt" anion. Når dette skjer, transporteres en like stor mengde kationer gjennom nedbørfeltet. Disse kationene er i all hovedsak  $\text{H}^+$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  og  $\text{Mg}^{2+}$  (Reuss og Johnson, 1986). Hydrogen og aluminiumionene vil redusere alkaliteten i vannet og eventuelt gjøre avrenningsvannet "surt". Sulfatinnholdet i innsjøene reflekterer til en viss grad tilførselsmønsteret av sur nedbør, men på samme måte som for basekationer, er også forhold i nedbørfeltet som geologi og

jordtykkelse med på å bestemme sulfatinnholdet.

Kartframstilling av konsentrasjoner av ikke-marin sulfat viser at vi finner de høyeste konsentrasjonene ("røde prikker" på kart 5.4) langs Sør- og Vestlandskysten og på Østlandet, men at innsjøer med høye verdier av ikke-marin sulfat også finnes spredt over hele landet, spesielt i Troms og Finnmark. De høye verdiene i nord er geologisk betinget, da det er lite svovel i nedbøren i disse områdene.

På Sørlandet og Vestlandet utgjør ikke-marin sulfat en vesentlig større andel av anionene enn i andre deler av landet. Dette viser innvirkningen av sulfatdeposisjonen i nedbøren i disse områdene.

### 5.2.5 pH og aluminium

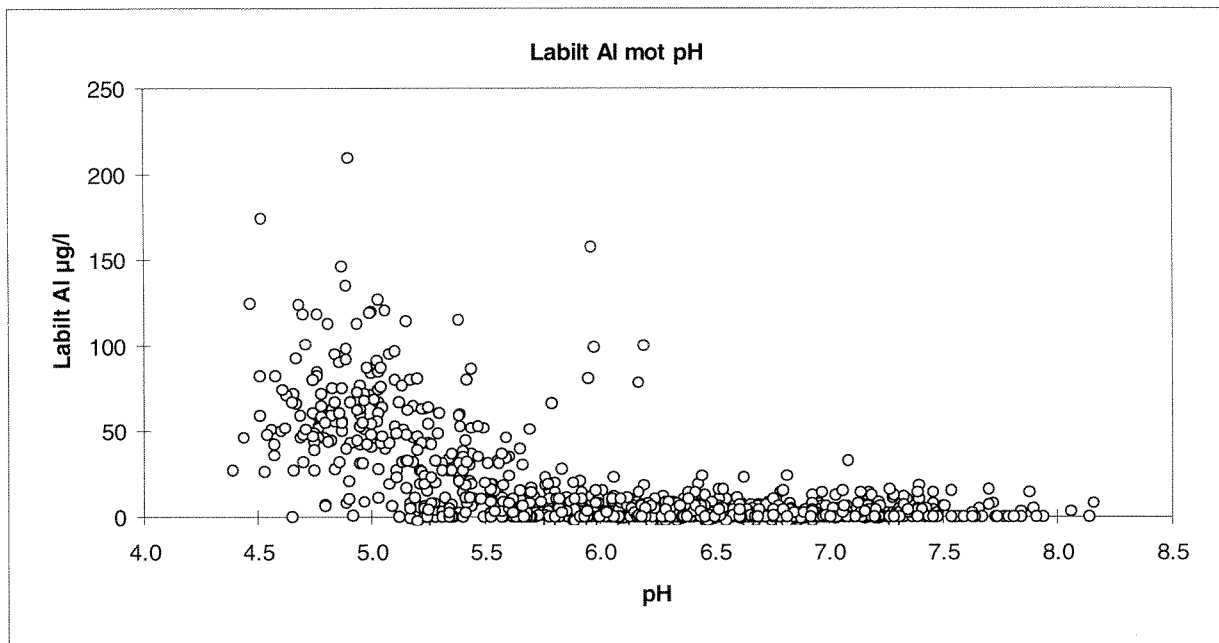
pH er et mål på vannets surhet. I næringsfattige oligotrofe innsjøer som ikke er påvirket av forurensninger vil pH vanligvis være over 6. Slike innsjøer er dominert av bikarbonat. pH under 6 i ikke forurensede innsjøer kan være forårsaket naturlig av organiske syrer (humus), eller en spesielt tynn vannkvalitet (lite oppløste ioner i vannet). Sur nedbør bidrar til å forsure avrenningsvannet slik at pH synker ned under 6. I slike vann vil sterke syreanioner (sulfat + nitrat) utgjøre en økende andel av anionene i vannet. Når pH går under 5, er vannet oftest dominert av sterke syrer, men organiske syrer (humus) kan også bidra til surheten i slike vann, hvis de er tilstede i høye konsentrasjoner.

Innsjøer med lav pH < 5.5 (røde og gule "prikker" på kartet 5.5) finnes hovedsakelig på Sør- og Vestlandet. Medianverdien for pH i alle innsjøer i Norge er 6.40. De laveste pH verdiene finner vi på Sørlandet, her har 35 % av innsjøene pH < 5 og median-verdien er 5.31. Drøyt 10% av innsjøene på Vestlandet har pH < 5 og medianverdien for denne landsdelen er 5.62. Resten av landet har bare få innsjøer med pH < 5.5. Felles for disse innsjøene er høyt humus-innhold eller svært lave konsentrasjoner av basekationer. Hvis vi

ser bort fra Sørlandet og Vestlandet har alle innsjøer med pH < 5.1 et TOC innhold som er > 5 mg C/l. Av 18 innsjøer med pH fra 5.1 - 5.5 har 10 av disse TOC fra 3.3 - 12 mg C/l, mens de resterende 8 har TOC < 1 mg C/l. En av disse sjøene er Skorovatn i Namsskogan kommune i Nord Trøndelag som er påvirket av lokal forurensing fra Skorovatn gruver. De resterende 7 har svært lavt innhold av basekationer med Ca-verdier < 0.22 mg/l. Av disse 7 er det 4 som ligger i Finnmark. En innsjø i Steigen kommune i Nordland, en i Rondane nasjonal-park (Sel kommune) og en på Hallingskarvet (Hol kommune), har ekstremt lave konsentrasjoner av basekationer og har dermed omtrent ingen motstand mot forsuring. Vannet som ligger på Hallingskarvet har et nitrat-innhold på 79 µg N/l, og dette er nok til å senke pH fra 6 til 5.2 i en innsjø som ikke har noen bufferkapasitet mot forsuring.

Forsuringsprosesser i jorda fører til at aluminium blir løst ut, slik at konsentrasjonene i avrenningsvannet øker. Aluminium kan foreligge både organisk (ikke-labilt) og uorganisk bundet (labilt). I humusrikt (brunfarget) vann er en stor del av aluminium-ionene kompleksbundet til organiske molekyler (humus). Det er aluminium i form av uorganiske komplekser som er antatt å være giftig for fisk og andre vannlevende organismer.

pH og aluminium er sterkt korrelert fordi løsligheten av aluminium er direkte avhengig av pH (figur 5.3). De høyeste aluminium-konsentrasjonene finner vi derfor der pH er lavest (kart 5.6). Med få unntak er det bare sørlandsfylkene Telemark, Aust- og Vest-Agder og Rogaland som har nivåer av labilt Al > 30 µg/l (gule og røde "prikker" på kart 5.6). Innsjøer i andre deler av landet med labilt Al > 30 µg/l, har som oftest lav pH p.g.a. høy TOC (3-14 mg C/l). Det er 8 innsjøer i Hordaland og Sogn og Fjordane som ikke faller under denne kategorien. Felles for disse innsjøene er en svært tynn vannkvalitet i kombinasjon med relativt høye nitratkonsentrasjoner (40-170 µg N/l). Nitrat utgjør ca. 30% av forsuringen i disse innsjøene.



**Fig. 5.3** Labilt Al mot pH i 1000 statistisk valgte norske innsjøer høsten 1995. Figuren viser at det økende konsentrasjoner av labilt Al ved pH-verdier lavere enn 6.

### 5.2.6 Organiske anioner

I skog og myrområder vil avrenningsvannet ofte inneholde betydelige mengder oppløste humusstoffer som gir vannet en karakteristisk brunfarge. Innholdet av humusstoffer uttrykkes ved konsentrasjonen av organisk karbon (TOC). Når TOC-innholdet overskrider 2-3 mg C/l, vil en kunne se brunfarge i vannet. Organiske anioner er et viktig bidrag til ionesammensetningen av brune vann. Slike innsjøer kan være naturlig sure fordi mengden av organiske anioner ofte overstiger mengden av basekationer. Norske innsjøer har generelt et lavt innhold av TOC. Middelverdien for hele landet ligger på 1.9 mg C/l, mens det bare er 3-4% av sjøene som har over 10 mg C/l.

Østlandet, Trøndelag og indre deler av Finnmarksvidda viser klart de høyeste TOC verdiene (røde "prikker" på kart 5.7) og dette reflekterer at disse områdene har mer skog, jord og myrer enn andre deler av landet. Fjellområdene i Sør-Norge, Nordland og Troms, har de laveste verdiene (blå "prikker"

kart 5.7), og dette kan forklares med en kombinasjon av tynt og spredt jorddekke sammen med høye nedbørmengder og avrenning som gir lave konsentrasjoner.

### 5.2.7 Nitrogen

Det aller meste av nitrogenet som tilføres skog, jord og vann kommer fra atmosfæren i form av våt- og tørravsetninger og ved biologisk nitrogen-fiksering. Tilførsel av nitrogen stimulerer normalt veksten av planter. Det meste av uorganisk løst nitrogen blir tatt opp av trær og planter eller blir bundet i jordsmonnet. I ikke-kultivert jord, f.eks. skogs-jord, er nitrogen et vekstbegrensende stoff (minimumsstoff), og atmosfærisk tilført nitrogen kan derfor gi øket vekst. Vi finner derfor sjelden mye nitrat i avrenningsvannet fra områder som ikke er påvirket av landbruk og sur nedbør. Hvis det kommer mer nitrogen gjennom nedbøren enn vegetasjonen kan bruke, eller immobilisere i jordsmonnet, vil "overskuddet" renne gjennom jordsmonn og løsmasser og ende i vassdragene som nitrat.

Nitrationet vil da virke forsurende på samme måte som sulfationet gjør.

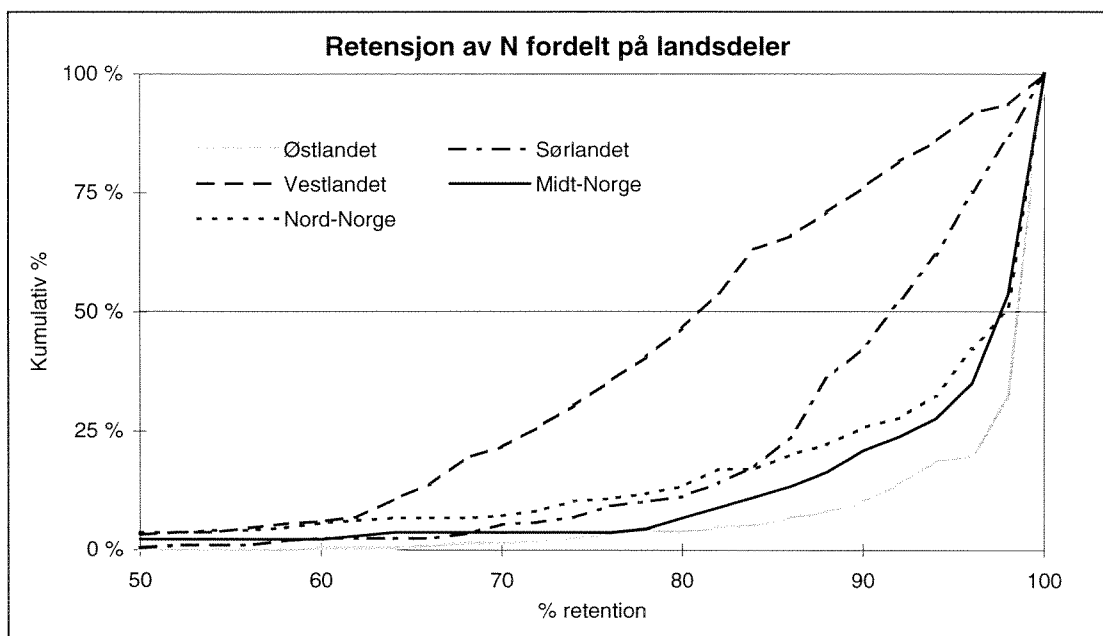
Det regionale mønsteret i nitratkonsentrasjoner reflekterer i stor grad mønsteret for N-avsetningen. Nitratnivået i innsjøene er høyest i Sør-Norge (røde "prikker" på kart 5.8) mens det er få innsjøer i Midt-Norge og Nord-Norge som har noe særlig nitrat. Mer enn 90% av innsjøene i disse områdene har nitrat < 40 µg N/l. I Sør-Norge er det spesielt Vest-Agder, Rogaland og sydlige deler av Hordaland som har høye nitrat nivåer.

Opptaket (retensjonen) av nitrogen i et nedbørfelt er et uttrykk for hvor stor andel av nitrogenet som blir tilført gjennom nedbøren, som blir tatt opp i nedbørfeltet (forholdet mellom N-ut/N-inn). Opptaket av nitrogen er lav i områder med høy avrenning kombinert med tynt og flekkvis jordekke og lite vegetasjon (lav-TOC sjøer). Dette er forhold som er karakteristisk for Sørlandet og Vestlandet, og nedbørfeltets evne til å holde på nitrogen er også lavest i disse områdene (figur 5.4). Disse områdene har samtidig den

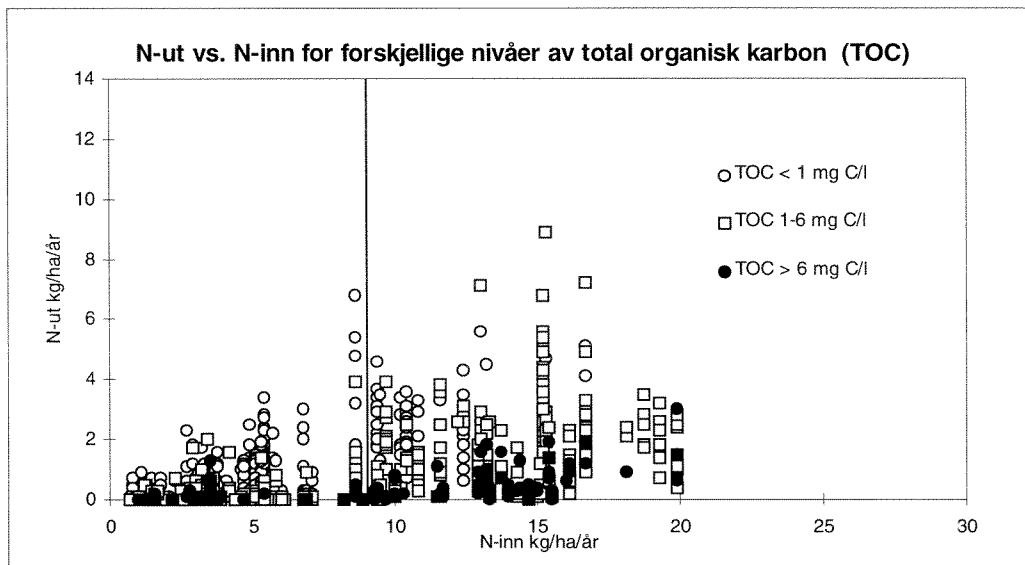
høyeste N-avsetningen og derfor blir nitratnivåene i innsjøer i disse områdene høye.

Det er vist gjennom empiriske studier av skogøkosystemer i Europa (Dise og Wright, 1995) at for N-avsetninger opp til 900 mg N/m<sup>2</sup>/år kan økosystemet normalt ta opp all tilført nitrogen. For avsetning mellom 900 - 2500 mg N/m<sup>2</sup>/år kan 0 - 100 % av nitrogenet lekke ut i avrenningen avhengig av nedbørfeltets karakter, mens for avsetninger over 2500 mg N/m<sup>2</sup>/år vil 50-100% av nitrogenet lekke ut i avrenningen. Det er ikke gjort tilsvarende undersøkelser for økosystemer uten skog.

For de norske innsjøene er det en klar tendens til økning av transport av N ut av et nedbørfelt, med økende N-tilførsel (figur 5.5). Denne figuren viser også klart at innsjøer med høy TOC (> 6 mg C/l) ligger i nedbørfelt som har mye større evne til å holde på N enn innsjøer med lave TOC-nivåer. Dette viser at nedbørfelt med skog og jordekke tar opp mer av tilført N enn nedbørfelt med lite jord og skog.



**Figur. 5.4** Kumulativ frekvensfordeling av opptaket (forholdet mellom N-ut/N-inn) i de forskjellige landsdelene. Medianverdien (50 persentilen) viser 80% opptak av N på Vestlandet, 92% på Sørlandet og 97-99% i resten av landet.



**Figur 5.5** Forholdet mellom transport inn og transport ut av N fra nedbørfelt til 1000 innsjøer. Linjen som er tegnet inn på 9 kg/ha/år (900 mg/m<sup>2</sup>/år) er den empiriske grensen der skogøkosystemer i Europa kan ta opp all tilført N (Dise og Wright, 1995).

### 5.2.8 Fosfor

Selv om fosfor bare utgjør omtrent 1 o/oo av jordskorpen er dette elementet en nødvendig bestanddel av alle planter og dyr, og derved også av organisk materiale, og spiller en viktig rolle for biologiske prosesser i vann. Ved erosjon og kjemisk oppløsning av lava-bergarter frigjøres fosfor til løsmasser og det hydrologiske kretsløpet. Mye av dette opptrer i mineralske partikler eller bindes i uorganisk og organisk materiale i jordsmonnet og i landvegetasjon slik at vann som kommer ut i vassdraget i form av grunnvann eller overflateavrenning kan være ganske "strippet" for fosfor, d.v.s. med lave fosforkonsentrasjoner, < 10 µg P/l (se Holtan et al., 1988). Dette tilsvarer under norske forhold avrenning av 2.5-6 kg P/km<sup>2</sup>/år (Holtan og Åstebøl, 1990). Fosforinnholdet i nedbør er også lavt, men kan likevel ha betydning for fosforkonsentrasjonen i innsjøen der innsjøoverflaten utgjør en stor del av det totale nedbørfeltet. Fosforkonsentrasjonen i vassdrag som er lite direkte påvirket av menneskelig aktivitet er derfor ofte svært lav. Fosforinnholdet i organisk materiale har sin

opprinnelse i opptak av fosfat i planter. Det er allment akseptert at plantevekst i ferskvann normalt er vekstbegrenset p.g.a. liten tilgjengelighet av fosfor i forhold til andre nødvendige plantenæringsstoffer. Naturlig forhøyet fosforkonsentrasjon kan spesielt finnes i vassdrag under den marine grense der fosfor fra plante- og dyrerester har akkumulert i innsjøsedimentene.

Forskjellige former for menneskelig aktivitet gir økte fosforkonsentrasjoner og følgelig eutrofiering i vassdrag. Et gjennomsnittlig voksent menneske skiller ut omtrent 1.7 g P pr. døgn (Holtan og Åstebøl, 1990). Ved urbanisering og utbygging av vannbaserte avløpssystemer øker tilførslene av fosfor dramatisk til vassdrag og dette har vært spesielt viktig etter annen verdenskrig. Oppdyrking og gjødsling av jorda har ført til målbart økte fosforkonsentrasjoner i vassdrag over en mye lengre periode. Dette kan spores i plante- og dyrerester i innsjøsedimenter og indikerer varierende næringsstatus og miljøforhold forøvrig (Frey 1986, Andersson 1993, Jeppesen et al., 1996). Oppdyrking og gjødsling av landbruksarealer fører normalt til

et visst tap av jordpartikler, med mer eller mindre fast bundet fosfat, spesielt i perioder uten plantedekke. Moderne jordbruk med tilførsel av store mengder fosfor fra husdyrgjødsel og/eller handelsgjødsel, kraftig jordbearbeiding og drenering kan føre til betydelig fosforbelastning av vassdrag.

Fordi vi har en lav befolkningstetthet i Norge med store ubebodde arealer og med bare en beskjeden del av landarealet som landbruksareal (ca. 3%), er fosfor-konsentrasjonen i norske innsjøer stort sett svært lav og nær bakgrunnsnivået. Nivået er trolig av det laveste en kan finne i Europa. En annen faktor som bidrar i samme retning er at det naturlige innholdet av organisk stoff i norske innsjøer er lavt. Halvparten av innsjøene har fosfor-konsentrasjoner mindre enn eller lik 3 µg P/l og bare 10% har konsentrasjoner høyere enn 9 µg P/l. Det betyr at mer enn 90% av norske innsjøer vil falle i SFTs tilstandsklasser I og II (SFT, 1992) og bare 2.5% i klassene IV og V med hensyn på fosfor.

Naturlig nok varierer fosforkonsentrasjonen mye fra landsdel til landsdel, med laveste konsentrasjoner på Sørlandet, Vestlandet og i Midt-Norge, mens Østlandet og Nord-Norge har systematisk noe høyere konsentrasjoner. Det sistnevnte er noe overraskende, men må skyldes en kombinasjon av lav årsnedbør og betydelige løsmasser som tilsammen fører til lang kontakttid og stor kontaktflate mellom vannet og fosforholdige mineraler. Dette kommer tydelig fram på kart 5.9 der store deler av indre Finnmark har systematisk høyere fosforverdier (4-30 µg P/l) enn uberørte områder langs kysten i Finnmark og i fjellområdene lenger sør i landet. Tilsvarende forhøyede verdier finner vi også langs Trondheimsfjorden ut til Hitra og Frøya, i Bergensområdet, langs Sørlandskysten, i nedre deler av Telemark og over store deler av Østlandet. Det går tydelig fram av kartet over TOC-konsentrasjoner at dette delvis kan skyldes høyere naturlig innhold av organisk i de samme områdene. Det er en klar tendens til at konsentrasjonen av fosfor øker med økende innhold av organisk stoff (TOC) i de undersøkte innsjøene. Mens innsjøer med

fosforkonsentrasjon  $\leq 1$  µg P/l har konsentrasjoner av TOC i området 0.1-1.0 mg C/l, finner vi ca 10 ganger høyere TOC-konsentrasjoner i innsjøer med total-P > 10 µg P/l. Mye av dette organiske stoffet, som altså inneholder noe fosfor, kan tilføres naturlig fra myr- og skogområder. Det er også en klar tendens til økende fosforkonsentrasjon med økende innhold av organisk stoff.

Høye fosforkonsentrasjoner observeres oftere i små innsjøer enn i store innsjøer. De fleste av innsjøene som er registrert med fosforkonsentrasjoner >10 µg total-P/l har et areal <1 km<sup>2</sup>.

Øking av fosforkonsentrasjonen følges gjerne av systematisk øking av nitrogenkonsentrasjonen, spesielt når en ser et så stort antall innsjøer under ett. Dette er tydelig ved svært lave og svært høye konsentrasjoner av fosfor. Ved total-P  $\leq 1$  µg P/l var medianverdien for total-nitrogen 105 µg N/l, mens ved total-P > 10 µg P/l var medianverdien for total-nitrogen 433 µg N/l. Mye av spredningen i N:P-forholdet skyldes langtransportert tilførsel av nitrogen i de sørligste fylkene. Karframstilling av total-nitrogen er vist i kart 5.10.

Vektforholdet mellom nitrogen og fosfor (N:P) i innsjøer gir en viss indikasjon på hvilket av disse stoffene som er begrensende for veksten av planteplankton. Det normale vektforholdet mellom disse elementene i planteplankton er ca. 7. I praksis vil gjerne et N:P-forhold i vann på ca. 12 markere skillet mellom nitrogen- og fosfor-begrensning (se Berge et al., 1995). N:P-verdier mindre enn 12 indikerer nitrogenbegrensning, mens verdier større enn 12 indikerer fosforbegrensning. Mindre enn 2% av de målte N:P-verdiene i de undersøkte innsjøene var <12. Median-verdien av N:P-forholdet var 51. Det understreker at norske innsjøer i det alt vesentlige er fosforbegrenset.

### 5.2.9 Silisium

Det er to hovedprosesser som kontrollerer nivået av silisium i innsjøer; bidrag fra forvitring og forbruk ved biologisk aktivitet.

Silikat er med få unntak den viktigste bestanddelen i alle bergarter. Forvitring er derfor den viktigste kilde til silisium i vann.

Silisium i innsjøer forbrukes av diatomeer. Dette er små plankton-alger, med et skall som er bygget opp av silisium. Aktiviteten og mengden av disse diatomeene i sommer-sesongen vil derfor være viktig for de konsentrasjonene vi måler av silisium i innsjøene om høsten.

Medianverdien for silisium i Norge er 0.89 mg/l, og det er mindre enn 2.5% av innsjøene som har over 5 mg Si/l. Vestlandet har de laveste silisiumverdiene.

### 5.2.10 Fluorid

Den viktigste kilden til fluorid i innsjøer er berggrunnen. Fluorid er også en komponent i sjøsalter og forurenset nedbør, men dette bidrar bare med små mengder.

Over 90 % av norske innsjøer har et fluoridinnhold som er  $< 40 \mu\text{g/l}$ . På Østlandet er det endel innsjøer som inneholder noe mer. Årsaken til dette er at endel bergarter i Oslofeltet og tilgrensende områder har høyt innhold av fluor og innsjøer som ligger i kontakt med slike bergarter har generelt høyere fluoridkonsentrasjoner enn innsjøer andre steder (Flaten, 1991, Skjelkvåle, 1994,).

Imidlertid er det bare 2.5 % av innsjøene på Østlandet som inneholder mer enn ca.  $200 \mu\text{g F/l}$ . Den høyeste konsentrasjonen har Nøklevatn i Åsnes kommune i Hedemark med  $500 \mu\text{g F/l}$ . Til sammenligning er den anbefalte øvre grensen for drikkevann  $1500 \mu\text{g F/l}$ .

## 5.3 Norske innsjøer i en nord-europeisk sammenheng

Gjennom "Nordic Lake Survey 1995" (Henriksen et al. 1996, 1997) har vi nå en oversikt over den kjemiske sammensetningen av innsjøer i Norge, Sverige, Finland, Russisk Kola, Russisk Karelen, Skottland, Wales og Danmark. Det er derfor mulig å se på vannkjemien i norske innsjøer i en nord-europeisk sammenheng.

Det som særpreger vannkjemien i norske innsjøer relativt til innsjøene i andre nord-europeiske land er at det er en langt større andel av norske innsjøer som har lavt innhold av oppløste ioner, slik at norske innsjøer generelt har en "tynnere vannkvalitet". Dette forholdet gjelder de fleste av de undersøkte ionene som f.eks. basekationer, bikarbonat, sulfat, organisk karbon, total nitrogen og fosfor. Medianverdien for konsentrasjonen av ioner med hovedsaklig geologisk opprinnelse -  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  og  $\text{HCO}_3^-$  - er 2-3 ganger høyere i innsjøer i de andre nord-Europeiske landene i forhold til innsjøer i Norge.

Berggrunnsgeologien er i store trekk ganske lik i hele dette området, med overvekt av bergarter som forvitrer sakte, slik at bidraget fra forvitring stort sett er det samme. Løsmasser og jordtykkelse er generelt tynnere i Norge enn i de andre landene og dette sammen med at avrenningen er mye høyere i Norge enn i de andre landene forklarer forskjellene i basekationer og alkalitetsnivåer. Median-verdien for spesifikk avrenning er ca. 4 ganger høyere i Norge enn i Sverige og Finland.

Overflatevann i Norge har mindre motstand mot forsuring og har lavere tålegrenser for forsuring av innsjøer enn innsjøer i de andre landene i Nord-Europa. Siden tålegrensen er en funksjon av av både basekationer og avrenning (Vedlegg B) er imidlertid ikke forskjellene i tålegrenser så store som man kunne forvente hvis man bare ser på forskjellene i konsentrasjoner av basekationer og alkalitet.

Skottland og Wales har på samme måte som store deler av Norge, nær kontakt med havet. Dette gir høyere konsentrasjoner av sjøsalter i nedbøren, og følgelig også høye konsentrasjoner av sjøsalter i innsjøene. Medianverdien for klorid er likevel nesten 10 ganger høyere i Skottland og Wales enn i Norge. Årsaken til dette er forskjeller i nedbørmønstre. Mens størstedelen av sjøsaltene vaskes ut i de første 30-40 km innenfor kysten i Norge p.g.a. den bratte topografien (se kap. 5.1.2), fraktes nedbør med sjøsalter innover hele landet i Skottland og Wales. Det er derfor generelt høyt nivå av sjøsalter i alle innsjøer i disse delene av England. Medianverdien for klorid i norske innsjøer er dobbelt så høy som i Sverige og Finland, men medianverdien for klorid i innsjøer på Kola er noe høyere enn i Norge. Kola har høye kloridverdier av samme grunn som Skottland og Wales.

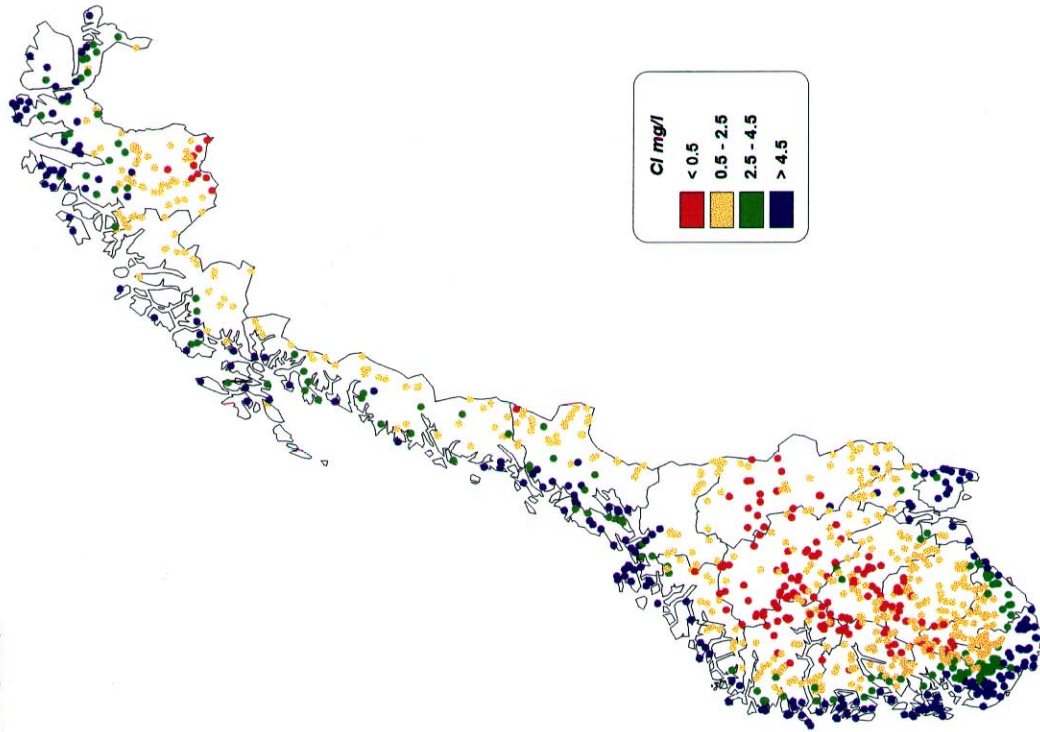
Innhold av organisk karbon (TOC) i innsjøene er også mye lavere i Norge enn i de andre

landene. Medianverdien for TOC i Norge er 1.97 mg C/l, mens den i de andre landene er 6-8 mg C/l, altså 3-4 ganger høyere enn i Norge. Dette reflekterer at andelen av skog og myr er mindre i Norge enn i de andre landene. Finland er nesten 100% dekket med skog og myr. I Sverige er andelen av skog og myr, lavere enn i Finland, mens den er enda lavere i Norge. De laveste TOC-verdien er registrert på Vestlandet (kap. 6.5), hvor det både er store nedbørmengder og lite vegetasjon og jordsmonn.

Forskjellene i TOC reflekteres til en stor grad også i forskjeller i total fosfor og nitrogen, da det er en generell sammenheng mellom innhold av organisk karbon, total fosfor og nitrogen. Medianverdien for fosfor i norske innsjøer er 3 µg P/l, mens den i Sverige og Finland er henholdsvis 9 og 13 µg P/l. Medianverdiene for total-nitrogen er 138 µg N/l i Norge, mens den er ca 400 µg N/l i Sverige og Finland.

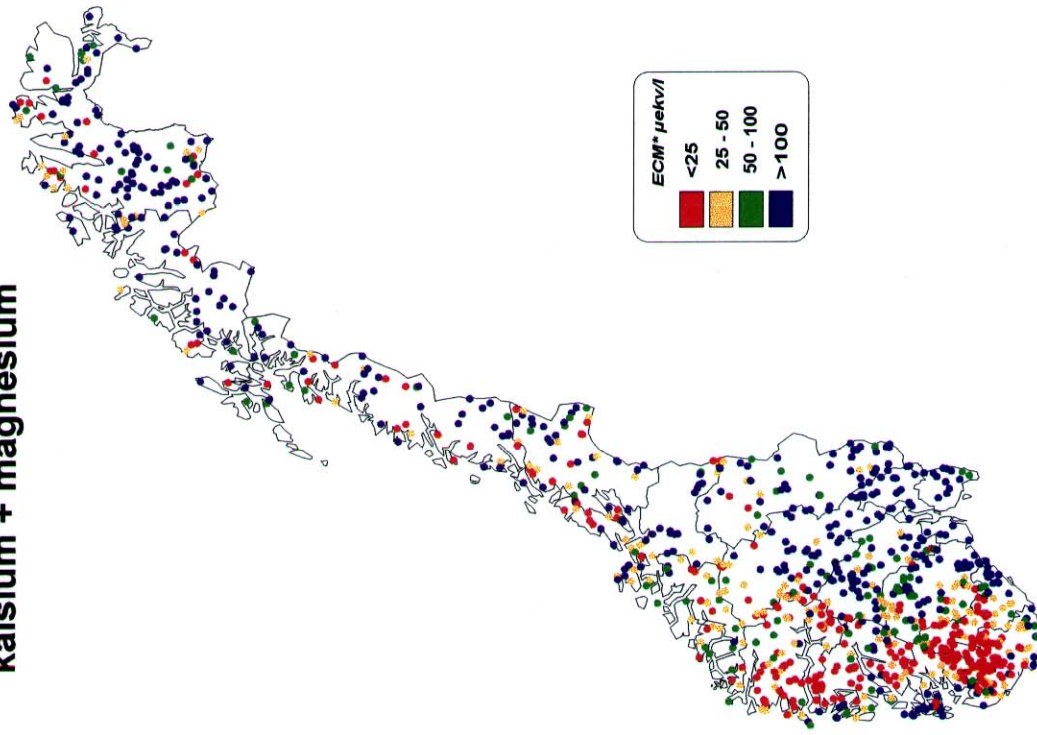


Regional innsjøundersøkelse høsten 1995

**Klorid**

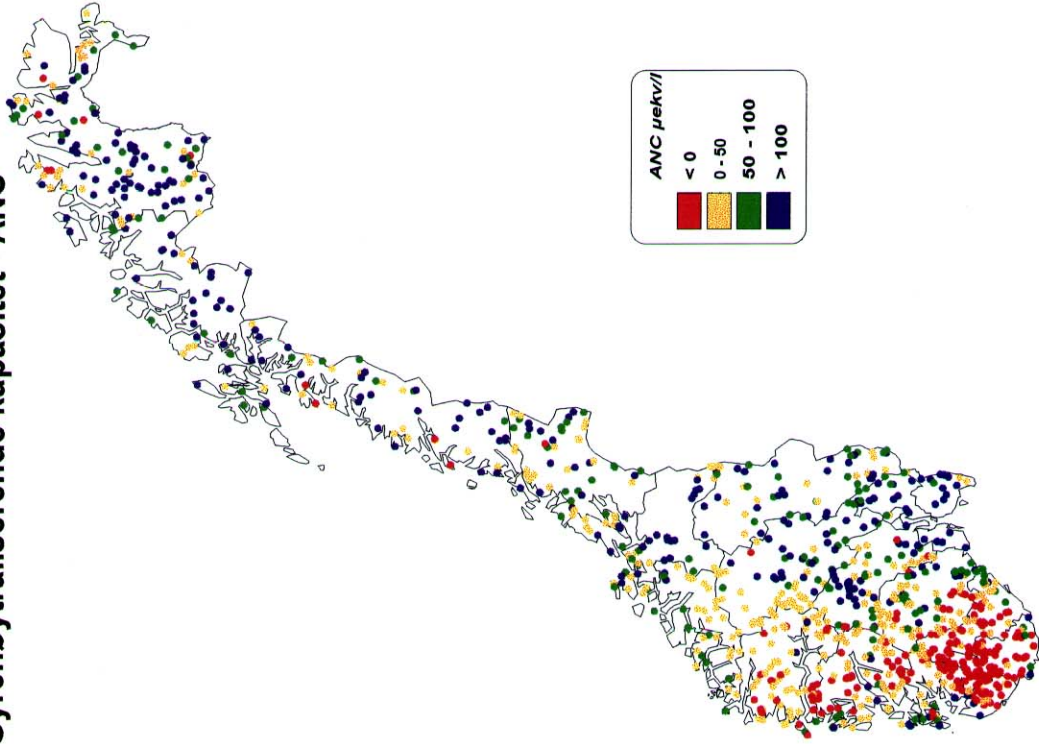
Kart 5.1 Klorid (mg/l) i tusen statistisk valgte innsjøer i Norge 1995.

Regional innsjøundersøkelse høsten 1995

**Ikke-marin  
kalsium + magnesium**

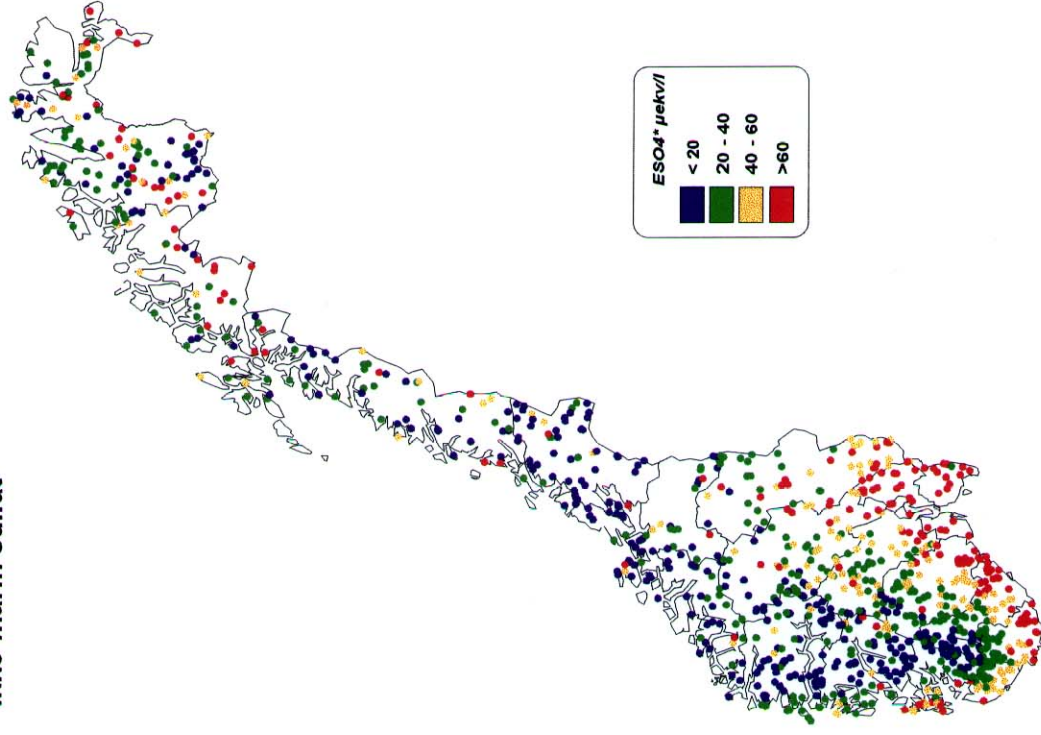
Kart 5.2 Ikke-marine basekationer (Ca+Mg)\* (µekv/l) i tusen statistisk valgte innsjøer i Norge 1995.

Regional innsjøundersøkelse høsten 1995

**Syrenøytraliserende kapasitet - ANC**

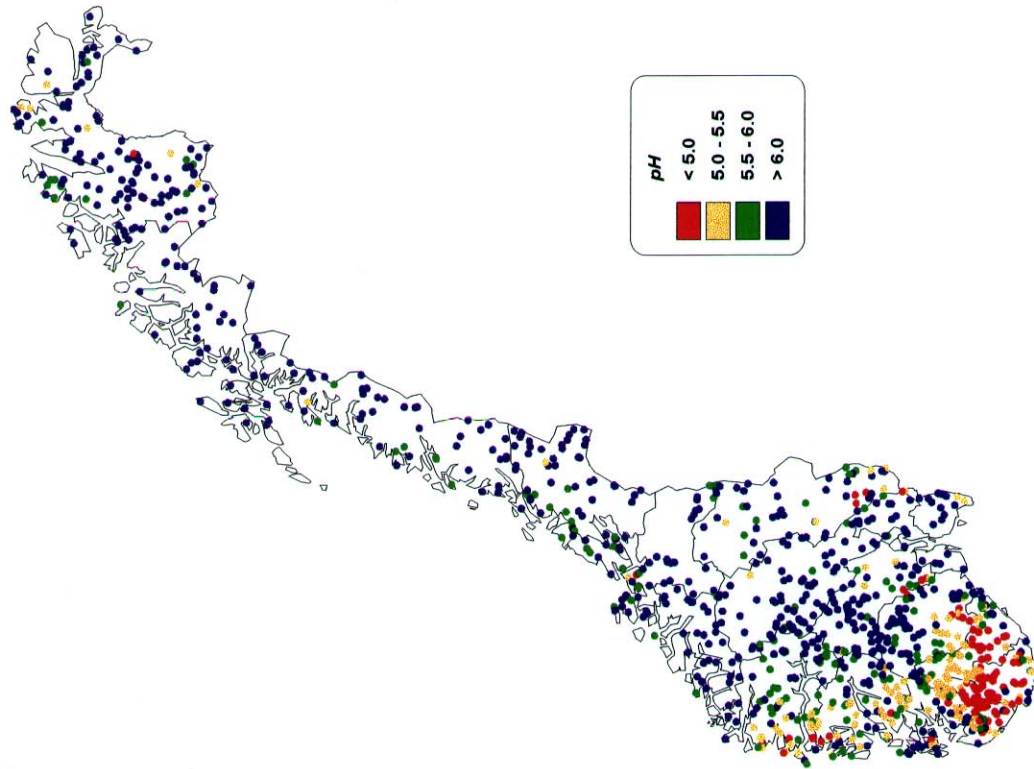
Kart 5.3 ANC (syrenøytraliserende kapasitet) ( $\mu\text{ekv/l}$ ) i tusen statistisk valgte innsjøer i Norge 1995.

Regional innsjøundersøkelse høsten 1995

**Ikke-marin sulfat**

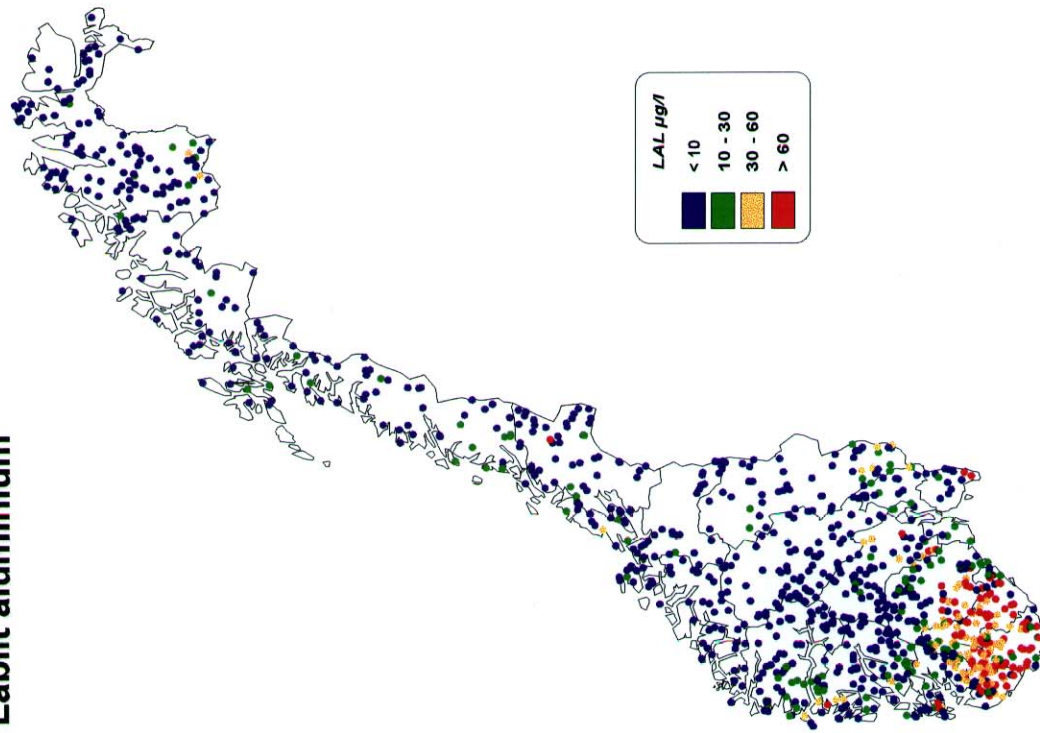
Kart 5.4 Ikke-marin sulfat ( $\mu\text{ekv/l}$ ) i tusen statistisk valgte innsjøer i Norge 1995.

Regional innsjøundersøkelse høsten 1995

**pH**

Kart 5.5 pH i tusen statistisk valgte innsjøer i Norge 1995.

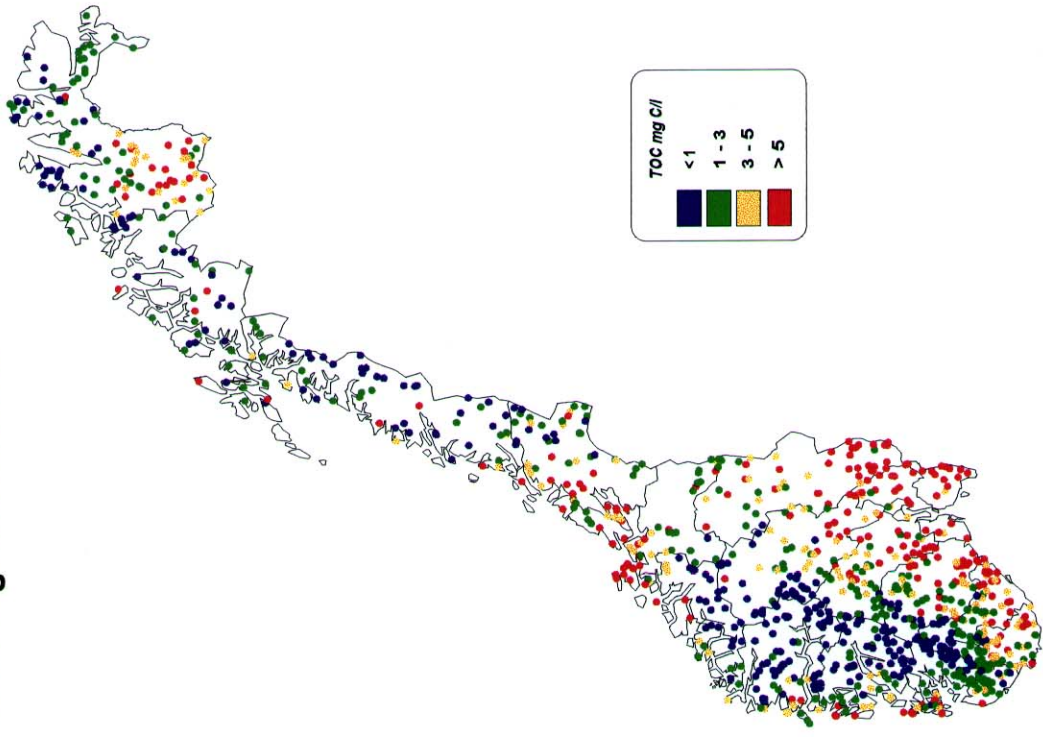
Regional innsjøundersøkelse høsten 1995

**Labilt aluminium**

Kart 5.6 Labilt (uorganisk) aluminium (µg/l) i tusen statistisk valgte innsjøer i Norge 1995.

Regional innsjøundersøkelse høsten 1995

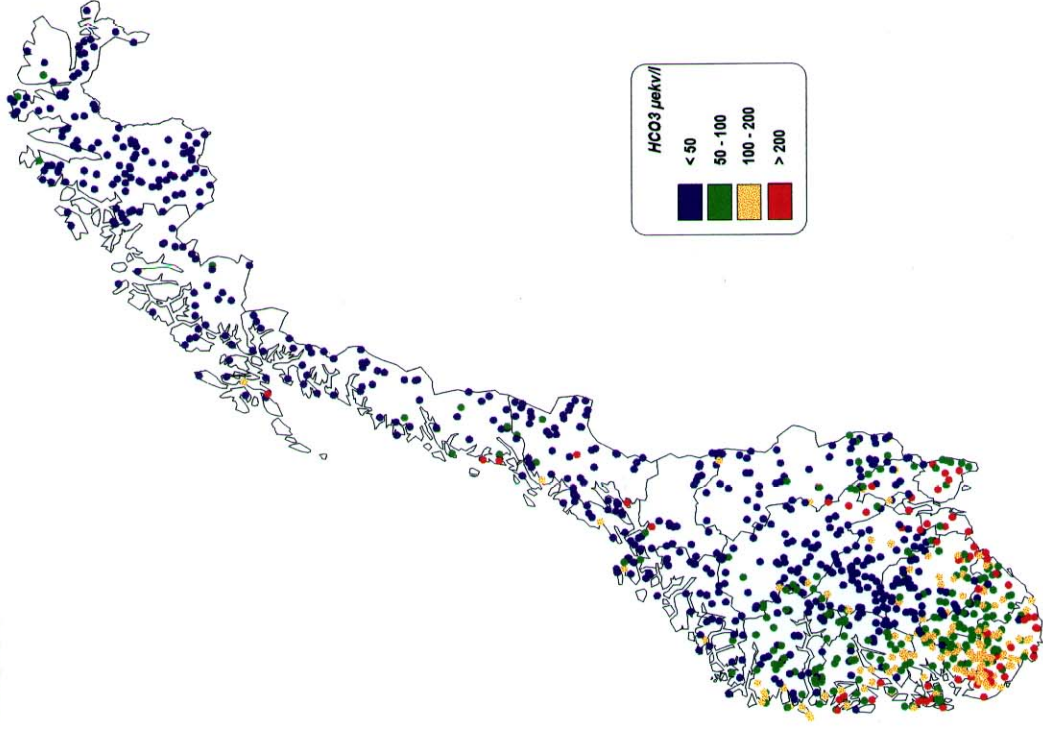
### Total organisk karbon



Kart 5.7 Total organisk karbon (TOC) (mg C/l) i tusen statistisk valgte innsjøer i Norge 1995.

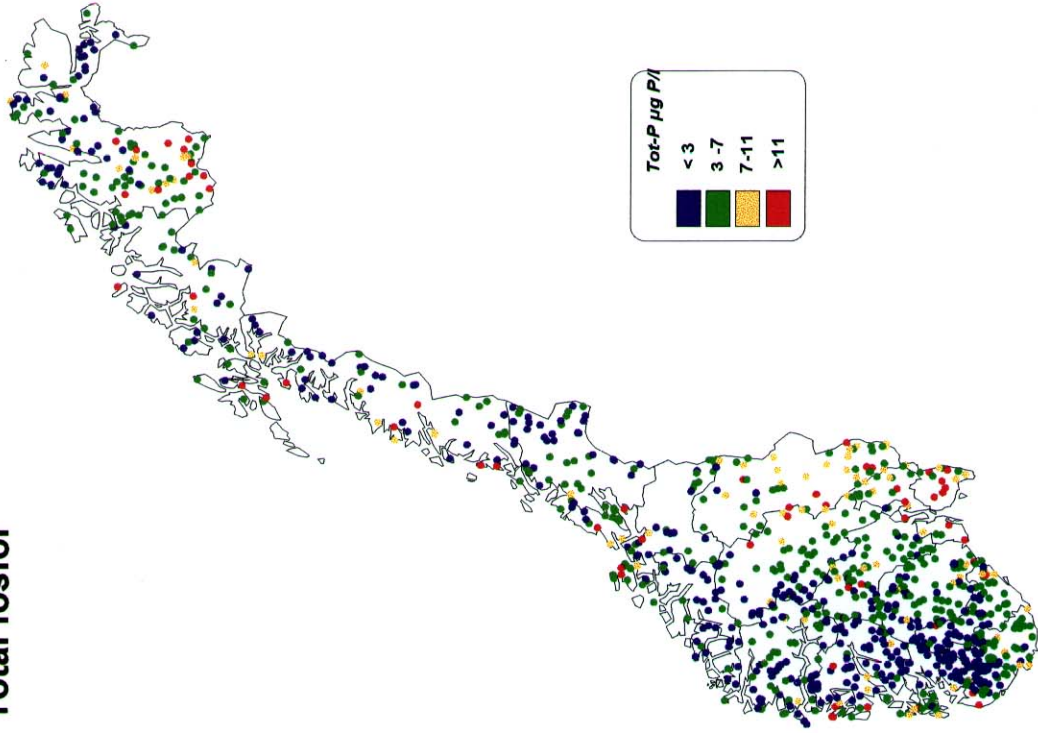
Regional innsjøundersøkelse høsten 1995

### Nitrat

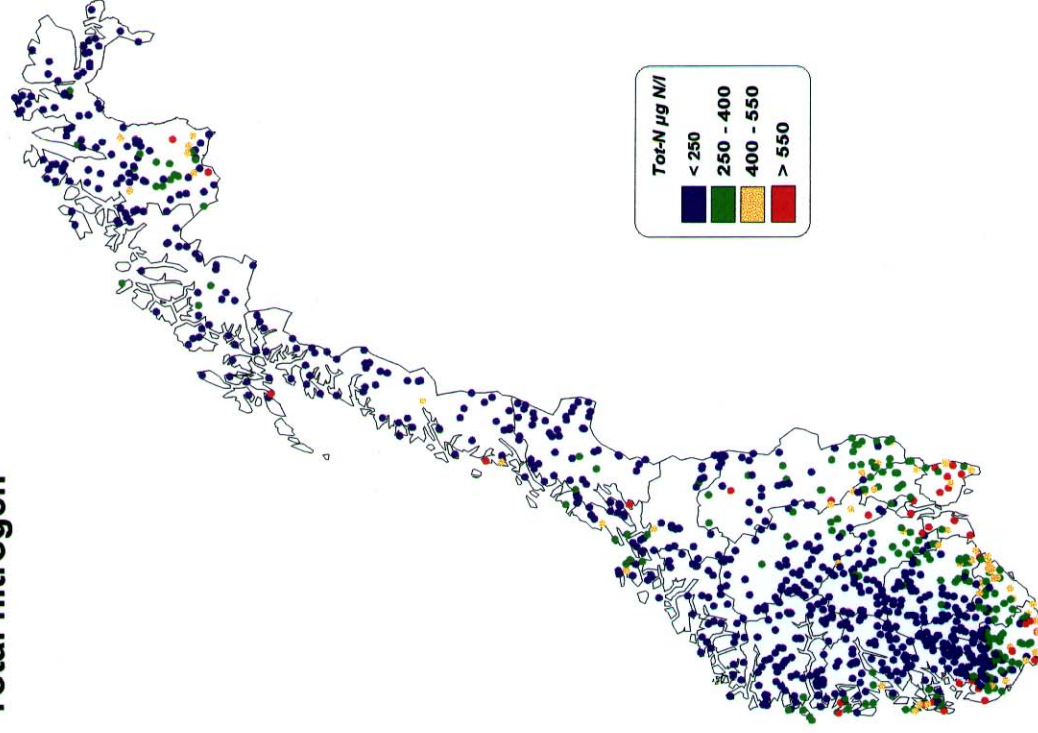


Kart 5.8 Nitrat ( $\mu\text{g N/l}$ ) i tusen statistisk valgte innsjøer i Norge 1995.

Regional innsjøundersøkelse høsten 1995

**Total fosfor**Kart 5.9 Total fosfor ( $\mu\text{g P/l}$ ) i tusen statistisk valgte innsjøer i Norge 1995.

Regional innsjøundersøkelse høsten 1995

**Total nitrogen**Kart 5.10 Total nitrogen ( $\mu\text{g N/l}$ ) i tusen statistisk valgte innsjøer i Norge.

## 6. Forskjeller i vannkjemi mellom store og små innsjøer

*Det er klare forskjeller i vannkjemi mellom små og store innsjøer. De små innsjøene har oftere lave konsentrasjoner av basekationer og alkalitet enn store innsjøene, og dermed også lavere verdier for ANC og pH og høyere konsentrasjoner av labilt Al. Tålegrensen for sur nedbør viser imidlertid svært lik fordeling for alle klassene. Ioner som hovedsaklig tilføres via nedbøren, som Cl og Na, har høyere konsentrasjoner i små enn i store innsjøer fordi små innsjøer er mer direkte påvirket av nedbørens kjemiske sammensetning. Sulfat som både tilføres gjennom forvitring og nedbør viser små forskjeller mellom små og store innsjøer. Ioner som er sterkt influert av andelen av organisk materiale i nedbørfeltet som organisk karbon, fosfor og total-nitrogen, har svært lik fordeling av konsentrasjoner. Høye konsentrasjonene av organisk karbon finnes riktignok hovedsakelig i de små innsjøene.*

Et av målene ved denne undersøkelsen var å se på forskjeller i vannkjemiske sammensetning for innsjøer med forskjellig størrelse. Utgangspunktet for dette var at vi ville undersøke om små innsjøer har tynnere vannkvalitet, og er mer følsomme for forsurening enn større innsjøer. For å se på forskjeller og likheter mellom små og store innsjøer ble innsjøene delt inn i 5 klasser som beskrevet i kapittel 2, og persentiler for alle variabler beregnet (Vedlegg A). For et utvalg av variabler, er også kumulativ frekvensfordeling presentert (figur 6.1).

Alle ioner som produseres fra berggrunn og mineralmateriale ved forvitring ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ , og  $\text{HCO}_3^-$ ) har oftere lave konsentrasjoner i små innsjøer enn i større innsjøer. Medianverdien for h.h.v. klasse 1, 2, 3, og 4 for ikke-marine basekationer ( $\text{Ca} + \text{Mg}$ )\* er 57, 64, 90 og 94  $\mu\text{ekv/l}$  og for alkalitet 37, 41, 56 og 53  $\mu\text{ekv/l}$ . Årsaken til disse forskjellene er både at små innsjøer ofte ligger høyere opp i nedbørfeltene enn store innsjøer, slik at en forholdsvis større andel av disse sjøene ligger i fjellområder hvor det er lite jord og løsmasser, men også at større innsjøer generelt har lengre oppholdstid. Siden store innsjøer generelt har større nedbørfelt enn små innsjøer, er sannsynligheten for at nedbørfeltet også inneholder delfelt med mineralmateriale som forvitrer raskere større enn for et lite nedbørfelt.

Tålegrensen for sur nedbør viser imidlertid svært lik fordeling for alle klassene. Det er en liten tendens til lavere tålegrenser for små innsjøer enn i store innsjøene. Årsaken til dette er at i tålegrenseberegninger (Vedlegg B) blir det også tatt hensyn til forvitringshastigheter og avrenning, slik at innsjøer med forskjellige opprinnelige nivåer av ANC kan få den samme tålegrensen.

Små innsjøer har altså en "tynnere vannkvalitet" enn større innsjøer og dette reflekteres i pH, labilt aluminium og ANC (syrenøytraliserende kapasitet). ANC har en større hyppighet av lave verdier i klasse 1 og 2 enn klasse 3 og 4 og medianverdiene for ANC for klasse 1, 2, 3 og 4 er henholdsvis 46, 50, 66 og 75  $\mu\text{ekv/l}$ . Små innsjøer i klasse 1 har større hyppighet av lave pH verdier enn større innsjøer. Medianverdien for pH i klasse 1, 2, 3 og 4 er henholdsvis 6.34, 6.47, 6.53 og 6.55. Klasse 1 og 2 er på samme måte som for basekationer svært like med hensyn på pH. Fordelingen av pH i de forskjellige klassene reflekteres i fordelingen av ikke-labilt (uorganisk bundet) aluminium. De minste innsjøene har større hyppighet av høye Al-verdier enn de større innsjøene. Fordelingen av ikke-labil Al for klasse 1 og 2 er svært like.

For ioner som har hovedkilden fra sjøsalter, slik som Cl og Na er det langt høyere verdier i de små enn i de store innsjøene. Små innsjøer har som oftest mindre nedbørfelt enn de store innsjøene og er derfor mer direkte påvirket av nedbørkjemien enn de store innsjøene.

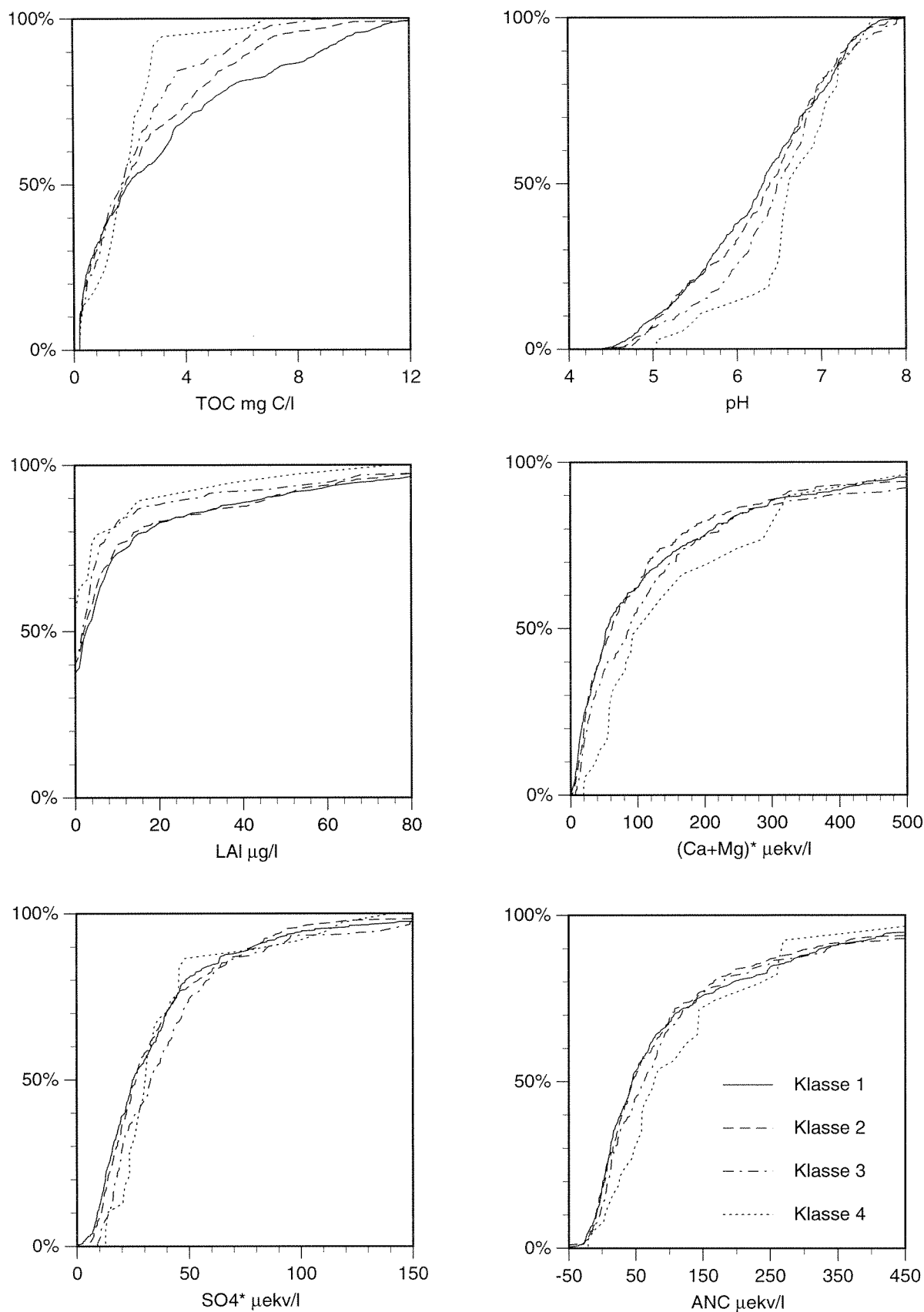
For sulfat hvor hovedkilden er sjøsalter og langtransporterte forurensninger, er det små forskjeller mellom innsjøene i de forskjellige klassene. Dette gjelder både "total"-sulfat og til en viss grad ikke-marin sulfat. For ikke-marin sulfat er det riktignok en større andel av lave verdier i de små innsjøene, men over medianverdien er det heller en tendens til at de store innsjøene har lavere verdier enn de små.

Hovedkilden til nitrat er langtransporterte forurensninger, men nitratnivået i innsjøer er en funksjon av opptaksprosesser i nedbørfeltet og prosesser i innsjøen. Fordelingskurvene for nitrat viser at de høyeste nitratverdiene finnes i de største innsjøene. I områder med lave konsentrasjoner av nitrat i innsjøene, er dette tydeligere enn i områder med et generelt høyt

nivå av nitrat i innsjøene, slik som på Sør-Vestlandet.

TOC (organisk karbon) viser omtrent samme fordeling for innsjøer med TOC < 2 mg C/l. Medianverdien varierer fra 1.7 - 2.0 mg C/l fra den minste til den største klassen. "Humøse sjøer" med TOC > 6 mg C/l, finner vi derimot hovedsakelig i de små klassene. I klasse 3 og 4 er det henholdsvis 7% og 3% av innsjøene som har over 6 mg C/l, mens det i klasse 1 og 2 er 20% og 12% med så høye TOC verdier. Total-nitrogen følger omtrent samme mønster som TOC, med små forskjeller mellom klassene hvis vi ser på medianverdiene. Hvis vi derimot ser på 90% persentilen, ser vi at det er de minste innsjøene som på samme måte som for TOC, har de høyeste verdiene. De aller høyeste verdiene for total-nitrogen finner vi riktignok i en liten prosentandel (2.5%) av de store innsjøene, som antageligvis er mest påvirket av menneskelig aktivitet.

Total-fosfor viser små forskjeller mellom innsjøer av forskjellige størrelser. Det er en tendens til at innsjøer med > 10 µg P/l hovedsaklig er å finne blant innsjøer < 10 km<sup>2</sup>.



**Figur. 6.1** Kumulativ frekvensfordeling av TOC, pH, labilt Al, ikke-marin Ca+Mg, ikke-marin sulfat og ANC i innsjøer av 4 forskjellige størrelsesklasser.



## 7. Endringer i vannkjemi de siste 10 årene

*Sammenligning av vannkjemien for 485 innsjøer som ble prøvetatt i 1986 og 1995 viser at det har vært en klar nedgang i sulfat i innsjøer i alle deler av landet i perioden. Nedgangen har medført en klar bedring av vannkvaliteten uttrykt ved en økning i ANC (syre-nøytraliserende kapasitet) og pH og nedgang i aluminium. Nedgangen i sulfat er kompensert av en liten nedgang i basekationer og for innsjøer hvor  $ANC < 0$ , en nedgang i  $H^+$  og  $Al^{3+}$ , mens for innsjøer med  $ANC > 0$ , en økning i alkalitet ( $HCO_3^-$ ). Alle endringene er mest markert i de mest forurede områdene av landet.*

I tidsrommet 1950-1970 var det en markert økning i utslipp til luft av svoveldioksid og nitrogenoksider i Europa. Som følge av internasjonale avtaler om reduksjoner i utslipp av svoveldioksid (Svovelprotokollene 1985 og 1994, UN/ECE 1985, 1994) er utslippene av svoveldioksid i Europa redusert med over 40% fra 1980 til 1993 (EMEP, 1996). Utslppsreduksjonen har vært størst i de vestlige land (50%), men også i øst er reduksjonene på over 30%. Utslippene av nitrogenoksider har i samme tidsrom endret seg lite. Ammoniumtilførselen økte fra 1950-tallet til midten av 1970-tallet, som følge av veksten i landbruksproduksjonen og et mer intensivt husdyrhold i Europa. Fra 1975 er imidlertid økningen liten (Tørseth, 1996).

Som følge av reduksjonene i utslipp av svovel i Europa er sulfat i nedbør redusert med 35-50% i Sør-Norge og 50-60% i Nord-Norge fra 1980 til 1995. Våtavsetningen av sulfat har også avtatt i den samme perioden (Tørseth, 1996). Årsmiddelkonsentrasjonene av nitrat og ammonium i nedbør viser derimot ingen endring siden 1980.

Sulfat er den "drivende kraften" i forsuringprosessen, og det er derfor av stor interesse å se hvilken betydning de reduserte tilførselene av svovel har for vannkvaliteten. Av de 1500 innsjøene som ble prøvetatt høsten 1995, ble 485 prøvetatt i 1986 (Henriksen et al. 1988). Dette utvalget av innsjøer danner grunnlaget for å se på endringer i vannets kjemiske sammensetning de siste 10 årene i Norge. Vi har foretatt en statistisk vurdering av disse endringene (enhalet t-test) for alle kjemiske

variabler for perioden 1986 til 1995 (tabell 7.1). Tabellen er organisert slik at man kan se hvilke ioner som har hatt innvirkning på endringer i ANC. Begge beregningsmåtene for ANC er tatt med (se kap. 4.3)

Resultatene viser at det har vært en signifikant nedgang i ikke-marin sulfat i alle landsdeler fra 1986 til 1995 på 11-32% (tabell 7.2). Nedgangen er størst på Sørlandet og Østlandet som har de høyeste konsentrasjonene av ikke-marin sulfat i innsjøene og hvor nedgangen i konsentrasjonen av sulfat i nedbør har vært størst. Generelt viser alle landsdeler størst nedgang i ikke-marin sulfat i de innsjøene som hadde de høyeste konsentrasjonene i 1986.

Endringer i ikke-marin sulfat i nedbøren gir også en endring i tilførsler av  $H^+$ -ioner, slik at en nedgang i ikke-marin sulfat gjennom nedbøren også gir en nedgang i tilførsler av  $H^+$ . Dette medfører redusert ionebytte i nedbørfeltene og mindre utvasking av kationer som  $H^+$ ,  $Al^{3+}$ ,  $Ca^{2+}$  og  $Mg^{2+}$ . Ved reduserte tilførsler av  $H^+$  vil også mindre av alkaliteten forbrukes til å buffre syre. Dette vil medføre en økning i alkaliteten ( $HCO_3^-$ ).

Når konsentrasjonene av sulfat i vannet går ned, medfører dette også en endring i konsentrasjoner av andre ioner i vannet fordi det alltid må være balanse mellom negative og positive ioner (se ligning 4.7)). Dette kan skje ved at andre negative ioner ( $Cl^-$ ,  $NO_3^-$ ,  $HCO_3^-$ , organiske anioner ( $A^-$ )) øker i konsentrasjon eller at positive ioner ( $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Na^+$ ,  $K^+$ ,  $H^+$ ,  $Al^{3+}$ ) avtar.

ANC øker signifikant i perioden 1986 til 1995 i alle deler av Norge (tabell 7.1) og på samme måte som for sulfat er denne endringen mest merkbar på Sør- og Østlandet og noe mindre markert på Vestlandet og i Midt- og Nord-Norge. Økningen i ANC er omtrent like stor som nedgangen i ikke-marin sulfat (på ekvivalentbasis) for Østlandet, Sørlandet og Vestlandet, men økningen i ANC er større enn nedgangen i sulfat for Midt- og Nord-Norge.

Det er høyere kloridkonsentrasjoner i 1995 enn i 1986 (kloridnivåene varierer fra år til år avhengig av meteorologiske forhold), men denne forskjellen balanseres av tilsvarende høyere natrium-konsentrasjoner, mens det er små endringer i basekationene kalsium, magnesium og kalium i perioden. Det er liten nedgang i ikke-marin Ca+Mg i alle landsdeler, mens det er en økning i ikke-marin natrium.

Totalt er det en svak, men signifikant nedgang i summen av ikke-marine basekationer (Ca+Mg+Na+K)\*. Nitrat viser bare små endringer i perioden, og har derfor ingen innvirkning på endringen i ANC.

Som vist i ligning 4.9, kan ANC også uttrykkes som differansen mellom summen av bikarbonat og organiske anioner og summen av H<sup>+</sup> og Al<sup>3+</sup>: Det er en klar økning i HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> i alle deler av landet. Denne økningen er minst i de mest forurede delene av landet. Det er små endringer i organiske anioner i perioden (beregnet på grunnlag av TOC), mens det har vært en liten men statistisk signifikant nedgang i H<sup>+</sup> (økning i pH) og Al<sup>3+</sup> i alle landsdeler med unntak av Nord-Norge (tabell 7.1). Denne nedgangen er mest markert på Sørlandet.

**Tabell 7.1** Midlere endring og standard avvik (uttrykt i uekv/l) for alle målte kjemiske komponenter fra 1986 til 1995 fordelt på landsdeler. Endringer som er signifikante (enhelet t-test) for  $p < 0.005$  er uthevet. Tabell A er organisert i forhold til ANC1, mens tabell B er organisert i forhold til ANC2. Organiske anioner er beregnet som vist i ligning 4.7, og aluminium er beregnet som Al<sup>3+</sup>.

$$\text{ANC1} = ([\text{Ca}^{2+}] + [\text{Mg}^{2+}] + [\text{Na}^+] + [\text{K}^+] + [\text{NH}_4^+]) - ([\text{Cl}^-] + [\text{SO}_4^{2-}] + [\text{NO}_3^-]) \quad (4.6)$$

<b>A</b>	Ca <sup>2+</sup>	+/-	Mg <sup>2+</sup>	+/-	Na <sup>+</sup>	+/-	K <sup>+</sup>	+/-	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	+/-	Cl <sup>-</sup>	+/-	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	+/-	ANC1	+/-
Østlandet	0	10	-3	5	6	16	-1	2	-21	12	3	15	-1	3	20	15
Sørlandet	-2	8	0	4	15	24	-1	2	-20	7	14	28	0	3	18	14
Vestlandet	-1	5	2	7	18	28	0	1	-9	7	19	32	1	3	8	15
Midt-Norge	-2	5	-3	11	1	21	0	1	-6	4	-9	35	0	1	11	20
Nord-Norge	0	12	-2	7	6	20	0	2	-9	10	-3	18	0	1	15	22

$$\text{ANC2} = [\text{HCO}_3^-] + [\text{A}^-] - [\text{H}^+] - [\text{Al}^{3+}] \quad (4.9)$$

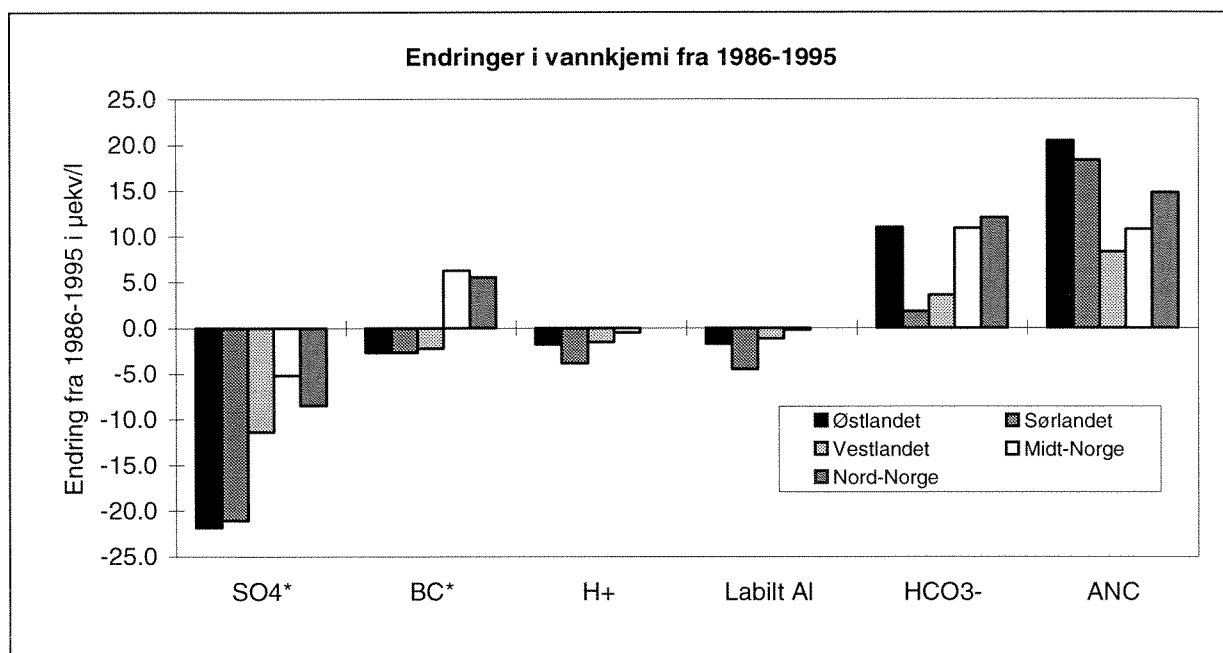
<b>B</b>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	+/-	A <sup>-</sup>	+/-	H <sup>+</sup>	+/-	Al <sup>3+</sup>	+/-	ANC2	+/-
Østlandet	11	18	2	7	-2	3	-2	29	16	14
Sørlandet	2	8	3	6	-4	5	-5	45	13	10
Vestlandet	4	7	1	4	-2	2	-1	34	6	7
Midt-Norge	11	8	0	3	0	1	0	3	12	12
Nord-Norge	12	5	1	3	0	1	0	3	13	16

I klare oligotrofe innsjøer er både alkaliteten og  $ANC < 0$  ved  $pH < ca. 5.2$  (Reuss og Johnson, 1986). Den økningen vi har hatt i ANC fra 1986 til 1995 utgjøres derfor av nedgang i  $H^+$  og  $Al^{3+}$  for innsjøer med  $ANC < 0$  og en økning i  $HCO_3^-$  for innsjøer med  $ANC > 0$ .

Dette betyr altså at nedgangen i ikke-marin sulfat totalt sett gir en liten nedgang i ikke-

marine basekationer for alle innsjøer sammen med nedgang i  $H^+$  og  $Al^{3+}$  for innsjøer med  $ANC < 0$ , og en økning i  $HCO_3^-$  for innsjøer med  $ANC > 0$ .

Midlere endring for et utvalg av kjemiske komponenter fordelt på landsdelene illustrert i figur 7.1.



Figur 7.1 · Middlere endring for ikke-marin sulfat ( $SO_4^*$ ), ikke-marin  $Ca+Mg+Na+K$  ( $BC^*$ ),  $H^+$  og labilt Al og ANC1 fra 1986 til 1995 fordelt på regioner.

Denne utviklingen i vannkjemi vi ser fra 1986 til 1995 indikerer at det er iferd med å skje en endring i jordforsuringen i Norge. Det er ikke mulig ut fra disse betraktningene å si om jordforsuringen bare har en mindre hastighet, om den er konstant eller om den er iferd med å avta, slik at basekationlageret i jorda er iferd med å bygge seg opp igjen. Selv om svoveldeposisjonene er betydelig redusert de siste 10-15 årene, og vannkvaliteten som en følge av det har blitt bedre, er det fremdeles jordforsuring, om enn "langsommere" enn

tidligere. D.v.s. at basekationer vaskes ikke ut av nedbørfeltene i samme "hastighet" som tidligere.

I tabell 7.2 er middelverdien for et utvalg av komponenter beregnet for 1986 og 1995 fordelt på regioner. (Den midlere endringen som er presentert i tabell 7.1 er ikke direkte sammenlignbar med differansen mellom middelverdiene i 1986 og 1995 i tabell 7.2).

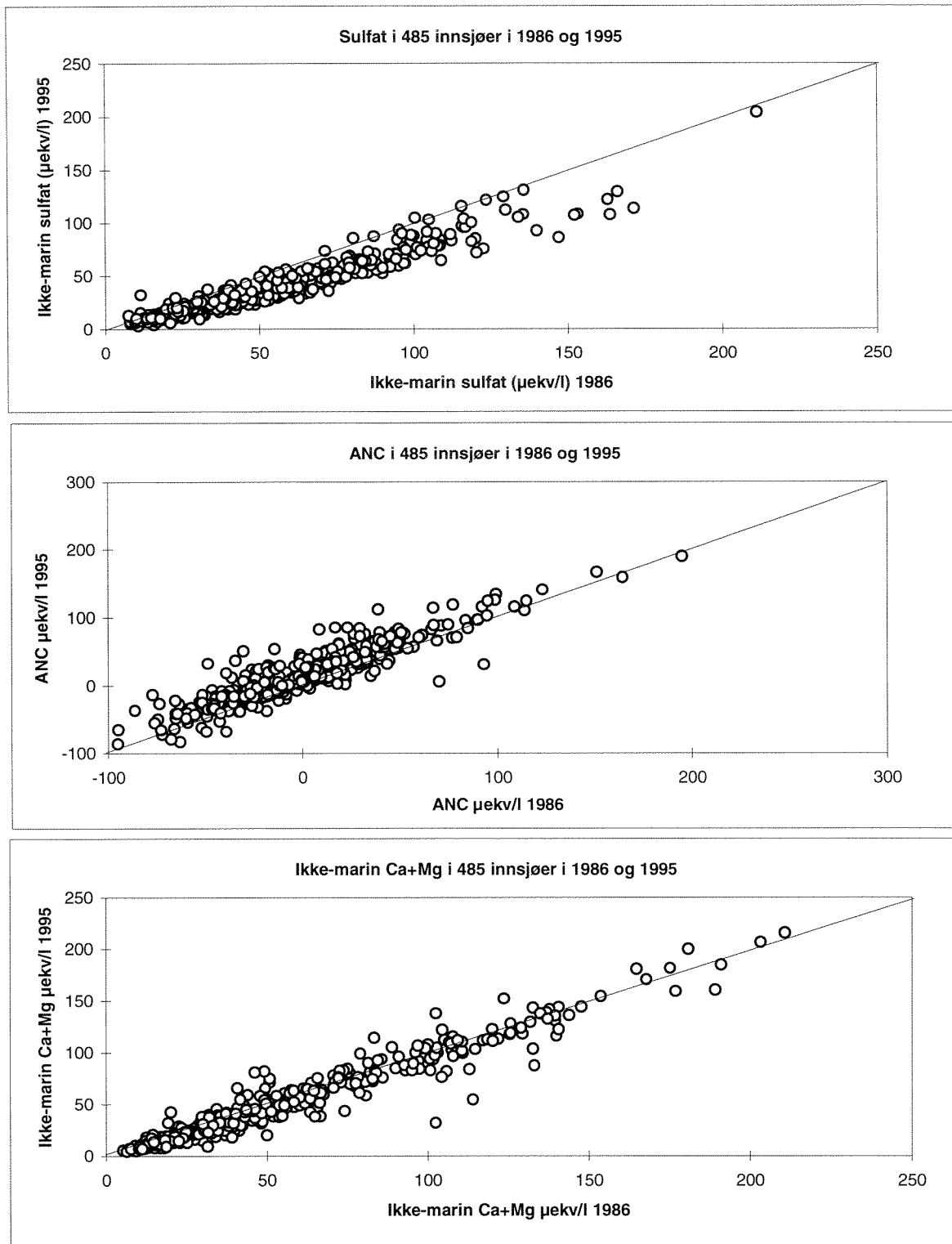
**Tabell 7.2** Middelerverdier for et utvalg av komponenter fordelt på regioner i de 485 innsjøene som har blitt prøvetatt i 1986 og 1995

	SO <sub>4</sub> * µekv/l			ANC µekv/l		(CM)* µekv/l		pH		LAI µg/l	
	1986	1995	% endring	1986	1995	1986	1995	1986	1995	1986	1995
Østlandet	73	50	32	19	39	79	78	5.44	5.65	42	28
Sørlandet	60	36	40	-28	-12	29	22	4.82	4.97	112	64
Vestlandet	30	23	25	-8	1	26	21	5.24	5.39	22	15
Midt-Norge	16	12	25	17	26	32	30	6.09	6.15	4	1
Nord-Norge	47	42	11	24.5	43	73	75	6.45	6.52	0	0

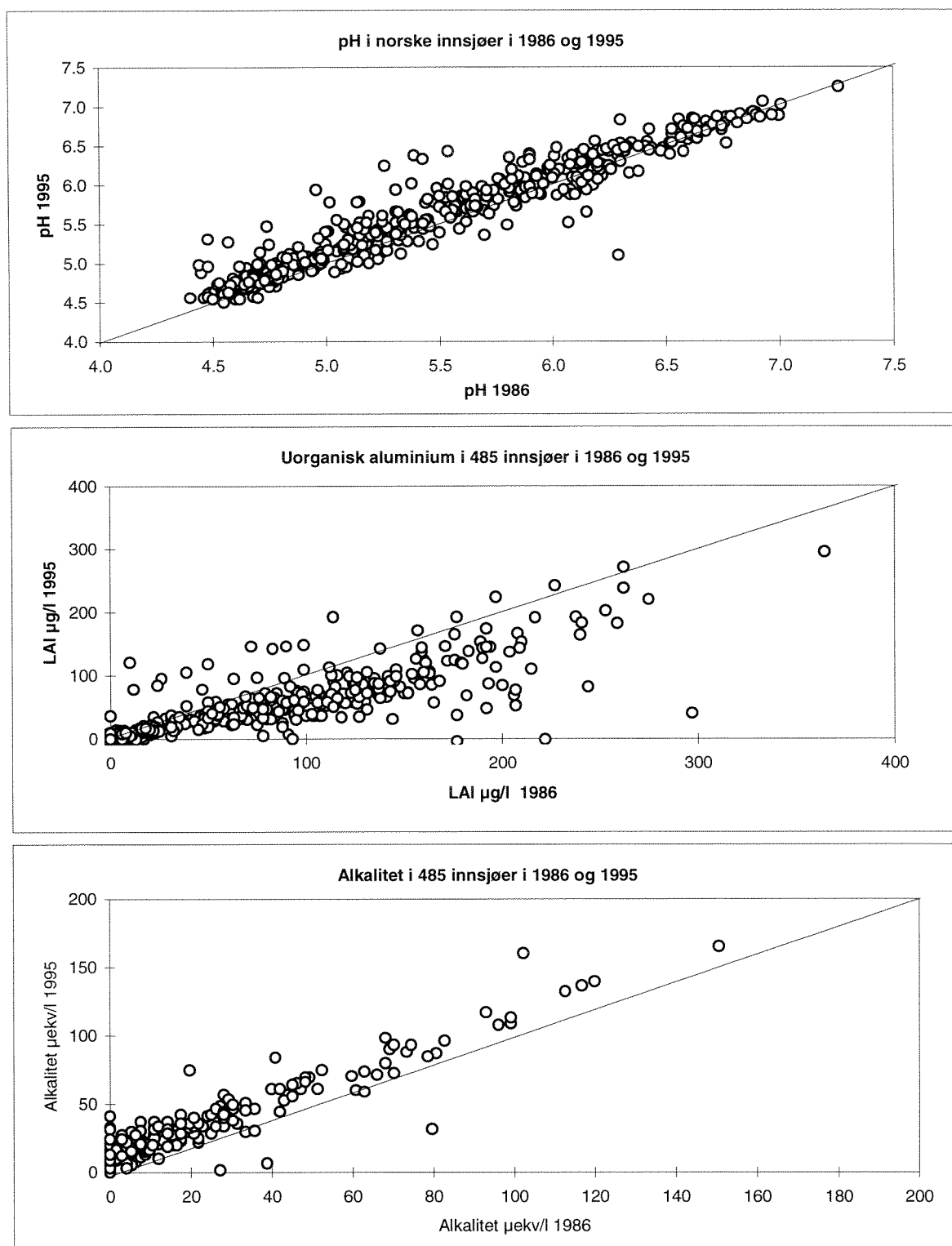
Endringene i konsentrasjoner av ikke-marin sulfat, ANC, ikke-marine basekationer, pH, uorganisk aluminium og alkalitet kan også fremstilles grafisk (figur 7.2). Her illustreres tydelig nedgangen i ikke-marin sulfat og økningen i ANC. Nedgangen i ikke-marine basekationer er liten, men likevel tydelig på figuren. Økningen i pH (nedgang i H<sup>+</sup>), nedgangen i uorganisk Al og økningen i alkalitet vises tydelig på figur 7.3. Disse figurene illustrerer også et annet svært viktig poeng i denne sammenhengen; forskjellen mellom en statistisk sannsynlighet for hele datamaterialet og utviklingen i den enkelte innsjø. Selv om f.eks. sulfatinnholdet avtar signifikant fra 1986 til 1995 er det mange

innsjøer i de forskjellige regionene hvor sulfat avtar mer eller mindre enn den midlere nedgangen. For alle regioner unntatt Sørlandet er det også endel innsjøer som øker i sulfatinnhold. De statistiske resultatene for utviklingen i vannkjemi i de forskjellige regionene viser hva de generelle trenden er, og den forteller også med 95% sannsynlighet hva utviklingen for en bestemt innsjø er, men det er samtidig også en sannsynlighet, selv om den er mindre, at innsjøen har en annen vannkjemisk utvikling.

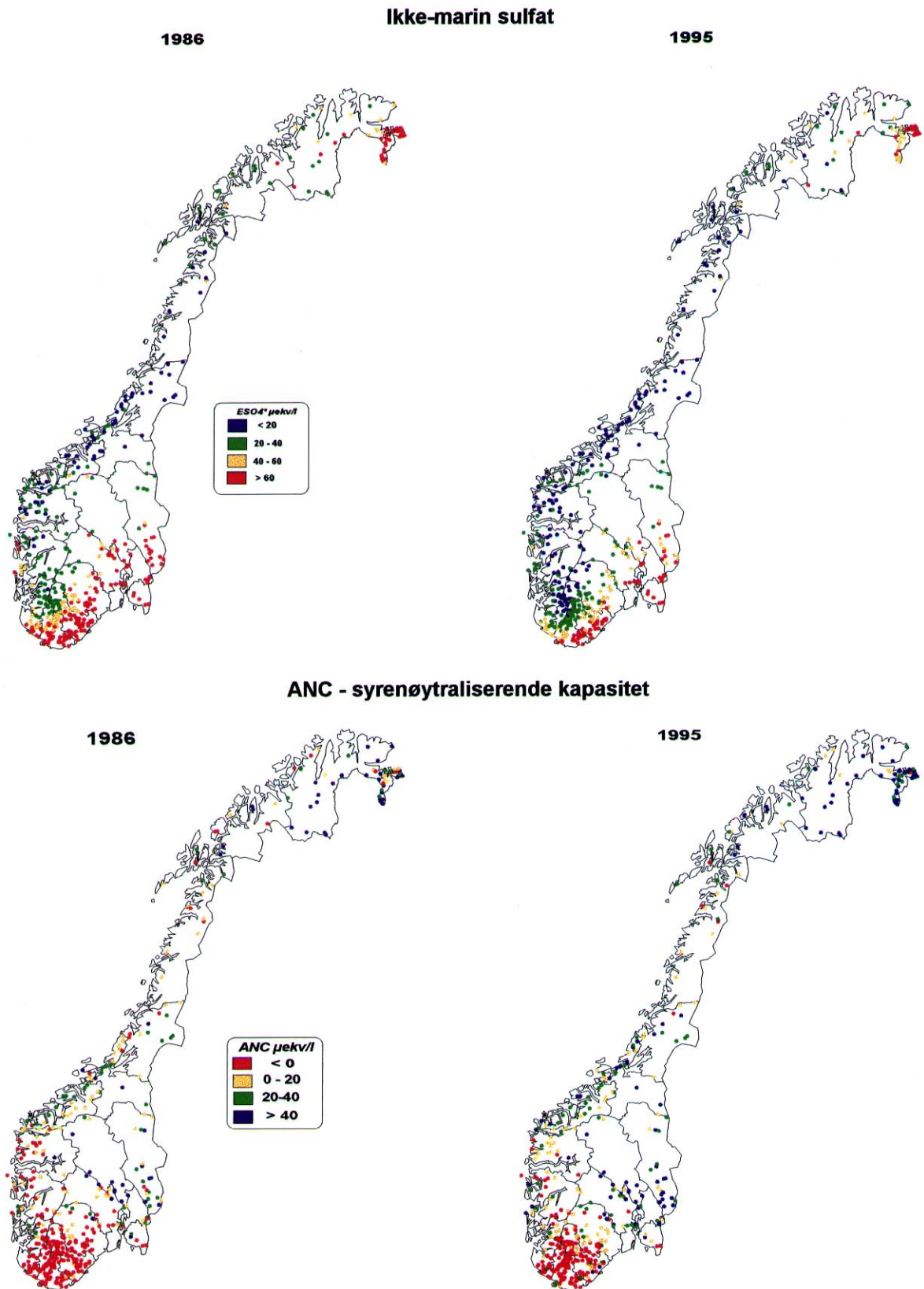
Endringen i ikke-marin sulfat og ANC er fremstilt på kart 7.1, og gir et regionalt bilde av endringene.



Figur 7.2 Endringer i Ikke-marin sulfat, ANC og ikke marine basekationer i 485 innsjøer fra 1986 til 1995



Figur 7.3 Endringer i pH labil (uorganisk) aluminium og alkalitet i 485 innsjøer fra 1986 til 1995.



**Kart 7.1** Konsentrasjoner av ikke-marin sulfat og ANC for 485 innsjøer med prøvetaking i 1986 ("1000-sjøers undersøkelsen 1986", Henriksen et al 1988) og 1995.

## 8. Forsuringssituasjonen - tålegrenser

*De naturgitte forholdene i Norge gjør at tålegrensene for tilførsler av syre generelt er lave over hele landet. Størst andel av innsjøer med overskridelser av tålegrensen finner vi på Sørlandet og Vestlandet, mens Midt-Norge har minst andel av innsjøer der tålegrensen er overskredet. Hvis de vedtatte målene for reduksjoner i utslipp av svovel i Europa blir nådd, og en ny likevekt mellom tilførsler og avrenning har inntrådt, vil det bli betydelige reduksjoner i prosentandelen av innsjøer med overskridelser. Østlandet vil få de største reduksjonene, mens Sørlandet og spesielt Vestlandet viser noe mindre nedgang i prosentandel av innsjøer med overskridelser av tålegrensen. Årsaken til dette er at overskridelsene av tålegrenser for tilførsler av syre i disse landsdelene i dag er store, slik at det krever kraftige reduksjoner i syretilførsler (S- og N-deposisjon) for å komme ned til et nivå som ikke overskrider tålegrensen. På Østlandet ligger mange av innsjøene idag like over grensen til overskridelse, slik at her det nødvendig med mindre reduksjoner i syretilførsler.*

Tålegrenser for atmosfærisk tilførsel av svovel og nitrogen til et økosystem er definert som:

**"Den høyeste konsentrasjon av sure forbindelser som ikke vil forårsake kjemiske endringer som fører til skadelige effekter på økosystemets struktur og funksjon på lang sikt." (Nilsson og Grennfelt, 1988).**

For å kunne beregne tålegrenser for overflatevann, må man definere en grenseverdi for ANC. Utfra informasjon om sammenheng mellom vannkjemi og fiskestatus fra "1000-sjøers undersøkelsen" i 1986 (Henriksen et al. 1988), ble denne verdien satt lik 20  $\mu\text{ekv/l}$  (Lien et al. 1996). Den naturlige ANC-verdien kan imidlertid i mange tilfeller med svært tynn vannkvalitet være mindre enn 20  $\mu\text{ekv/l}$  (se kap. 6) og tålegrensen blir da lik null, d.v.s at vannet ikke vil tåle noen tilførsler av forsurende komponenter. Det viser seg imidlertid at i områder med lite sur nedbør, kan ANC i innsjøer naturlig være svært lav (< 20  $\mu\text{ekv/l}$ ) eller lik null uten at det gir skader på f.eks. fisk, mens i områder som i utgangspunktet hadde høye ANC-verdier i innsjøene med store tilførsler av sur nedbør vil man kunne se store skader på fiskebestander ved så lave ANC-verdier. For ikke å underestimere tålegrensene er det innført en variabel ANC som er en funksjon av

egenskaper i nedbørfeltet; forvitring og avrenning. Effekten av "variabel"  $\text{ANC}_{\text{limit}}$  er at man ikke beregner overskridelser av tålegrensen for innsjøer i områder som mottar lite sur nedbør. Samtidig vil den gi høyere overskridelser i områder som mottar mye sur nedbør, men som har en naturlig høy ANC-verdi og hvor faunaen i disse innsjøene er tilpasset en høy ANC.

Tålegrensene for forsuring av overflatevann er en funksjon av forvitring og avrenning som beskrevet i vedlegg B. På grunn av dette ser vi mye av det samme geografiske mønsteret (kart 8.1) for beregnet tålegrense som for bikarbonat (alkalitet) og basekationer. De røde og gule "prikkene" på kart 8.1 viser lave tålegrenser, mens grønne og blå "prikker" viser høye tålegrenser. Siden basekationinnholdet og alkaliteten generelt er lav i hele landet, får vi også lave tålegrenser. Innsjøer i Nord-Norge har de høyeste tålegrensene (medianverdi 86  $\text{mekv/m}^2/\text{år}$ ), mens innsjøer på Sørlandet og Vestlandet har de laveste (medianverdi h.h.v 34 og 32  $\text{mekv/m}^2/\text{år}$ ). Dette er samtidig de områdene i Norge som har den høyeste deposisjonen av antropogen svovel og nitrogen ("sur nedbør").

Overskridelser av tålegrensene (se vedlegg B for beskrivelse av metoden) er beregnet på basis av svoveldeposisjonstall fra NILU for



periodene 1983-1987 og 1988-1992 (1985 og 1990 i tabellen (Tørseth og Pedersen, 1994)) og beregnet svoveldeposisjon i 2010 når svovelprotokollen som ble under-skrevet i Oslo, juni 1994 (UN/ECE, 1994) har full effekt. Svovelprotokollen innebærer en 58% reduksjon i svoveldeposisjon over Norge relativt til deposisjonen i 1980. For nitrogen antar vi at dagens avrenning av nitrat utgjør nitrogenets bidrag til forsuring, og at denne ikke endrer seg.

Den geografiske utbredelsen av beregnet overskridelse av tålegrensene i 1990 og 2010 er vist på kart 8.2. Prosentiltabell for overskridelser av tålegrensene for 1985, 1990 og 2010 for de forskjellige landsdelene er listet i Vedlegg A, mens tabell 8.1 angir prosent-andel av innsjøer i de forskjellige landsdelene med overskridelse av tålegrensene for de tre årene. Beregninger av overskridelser i 2010 forutsetter at målene for reduksjoner av svovelutslipp i Europa er nådd og baserer seg videre på at det har inntrådt en ny likevekt mellom tilførsler og avrenning.

Sørlandet og Vestlandet har størst andel av innsjøer med overskridelser av tålegrensen, mens Midt-Norge har minst andel av innsjøer

med overskridelse. Østlandet viser den kraftigste reduksjonen, fra 40% i 1985 til 3% i 2010, mens Sørlandet og spesielt Vestlandet viser noe mindre nedgang i prosentandel av innsjøer med overskridelser. Årsaken til dette er at overskridelsene av tålegrensene for tilførsler av syre i disse landsdelene i dag er store (røde "prikker" på kart 8.2), slik at det krever kraftige reduksjoner i syretilførsler (S- og N-deposisjon) for å komme ned til et nivå som ikke overskrider tålegrensen. På Østlandet ligger mange av innsjøene idag like over grensen til overskridelse (gule "prikker" på kart 8.2), slik at her det nødvendig med mindre reduksjoner i syretilførsler.

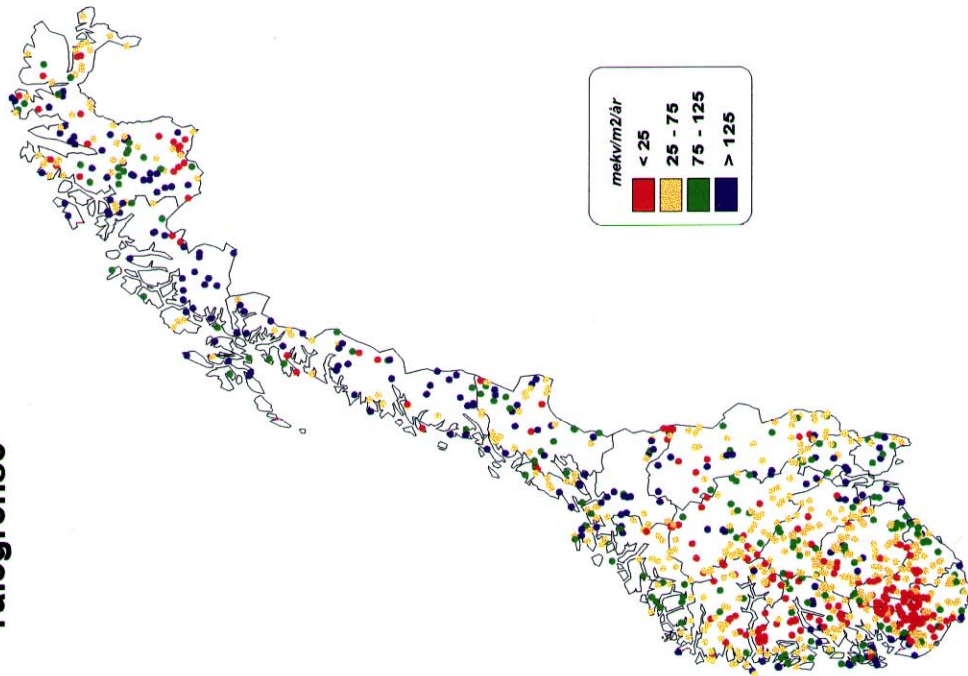
Henriksen et al. (1996) har beregnet *arealer* med overskridelser av tålegrensen i Norge, ved bruk av den samme beregningsmetodikken og de samme deposisjonstallene, men har tallfestet dette til landareal. Andel av arealet i Norge med overskridelser beregnet ved denne metoden er henholdsvis 30%, 25% og 11% for 1985, 1990 og 2010. Dette viser at det er god overensstemmelse mellom prosent arealer med overskridelser av tålegrensen, og prosent av innsjøer med overskridelse av tålegrensen, selv om de to metodene ikke er direkte sammenlignbare.

**Tabell 8.1** Prosentandel av innsjøer med overskridelse av tålegrensene for syre i 1985, 1990 og 2010. Tallene er beregnet på basis av NILU's deposisjon tall for 1985, 1988-1992 (1990) (Tørseth og Pedersen, 1994), og scenarier for 2010, gitt de reduksjonene i svovelutslipp i Europa som forutsatt i Svovelprotokollen fra 1994 (UN/ECE, 1994).

	% innsjøer med overskridelser i:		
	1985	1990	2010
Østlandet	40	20	3
Sørlandet	75	65	45
Vestlandet	66	65	51
Midt-Norge	6	5	0
Nord Norge	16	14	6
Hele Norge	34	29	18

Regional innsjøundersøkelse høsten 1995

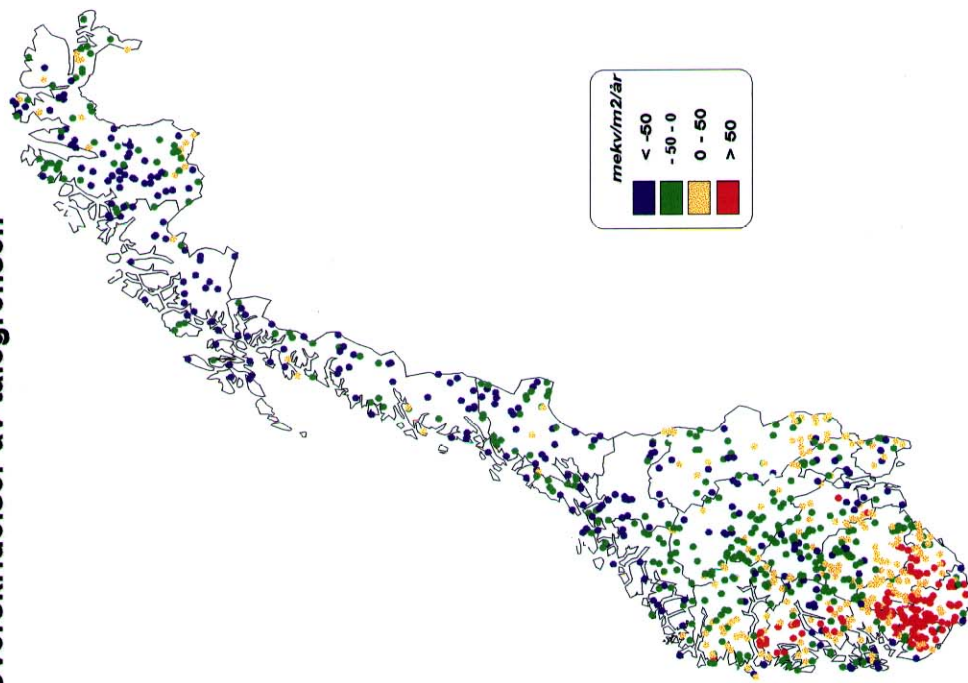
## Tålegrense



Kart 8.1 Tålegrensen for tilførsler av syre i tusen statistisk valgte norske innsjøer basert på "variabel" ANC<sub>limitt</sub>. Verdiene angir hvor høy S+N deponisjon angitt i syreekvivalenter pr. m<sup>2</sup> i året en innsjø kan motta uten at tålegrensen for syre i innsjøen overskrides.

Regional innsjøundersøkelse høsten 1995

## Overskridelser av tålegrensen



Kart 8.2 Overskridelse av tålegrensene for forsuring, beregnet med "dagens" S-deponisjon (middelverdier fra NILU for 1988-1992) og dagens nitrogen avrenning.

## 9. Referanser

- Anderson, N.J., 1993. Natural vs. anthropogenic change in lakes: The role of the sediment record. *Trends in Ecol. Evol.* 8: 356-361.
- Berge, D., Bokn, T., Faafeng, B., Johansen, S.W., Johnsen, T., Lømsland, E. og Tjomsland, T., 1995. Effekter av overgjødning: dose/respons av næringssaltene fosfor og nitrogen. Status og kunnskapsmangler. NIVA-rapport l.nr. 3289, 76s.
- Birks, H.J.B., J.M. Line, S. Juggins og A.C. Stevens og C.J.F. ter Braak 1990. Diatoms and pH reconstructions. *Land* 327: 263-278.
- Dise, N. og Wright, R.F. 1995. Nitrogen leaching from European forests in relation to nitrogen deposition. *Forest Ecology and Management* 7, 153-161.
- EMEP, 1996. MSC-W Status Report 1996, Part one; Estimated dispersion of acidifying agents and of near surface ozone. EMEP/MSC-W 1/96. Oslo.
- Faafeng, B., Brettum, P. og Hessen, D. 1990a. Landsomfattende undersøkelse av trofitalstanden i 355 innsjøer i Norge. Statlig program for forurensingsovervåking, SFT, Rapport 389/90. NIVA l.nr. 2355. 57 s.
- Faafeng, B., Hessen, D. og Brettum, P. 1990b. Landsomfattende trofiundersøkelse av innsjøer. Oppfølging av 49 av de 355 undersøkte innsjøene i 1989. Statlig program for forurensingsovervåking, SFT, Rapport 425/90. NIVA l.nr. 2476. 69 s.
- Faafeng, B., Hessen, D. og Brettum, P. 1991. Eutrofiering av innsjøer i Norge. Generelt om eutrofiering og resultater fra en landsomfattende undersøkelse i 1988 og 1989. Statlig program for forurensingsovervåking, Rapport 497/92. NIVA O-90075. 36 s.
- Flaten, T.P. og Bølviken, B. 1991. Geographical association between drinking water chemistry and the mortality and morbidity of cancer and some other diseases in Norway. *the Science of the Total Environment*, 102: 75-102.
- Frey, D.G. 1986. Cladocera analysis. I: (red.; B.E.Berglund): *Handbook of Holocene Paleocology and Paleohydrology*: 667-692. John Wiley and Sons, New York.
- Henriksen, A. 1979. Regionale vann- og snøundersøkelser 1976-77 and 1977-78. SNSF-project, TN46/79, 21 s
- Henriksen, A., Lien, L., Traaen, T.S., Sevaldud, I.S. og Brakke, D. 1988. Lake acidification in Norway - present and predicted chemical status. *Ambio* 17, 259-266.
- Henriksen, A., Kämäri, J., Posch, M., Lövblad, G., Forsius, M. og Wilander, A. 1990. Critical loads to surface waters in Fennoscandia. Nordic Council of Ministers. Miljørapport 1990:124.

- Henriksen, A., Posch, M., Hultberg, H. og Lien, L. 1995. Critical loads of acidity for surface waters - Can the ANC<sub>limit</sub> be considered variable? *Water, Air and Soil Pollut.* 85: 2419-2424.
- Henriksen, A. Hesthagen, T, Fjeld, E. 1996. Overskridelser av tålegrenser for overflatevann og skader på fiskebestander. *Naturens Tålegrenser. fagrapport nr. 82. NIVA-rapport LNR 3565-96.*
- Henriksen, A. Skjelkvåle, B.L., Lien, L. Traaen, T.S., Mannio, J., Forsius, M., Kämäri, J., Makinen, A. Berntell, A., Wiederholm, T., Wilander, A., Moiseenko, T., Lozovik, P., Filatov, N., Niinioja, R., Harriman, R., og Jensen, J.P. 1996. Regional lake Surveys in Finland - Norway - Sweden - Northern Kola - Russian Karelia - Scotland and Wales. Coordination and design. NIVA-rapport 3420-1996.
- Henriksen, A., Skjelkvåle, B.L., Traaen, T.S., Fjeld, E., Mannio, J., Forsius, M., Vuorenmaa, J., Kortelainen, P., Wilander, A., Moiseenko, T., Harriman, R. og Jensen, J.P. 1997 in prep. Regional Lake Surveys 1995 in Finland - Norway - Sweden- Denmark Russian Kola - Russian Karelia Scotland - Wales. Results
- Holtan, H. og S.O. Åstebøl, 1990. Håndbok i innsamling av data om forurensningstilførsler til fjorder og vassdrag. Revidert utgave. NIVA-rapport l.nr. 2510. 53s.
- Holtan, H., L. Kamp-Nielsen og A.O. Stuanes, 1988. Phosphorus in soil, water and sediment: an overview. *Hydrobiol.* 170: 19-34.
- Jeppesen, E., E.A. Madsen og J.P. Jensen, 1996. Reconstructing the past density of planktivorous fish and trophic structure from sedimentary zooplankton fossils: a surface sediment calibration data set from shallow lakes. *Freshwat. Biol.* 36: 115-127.
- Lien, L., Raddum, G.G., Fjellheim, A. & Henriksen, A. 1996. A critical limit for acid neutralizing capacity in Norwegian surface waters, based on new analyses of fish and invertebrate responses. *Sci. Tot. Environ.* 177, 173-193.
- Låg, J. 1981. Berggrunn, jord og jordsmonn. Landbruksforlsget 1981.
- Nilsson, J. og Grennfelt, P. (redaktører) 1988. Critical loads for sulphur and nitrogen - report from a workshop held at Skokloster, sweden 19-24 march, 1989 418 sider. UN/ECE og Nordic Council of Ministers, 1988. Nord 1988:15.
- Overrein, L.N. Seip, H.M. og Tollan, A. 1981. Acid Precipitation - effects on forest and fish. Final report of the SNSF-project 1972-1980. SNSF-project FR 19/80. 175 s.
- Reuss, J.O. og Johnson, D.W. 1986. Acid Deposition and the Acidification of Soils and Waters. Springer, New York.
- SFT, 1982. Regionale vann- og snøundersøkelser 1981. SFT-rapp. 27/82. NIVA rapp.- 80006-03
- SFT, 1996. Overvåking av langtransportert forurenset luft og nedbør. Årsrapport - Effekter. Skjelkvåle, B.L. (red.). SFT 671/96.
- Sigmond, E.M.O., Gustavson, M. og Roberts, D. 1984. Berggrunskart over Norge, 1:1 mill. Norges geologiske Undersøkelse, Trondheim.

- Skjelkvåle, B.L. 1994. Factors influencing fluoride concentration in Norwegian lakes. *Water Air and Soil Poll.* 77:151-167.
- Skjelkvåle, B.L., Henriksen, A. Vadset, M. og Røyset, O. 1996. Sporelementer i norske innsjøer - Foreløpig resultat for 473 sjøer. NIVA 3457-96. 18 sider.
- Thoresen, M. 1991. Nasjonalatlas for Norge. Jordarter. Hovedtema 2: Landformer, berggrunn og løsmasser. Statens Kartverk, Hønefoss.
- Tørseth, K. og Pedersen, U. 1994. Deposition of sulphur and nitrogen components in Norway. 1988-1992. Norsk institutt for luftforskning (NILU): OR 16/94.
- Tørseth, K. 1996. Overvåking av langtransportert forurenset luft og nedbør. Atmosfærisk tilførsel, 1995. NILU OR 38/96, SFT 663/96.
- UN/ECE, 1985. Protocol on the reduction of sulphur emissions or their transboundary fluxes by at least 30%. United Nations, Geneva.
- UN/ECE, 1994. Protocol to the 1979 convention on long-range transboundary air pollution on further reduction of sulphur emissions. Document ECE/EB.AIR/40. New York og Geneva.
- Wright, R.F. og Henriksen, A., 1978. Chemistry of small Norwegian lakes with special reference to acid precipitation. *Limnol. Oceanogr.* 23, 487-498.
- Wright, R.F. og Snekvik, E., 1978. Acid precipitation: Chemistry and fish populations in 700 lakes in Southernmost Norway. *Verh. Int. Verein. Limnol.*, 20, 765-775, også SNSF-projekt, TN37/77.
- Wright, R.F., Dale, T., Henriksen, A., Hendrey, G.R., Gjessing, E.T., Johannessen, M, Lysholm, J. og Støren, E., 1977. Regional surveys of small Norwegian lakes October 1974, March 1975, March 1976 and March 1977. SNSF-projekt, IR33/77, 153 p.

## **Vedlegg A. Prosentiltabell**

Prosentilene er beregnet som forklart i kap. 3.1.1

Prosentiler	2.5 %	10 %	25 %	50 %	75 %	90 %	97.5 %
<b>pH</b>							
Klasse 1	4.69	5.09	5.66	<b>6.34</b>	6.97	7.31	7.63
Klasse 2	4.76	5.14	5.82	<b>6.47</b>	6.93	7.31	7.77
Klasse 3	4.86	5.38	6.03	<b>6.53</b>	6.96	7.41	7.90
Klasse 4	4.65	5.04	6.18	<b>6.55</b>	6.99	7.21	7.63
<b>Alle</b>	<b>4.75</b>	<b>5.12</b>	<b>5.71</b>	<b>6.40</b>	<b>6.95</b>	<b>7.32</b>	<b>7.67</b>
Østlandet	4.89	5.41	5.99	<b>6.44</b>	6.89	7.23	7.66
Sørlandet	4.54	4.70	4.87	<b>5.31</b>	6.23	6.58	7.19
Vestlandet	4.76	4.94	5.22	<b>5.62</b>	6.15	6.60	6.96
Midt-Norge	5.34	5.67	6.09	<b>6.40</b>	6.81	7.20	7.54
Nord-Norge	5.35	5.87	6.34	<b>6.80</b>	7.22	7.48	7.81
<b>Konduktivitet mS/m</b>							
Klasse 1	0.48	0.66	1.11	<b>2.28</b>	3.58	5.81	10.30
Klasse 2	0.49	0.71	1.25	<b>2.11</b>	3.67	6.39	10.90
Klasse 3	0.59	0.83	1.38	<b>2.35</b>	4.04	6.98	14.80
Klasse 4	0.92	1.10	1.23	<b>1.59</b>	3.12	5.62	7.77
<b>Alle</b>	<b>0.49</b>	<b>0.70</b>	<b>1.18</b>	<b>2.20</b>	<b>3.64</b>	<b>6.23</b>	<b>10.90</b>
Østlandet	0.43	0.54	0.92	<b>1.74</b>	2.60	4.56	17.28
Sørlandet	0.53	0.68	1.03	<b>1.74</b>	2.79	4.16	8.95
Vestlandet	0.33	0.49	0.76	<b>1.40</b>	3.13	5.74	9.24
Midt-Norge	0.62	0.79	1.33	<b>2.38</b>	3.56	5.92	16.55
Nord-Norge	0.59	1.02	1.77	<b>2.88</b>	4.39	6.85	14.80
<b>Kalsium - Ca mg/l</b>							
Klasse 1	0.12	0.21	0.41	<b>0.99</b>	2.96	5.43	13.40
Klasse 2	0.14	0.25	0.43	<b>1.13</b>	2.54	5.69	13.00
Klasse 3	0.21	0.32	0.60	<b>1.47</b>	2.93	7.25	19.10
Klasse 4	0.44	0.74	0.94	<b>1.40</b>	3.36	5.19	10.50
<b>Alle</b>	<b>0.12</b>	<b>0.22</b>	<b>0.43</b>	<b>1.07</b>	<b>2.73</b>	<b>5.69</b>	<b>13.40</b>
Østlandet	0.22	0.39	0.72	<b>1.65</b>	2.94	5.50	17.54
Sørlandet	0.10	0.17	0.28	<b>0.62</b>	1.36	2.95	6.56
Vestlandet	0.09	0.13	0.21	<b>0.39</b>	0.92	2.07	5.24
Midt-Norge	0.21	0.37	0.51	<b>0.94</b>	1.98	5.41	14.62
Nord-Norge	0.17	0.32	0.71	<b>1.70</b>	4.30	8.18	21.40
<b>Magnesium - Mg mg/l</b>							
Klasse 1	0.04	0.08	0.15	<b>0.39</b>	0.71	1.22	2.44
Klasse 2	0.04	0.09	0.17	<b>0.39</b>	0.67	1.25	3.03
Klasse 3	0.08	0.11	0.19	<b>0.41</b>	0.72	1.27	3.38
Klasse 4	0.11	0.13	0.19	<b>0.28</b>	0.71	1.13	1.46
<b>Alle</b>	<b>0.04</b>	<b>0.09</b>	<b>0.16</b>	<b>0.39</b>	<b>0.71</b>	<b>1.22</b>	<b>2.51</b>
Østlandet	0.04	0.07	0.13	<b>0.28</b>	0.53	1.04	2.74
Sørlandet	0.04	0.08	0.12	<b>0.18</b>	0.39	0.61	1.44
Vestlandet	0.03	0.05	0.09	<b>0.17</b>	0.45	0.88	1.35
Midt-Norge	0.06	0.10	0.22	<b>0.36</b>	0.59	1.04	1.95
Nord-Norge	0.06	0.18	0.31	<b>0.59</b>	1.04	1.51	3.38

Prosentiler	2.5 %	10 %	25 %	50 %	75 %	90 %	97.5 %
<b>Natrium - Na mg/l</b>							
Klasse 1	0.20	0.35	0.74	<b>1.31</b>	2.69	5.21	10.10
Klasse 2	0.21	0.39	0.68	<b>1.29</b>	2.86	5.64	10.50
Klasse 3	0.28	0.50	0.70	<b>1.14</b>	3.03	5.04	7.55
Klasse 4	0.31	0.53	0.66	<b>0.98</b>	1.33	3.00	3.61
<b>Alle</b>	<b>0.21</b>	<b>0.38</b>	<b>0.70</b>	<b>1.30</b>	<b>2.85</b>	<b>5.36</b>	<b>10.20</b>
Østlandet	0.14	0.22	0.39	<b>0.68</b>	1.01	1.93	5.52
Sørlandet	0.26	0.34	0.55	<b>0.99</b>	1.86	3.42	10.30
Vestlandet	0.14	0.23	0.41	<b>1.18</b>	3.13	6.32	9.45
Midt-Norge	0.43	0.61	0.83	<b>1.92</b>	3.48	6.58	10.86
Nord-Norge	0.37	0.65	1.02	<b>1.80</b>	3.14	5.65	10.50
<b>Kalium - K mg/l</b>							
Klasse 1	0.03	0.06	0.10	<b>0.17</b>	0.37	0.64	1.37
Klasse 2	0.04	0.06	0.12	<b>0.22</b>	0.42	0.81	1.47
Klasse 3	0.06	0.09	0.14	<b>0.22</b>	0.37	0.67	1.17
Klasse 4	0.09	0.14	0.19	<b>0.26</b>	0.42	0.99	1.04
<b>Alle</b>	<b>0.04</b>	<b>0.06</b>	<b>0.11</b>	<b>0.20</b>	<b>0.39</b>	<b>0.72</b>	<b>1.37</b>
Østlandet	0.05	0.09	0.13	<b>0.21</b>	0.32	0.64	2.11
Sørlandet	0.03	0.05	0.06	<b>0.11</b>	0.26	0.39	1.36
Vestlandet	0.02	0.04	0.07	<b>0.11</b>	0.22	0.49	1.27
Midt-Norge	0.05	0.07	0.12	<b>0.19</b>	0.31	0.51	1.11
Nord-Norge	0.07	0.11	0.16	<b>0.29</b>	0.56	0.88	1.37
<b>Klorid - Cl mg/l</b>							
Klasse 1	0.3	0.6	0.8	<b>1.8</b>	4.2	8.2	18.1
Klasse 2	0.3	0.4	0.7	<b>1.5</b>	4.0	8.7	16.4
Klasse 3	0.4	0.6	0.8	<b>1.5</b>	4.4	8.4	14.4
Klasse 4	0.4	0.7	1.0	<b>1.6</b>	2.3	5.2	6.1
<b>Alle</b>	<b>0.3</b>	<b>0.5</b>	<b>0.8</b>	<b>1.6</b>	<b>4.2</b>	<b>8.3</b>	<b>16.4</b>
Østlandet	0.3	0.3	0.5	<b>0.8</b>	1.5	4.5	12.4
Sørlandet	0.3	0.5	0.7	<b>1.6</b>	2.7	5.4	12.6
Vestlandet	0.3	0.5	0.7	<b>2.2</b>	5.9	11.0	17.8
Midt-Norge	0.6	0.6	1.2	<b>2.4</b>	5.6	11.0	19.1
Nord-Norge	0.5	0.6	1.2	<b>2.5</b>	5.0	9.2	15.3
<b>Sulfat - SO<sub>4</sub> mg/l</b>							
Klasse 1	0.5	0.7	1.0	<b>1.6</b>	2.7	4.6	9.0
Klasse 2	0.5	0.7	1.0	<b>1.7</b>	3.1	4.4	6.9
Klasse 3	0.7	0.9	1.3	<b>2.1</b>	3.0	4.8	8.9
Klasse 4	0.8	1.1	1.5	<b>1.7</b>	2.4	3.9	6.6
<b>Alle</b>	<b>0.5</b>	<b>0.7</b>	<b>1.0</b>	<b>1.7</b>	<b>2.8</b>	<b>4.5</b>	<b>7.3</b>
Østlandet	0.6	0.9	1.4	<b>2.1</b>	3.4	5.2	9.9
Sørlandet	0.5	0.9	1.3	<b>2.0</b>	3.3	4.6	7.2
Vestlandet	0.3	0.5	0.8	<b>1.2</b>	2.4	3.8	6.2
Midt-Norge	0.5	0.7	0.8	<b>1.2</b>	1.7	3.0	8.8
Nord-Norge	0.6	0.7	1.1	<b>1.9</b>	3.1	4.6	7.4



Prosentiler	2.5 %	10 %	25 %	50 %	75 %	90 %	97.5 %
<b>Alkalitet (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) ALK µekv/l</b>							
Klasse 1	0	0	8	37	132	317	669
Klasse 2	0	0	10	41	126	296	670
Klasse 3	0	0	18	56	123	336	809
Klasse 4	0	0	18	53	132	270	566
<b>Alle</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>10</b>	<b>38</b>	<b>127</b>	<b>316</b>	<b>669</b>
Østlandet	0	8	16	48	115	267	736
Sørlandet	0	0	0	2	29	80	285
Vestlandet	0	0	0	5	23	50	148
Midt-Norge	5	12	23	36	93	277	555
Nord-Norge	2	11	31	89	242	453	1104
<b>Nitrat - NO<sub>3</sub> µg N/l</b>							
Klasse 1	<1	<1	2	8	57	116	220
Klasse 2	<1	<1	4	17	63	116	245
Klasse 3	<1	<1	5	29	80	170	440
Klasse 4	<1	12	27	78	150	185	835
<b>Alle</b>	<b>&lt;1</b>	<b>&lt;1</b>	<b>3</b>	<b>12</b>	<b>61</b>	<b>117</b>	<b>230</b>
Østlandet	<1	2	4	16	47	86	180
Sørlandet	4	10	40	81	119	205	320
Vestlandet	<1	16	50	77	119	170	310
Midt-Norge	<1	<1	4	4	16	38	106
Nord-Norge	<1	<1	<1	4	13	34	93
<b>Ammonium - NH<sub>4</sub> µg N/l</b>							
Klasse 1	<5	7	16	24	36	114	144
Klasse 2	<5	<5	<5	17	32	49	86
Klasse 3	<5	<5	<5	14	23	42	87
Klasse 4	<5	<5	<5	<5	9	14	31
<b>Alle</b>	<b>&lt;5</b>	<b>&lt;5</b>	<b>7</b>	<b>17</b>	<b>35</b>	<b>63</b>	<b>126</b>
Østlandet	<5	<5	5	26	47	126	229
Sørlandet	<5	16	26	40	63	124	142
Vestlandet	<5	7	14	21	28	37	69
Midt-Norge	<5	<5	<5	7	14	18	28
Nord-Norge	<5	<5	<5	7	35	35	35
<b>Total nitrogen Tot-N µg N/l</b>							
Klasse 1	38	50	80	140	251	381	565
Klasse 2	38	51	80	126	235	320	590
Klasse 3	35	53	83	126	195	335	605
Klasse 4	84	93	117	150	215	275	890
<b>Alle</b>	<b>38</b>	<b>51</b>	<b>80</b>	<b>135</b>	<b>240</b>	<b>365</b>	<b>565</b>
Østlandet	59	75	116	210	310	407	625
Sørlandet	68	95	143	230	320	435	615
Vestlandet	48	69	89	138	215	340	630
Midt-Norge	33	47	81	129	190	255	494
Nord-Norge	29	41	57	101	190	340	470

Prosentiler	2.5 %	10 %	25 %	50 %	75 %	90 %	97.5 %
<b>Total fosfor - Tot P µg P/l</b>							
Klasse 1	<1	<1	2	3	5	9	25
Klasse 2	<1	<1	2	3	5	9	19
Klasse 3	<1	<1	2	2	4	8	24
Klasse 4	2	2	3	3	4	4	7
<b>Alle</b>	<b>&lt;1</b>	<b>&lt;1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>9</b>	<b>20</b>
Østlandet	<1	2	3	5	7	10	23
Sørlandet	<1	<1	2	3	4	7	11
Vestlandet	<1	<1	<1	2	3	6	19
Midt-Norge	<1	<1	2	3	4	6	14
Nord-Norge	<1	<1	2	3	6	11	30
<b>Total organisk karbon - TOC mg C/l</b>							
Klasse 1	<0.2	<0.2	0.5	2.0	4.9	9.0	11.0
Klasse 2	<0.2	<0.2	0.6	1.9	4.1	6.4	9.2
Klasse 3	<0.2	0.3	0.7	1.7	3.0	5.0	7.1
Klasse 4	<0.2	0.3	1.1	1.9	2.7	3.2	6.4
<b>Alle</b>	<b>&lt;0.2</b>	<b>&lt;0.2</b>	<b>0.6</b>	<b>1.9</b>	<b>4.4</b>	<b>7.4</b>	<b>10.6</b>
Østlandet	<0.2	0.3	1.7	4.2	7.1	9.8	12.5
Sørlandet	<0.2	0.4	1.3	3.1	5.1	7.3	9.8
Vestlandet	<0.2	<0.2	<0.2	0.6	2.0	4.1	6.8
Midt-Norge	<0.2	0.3	1.4	3.3	5.7	8.7	11.8
Nord-Norge	<0.2	0.3	0.5	1.5	3.3	7.0	9.8
<b>Reaktiv aluminium - RAl µg/l</b>							
Klasse 1	<10	<10	<10	19	53	115	190
Klasse 2	<10	<10	<10	16	44	106	175
Klasse 3	<10	<10	<10	15	29	77	151
Klasse 4	<10	<10	<10	<10	27	56	103
<b>Alle</b>	<b>&lt;10</b>	<b>&lt;10</b>	<b>&lt;10</b>	<b>17</b>	<b>47</b>	<b>107</b>	<b>182</b>
Østlandet	<10	<10	<10	20	58	154	205
Sørlandet	<10	15	41	95	142	185	223
Vestlandet	<10	<10	<10	27	62	91	120
Midt-Norge	<10	<10	<10	25	57	86	164
Nord-Norge	<10	<10	<10	12	20	33	54
<b>Ikke labilt aluminium IIAl µg/l</b>							
Klasse 1	<10	<10	<10	11	32	79	138
Klasse 2	<10	<10	<10	<10	28	70	127
Klasse 3	<10	<10	<10	<10	21	49	93
Klasse 4	<10	<10	<10	<10	22	27	49
<b>Alle</b>	<b>&lt;10</b>	<b>&lt;10</b>	<b>&lt;10</b>	<b>11</b>	<b>29</b>	<b>73</b>	<b>130</b>
Østlandet	<10	<10	<10	14	59	115	159
Sørlandet	<10	<10	13	39	78	113	177
Vestlandet	<10	<10	<10	<10	28	63	89
Midt-Norge	<10	<10	<10	20	54	85	144
Nord-Norge	<10	<10	<10	<10	11	23	40

Prosentiler	2.5 %	10 %	25 %	50 %	75 %	90 %	97.5 %
<b>Labilt aluminium - LAI µg/l</b>							
Klasse 1	<10	<10	<10	<b>3</b>	11	43	90
Klasse 2	<10	<10	<10	<b>2</b>	10	45	81
Klasse 3	<10	<10	<10	<b>2</b>	6	27	80
Klasse 4	<10	<10	<10	<b>&lt;10</b>	4	37	76
Alle	<10	<10	<10	<b>3</b>	10	43	85
Østlandet	<10	<10	<10	<b>2</b>	7	20	61
Sørlandet	<10	2	8	<b>40</b>	65	91	121
Vestlandet	<10	<10	<10	<b>5</b>	27	51	74
Midt-Norge	<10	<10	<10	<b>1</b>	5	10	20
Nord-Norge	<10	<10	<10	<b>&lt;10</b>	5	13	20
<b>Fluorid - F µg/l</b>							
Klasse 1	<40	<40	<40	<b>&lt;40</b>	<40	<40	110
Klasse 2	<40	<40	<40	<b>&lt;40</b>	<40	50	150
Klasse 3	<40	<40	<40	<b>&lt;40</b>	<40	70	140
Klasse 4	<40	<40	<40	<b>&lt;40</b>	<40	80	130
Alle	<40	<40	<40	<b>&lt;40</b>	<40	<40	110
Østlandet	<40	<40	<40	<b>&lt;40</b>	53	100	197
Sørlandet	<40	<40	<40	<b>&lt;40</b>	<40	60	140
Vestlandet	<40	<40	<40	<b>&lt;40</b>	<40	<40	60
Midt-Norge	<40	<40	<40	<b>&lt;40</b>	<40	<40	60
Nord-Norge	<40	<40	<40	<b>&lt;40</b>	<40	<40	80
<b>Silisium - SiO2 mg/l</b>							
Klasse 1	0.10	0.20	0.41	<b>0.81</b>	1.70	2.80	6.10
Klasse 2	0.10	0.20	0.50	<b>0.90</b>	1.70	2.40	3.90
Klasse 3	0.20	0.40	0.61	<b>1.00</b>	1.70	2.50	3.20
Klasse 4	0.40	0.59	0.80	<b>1.00</b>	2.00	3.00	3.30
<b>Alle</b>	<b>0.10</b>	<b>0.20</b>	<b>0.49</b>	<b>0.89</b>	<b>1.70</b>	<b>2.70</b>	<b>4.70</b>
Østlandet	0.10	0.30	0.70	<b>1.70</b>	2.70	3.80	6.20
Sørlandet	0.10	0.40	0.70	<b>1.10</b>	2.00	2.80	4.40
Vestlandet	0.10	0.10	0.20	<b>0.43</b>	0.89	1.40	1.90
Midt-Norge	0.10	0.20	0.50	<b>0.80</b>	1.20	1.70	2.20
Nord-Norge	0.10	0.24	0.50	<b>0.89</b>	1.80	2.80	5.90

**Beregnete verdier**

Prosentiler	2.5 %	10 %	25 %	50 %	75 %	90 %	97.5 %
<b>Ikke-marin kalsium + magnesium <math>\mu\text{ekv/l}</math></b>							
Klasse 1	4	10	22	57	180	368	751
Klasse 2	6	13	24	64	153	323	818
Klasse 3	10	16	31	90	185	467	1125
Klasse 4	21	39	58	94	199	315	597
<b>Alle</b>	<b>5</b>	<b>11</b>	<b>24</b>	<b>61</b>	<b>165</b>	<b>343</b>	<b>818</b>
Østlandet	15	24	45	103	173	367	970
Sørlandet	5	8	15	33	80	169	364
Vestlandet	3	6	10	20	90	100	283
Midt-Norge	9	19	27	51	104	297	587
Nord-Norge	5	17	43	112	265	487	1221
<b>Ikke-marin sulfat <math>\mu\text{ekv/l}</math></b>							
Klasse 1	4	9	14	25	44	79	144
Klasse 2	7	11	16	26	44	81	119
Klasse 3	10	13	19	33	54	87	149
Klasse 4	12	20	25	31	46	79	119
<b>Alle</b>	<b>6</b>	<b>10</b>	<b>15</b>	<b>26</b>	<b>44</b>	<b>81</b>	<b>144</b>
Østlandet	11	18	28	41	64	98	187
Sørlandet	9	16	23	37	62	84	131
Vestlandet	5	8	12	19	27	45	77
Midt-Norge	3	6	9	12	21	38	82
Nord-Norge	8	11	16	27	43	87	149
<b>Ikke-marin natrium <math>\mu\text{ekv/l}</math></b>							
Klasse 1	-16	-1	3	11	22	41	73
Klasse 2	-6	0	4	11	21	32	66
Klasse 3	-10	-1	3	9	17	30	49
Klasse 4	-3	0	2	5	11	17	20
<b>Alle</b>	<b>-13</b>	<b>-1</b>	<b>4</b>	<b>11</b>	<b>21</b>	<b>36</b>	<b>65</b>
Østlandet	-23	1	6	13	20	26	36
Sørlandet	-7	-1	3	7	13	20	30
Vestlandet	-39	-3	0	2	6	10	27
Midt-Norge	-28	1	6	12	21	31	63
Nord-Norge	-3	1	8	18	31	48	91
<b>Syrenøytraliserende kapasitet - ANC <math>\mu\text{ekv/l}</math></b>							
Klasse 1	-25	-9	9	46	151	332	718
Klasse 2	-20	-9	11	50	143	320	671
Klasse 3	-21	-3	14	66	142	345	844
Klasse 4	-21	5	34	75	144	262	594
<b>Alle</b>	<b>-25</b>	<b>-8</b>	<b>10</b>	<b>48</b>	<b>147</b>	<b>332</b>	<b>718</b>
Østlandet	-1	7	23	77	142	271	776
Sørlandet	-28	-24	-15	2	42	103	329
Vestlandet	-35	-19	-8	3	23	70	156
Midt-Norge	5	17	26	54	102	285	833
Nord-Norge	-5	9	41	101	282	481	1236

Prosentiler	2.5 %	10 %	25 %	50 %	75 %	90 %	97.5 %
<b>Avrenning</b>							
Klasse 1	8	12	19	35	51	79	100
Klasse 2	9	13	18	37	57	77	104
Klasse 3	11	14	18	35	49	68	85
Klasse 4	14	14	17	25	40	55	63
<b>Alle</b>	<b>9</b>	<b>12</b>	<b>18</b>	<b>36</b>	<b>55</b>	<b>77</b>	<b>100</b>
Østlandet	11	13	14	17	21	35	43
Sørlandet	16	21	27	35	53	65	86
Vestlandet	32	38	50	72	90	105	129
Midt-Norge	14	25	35	45	57	65	81
Nord-Norge	8	10	14	30	45	64	89
<b>Nedbør (1960-1990) mm</b>							
Klasse 1	421	470	607	904	1717	2324	3036
Klasse 2	407	470	617	1033	1645	2465	3036
Klasse 3	449	483	656	1015	1634	2303	2773
Klasse 4	454	643	765	857	1515	2006	2587
<b>Alle</b>	<b>407</b>	<b>470</b>	<b>607</b>	<b>934</b>	<b>1645</b>	<b>2324</b>	<b>3036</b>
Østlandet	487	545	637	718	840	862	1307
Sørlandet	637	840	971	1374	1947	2465	2508
Vestlandet	842	1336	1894	2465	2773	3197	3380
Midt-Norge	552	765	1086	1506	1717	1945	2194
Nord-Norge	397	433	471	607	1071	1640	1949

Prosentiler	2.5 %	10 %	25 %	50 %	75 %	90 %	97.5 %
<b>Tålegrense CL</b>							
Klasse 1	6	13	28	57	126	314	753
Klasse 2	10	18	30	57	114	272	728
Klasse 3	13	22	35	67	124	309	843
Klasse 4	25	25	38	53	137	196	792
<b>Alle</b>	<b>7</b>	<b>16</b>	<b>29</b>	<b>58</b>	<b>122</b>	<b>292</b>	<b>753</b>
Østlandet	12	18	31	53	83	148	416
Sørlandet	9	12	19	34	64	101	322
Vestlandet	6	12	19	32	68	116	234
Midt-Norge	18	35	47	72	121	268	1118
Nord-Norge	6	17	40	86	189	405	1926
<b>Overskridelse av tålegrense - 1985</b>							
Klasse 1	-731	-295	-100	-23	14	50	83
Klasse 2	-710	-247	-93	-22	8	49	74
Klasse 3	-824	-281	-94	-21	5	37	79
Klasse 4	-773	-187	-110	-17	-5	29	83
<b>Alle</b>	<b>-731</b>	<b>-256</b>	<b>-95</b>	<b>-22</b>	<b>12</b>	<b>49</b>	<b>79</b>
Østlandet	-395	-108	-39	-7	10	22	45
Sørlandet	-292	-23	0	27	59	75	89
Vestlandet	-149	-54	-14	23	52	76	89
Midt-Norge	-877	-246	-98	-50	-26	-7	14
Nord-Norge	-1860	-384	-173	-65	-14	6	19
<b>Overskridelse av tålegrense - 1995</b>							
Klasse 1	-731	-291	-103	-28	7	50	90
Klasse 2	-712	-260	-95	-26	3	49	79
Klasse 3	-824	-294	-100	-30	0	33	85
Klasse 4	-776	-238	-119	-34	-17	11	46
<b>Alle</b>	<b>-731</b>	<b>-262</b>	<b>-99</b>	<b>-28</b>	<b>5</b>	<b>49</b>	<b>83</b>
Østlandet	-398	-117	-53	-22	-2	7	17
Sørlandet	-273	-41	-12	24	63	82	96
Vestlandet	-142	-47	-12	25	58	80	95
Midt-Norge	-1075	-252	-100	-53	-30	-12	4
Nord-Norge	-1854	-382	-180	-66	-14	5	16
<b>Overskridelse av tålegrense - 2010</b>							
Klasse 1	-740	-304	-113	-41	-7	14	38
Klasse 2	-718	-265	-103	-40	-12	12	34
Klasse 3	-831	-303	-107	-49	-16	6	39
Klasse 4	-781	-177	-127	-45	-24	-3	35
<b>Alle</b>	<b>-740</b>	<b>-271</b>	<b>-107</b>	<b>-41</b>	<b>-10</b>	<b>13</b>	<b>36</b>
Østlandet	-407	-132	-68	-39	-17	-6	2
Sørlandet	-310	-67	-38	-6	17	33	45
Vestlandet	-170	-76	-35	2	22	36	46
Midt-Norge	-1083	-258	-109	-61	-38	-23	-9
Nord-Norge	-1864	-389	-184	-75	-26	-8	5

## Vedlegg B. Beregning av tålegrenser og overskridelse av tålegrenser for tilførsler av syre til overflatevann

For beregning av tålegrenser for forsuring av overflatevann bruker vi en metode som kalles "The Steady-State Water Chemistry (SSWC) method". Denne er spesielt anvendig for overflatevann i områder hvor innsjøer er det mest følsomme økosystemet m.h.p. forsuring. Metoden forutsetter at tilnærmet all sulfat i avrenningen kommer fra sjøsalter og antropogene kilder (forbrenning av fossilt brennstoff) og at veldig lite genereres i nedbørfeltet ved forvitring. Tålegrensen for innsjøer kan beregnes på basis av en årlig veid middelveid, eller som i tilfellet med denne innsjøundersøkelsen, på basis av en høstprøve, som vi antar representerer en slik veid middelveid. Metoden baserer seg videre på bruk av ANC som et kjemisk kriterie for sensitive organismer i vannet. ANC begrepet er forklart i kap 4.

For å skille effekter av sjøsalter fra antropogene effekter bruker vi ikke-marine verdier i alle beregninger som forklart i kap. 4.

### Om forutsetningene i modellen

Tålegrensen for en innsjø er definert på grunnlag av den opprinnelige forvittringshastigheten i nedbørfeltet. Den totale fluxen av basekationer ( $BC^*_t$ ) fra et nedbørfelt er et resultat av balansen mellom input fra forvitring ( $BC_w$ ), ione-bytte ( $BC_i$ ), ikke-marin atmosfærisk deposisjon ( $BC^*_{dep}$ ), og opptak i biomassen ( $BC_u$ ):

$$BC^*_t = BC_w + BC_i + BC^*_{dep} - BC_u \quad (1)$$

hvor alle parametere er uttrykt som årlige fluxer ( $\text{mekv}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{år}^{-1}$ ). Av disse parameterene er  $BC^*_t$  og  $BC^*_{dep}$  beregnet direkte fra avrenningsmengde, nedbørvolum og konsentrasjonsmålinger.

$BC_i$  er relatert til langtids endringer i atmosfæriske tilførsler av sure ikke-marine anioner (sulfat og nitrat) ( $\Delta AN^*$ ) ved en F-faktor (Henriksen 1984, Brakke et al. 1990):

$$F = BC_i / \Delta AN^* \quad \text{eller} \quad BC_i = F \cdot \Delta AN^* \quad (2)$$

Vi antar nå følgende:

1.  $BC_w$  endres ikke med endringer i syre deposisjon.
2.  $BC_0$  (den "opprinnelige" basekationavrenningen (før-forsuringstid)) =  $BC_w + BC_d$
3. Sulfat i avrenningen er i likevekt med sulfat i nedbøren (d.v.s det hverken lagres eller frigjøres sulfat i nedbørfeltet).

For før-forsuringssituasjonen har vi:

$$[BC^*]_0 = [BC^*]_t - F \cdot (\Delta[SO_4^*] + \Delta[NO_3]) = [BC^*]_t - F \cdot ([SO_4^*]_t + [NO_3]_t - [SO_4^*]_0 - [NO_3]_0) \quad (3)$$

hvor t referer til dagens konsentrasjon og 0 til før-forsurings konsentrasjoner.

Verdien av  $F$  er en funksjon av basekationkonsentrasjonen og ligger normalt mellom 0 og 1 (Henriksen 1984).  $F$  spenner fra nær 0 i innsjøer med lave konsentrasjoner av basekationer til 1 i innsjøer med høye konsentrasjoner av basekationer.

En algoritme for  $F$  er (Brakke et al. 1990):

$$F = \sin((\pi/2) \cdot [BC^*]_t / S) \quad (4)$$

Hvis  $[BC^*]_t > S$ , blir  $F$  satt til 1. Her er  $S$  basekationkonsentrasjonen for  $F = 1$ . I Norge har  $S$  blitt beregnet til å være 400  $\mu\text{ekv/l}$ .

Vi antar videre at  $[\text{NO}_3]_0 = 0$  for alle innsjøer. Bakgrunns sulfat ( $[\text{SO}_4^*]_0$ ) er beregnet ut fra norske innsjøer som er lite påvirket av sur nedbør:

$$[\text{SO}_4^*]_0 = 15 + 0.16 [BC^*]_t \quad (\text{når konsentrasjonene er i } \mu\text{ekv/l}) \quad (5)$$

denne ligningen indikerer at det er et atmosfærisk bakgrunn bidrag av  $[\text{SO}_4^*]$  på gjennomsnittlig 15  $\mu\text{ekv/l}$  og et geologisk bidrag som er proporsjonal med konsentrasjonen av basekationer. I andre områder enn Norge kan dette forholdet være anderledes.

## Beregning av tålegrenser for syre

Tålegrensen for tilførsler av syre til innsjøer kan nå beregnes:

$$CL(\text{Ac}) = ([BC^*]_0 - [ANC]_{\text{limit}}) \cdot Q \quad (6)$$

hvor:

$CL(\text{Ac})$  = tålegrensen for syre i innsjøen

$[BC^*]_0$  = opprinnelig ikke-marin basekationkonsentrasjon

$[ANC]_{\text{limit}}$  = grenseverdi for ANC

$Q$  = avrenning

For å kunne beregne tålegrenser for overflatevann, må man definere en verdi for ANC. SSWC-metoden er svært sensitiv for valget av  $ANC_{\text{limit}}$ . I områder med lite sur nedbør vil sannsynligheten for nedbørepisoder som fører til en vannkvalitet hvor man får skader på fiskebestanden være liten, selv når  $ANC = 0$ , mens i områder med mye sur nedbør, kan man få store skader på fiskebestanden ved en slik ANC-verdi. For ikke å underestimere tålegrensene ved å bruke en fast ANC verdi på 20  $\mu\text{ekv/l}$  har man innført en variabel ANC som er en funksjon av deposisjonen -  $ANC_{\text{limit}}$  (limit - grense).  $ANC_{\text{limit}}$  er null i områder med liten deposisjon, og stiger til 50  $\mu\text{ekv/l}$  i områder med høy deposisjon. Effekten av denne funksjonen er at man reduserer arealer med overskredet tålegrense i områder som mottar lite sur nedbør.

Formulering av en slik deposisjonsavhengig ANC-verdi har blitt foreslått av Henriksen et al. 1995, og er nå i bruk i Norge og Sverige.  $ANC_{\text{limit}}$  er ikke en fast verdi for alle innsjøer. Hver innsjø vil ha sin egen verdi for alle deposisjonsverdier bestemt av karakteriske egenskaper i nedbørfeltet ( $[BC^*]_0$  og  $Q$ ).

Dagens overskridelser av tålegrensen for tilførsel av syre kan uttrykkes:

$$Ex(\text{Ac}) = S^*_{\text{dep}} + N_{\text{leach}} - BC^*_{\text{dep}} - CL(\text{Ac}) \quad (7)$$



hvor  $N_{\text{leach}} = N_{\text{dep}} - N_s$  (8)

der  $N_s$  representerer alle nitrogen-opptak i nedbørfeltet.  $N_{\text{leach}}$  er beregnet fra målte konsentrasjoner av nitrat og ammonium i avrenningen. Ingen N-deposisjons data er derfor nødvendig for beregning av dagens overskridelse.

## Referanser

Brakke, D.F., Henriksen, A. og Norton, S.A. 1990. A variable F-factor to explain changes in base cation concentrations as a function of strong acid deposition. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 24, 146-149.

Henriksen, A. 1984. Changes in in base cation concentrations due to freshwater acidification. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 22, 692-698.

## **Norsk institutt for vannforskning**

Postboks 173 Kjelsås  
0411 Oslo

Telefon: 22 18 51 00  
Telefax: 22 18 52 00

Ved bestilling av rapporten,  
oppgi løpenummer 3613-97

ISBN 82-577-3169-2