

Forsuring av norsk overflatevann - status og trender

Av Brit Lisa Skjelkvåle
og Arne Henriksen

Brit Lisa Skjelkvåle og Arne Henriksen er ansatt på Norsk institutt for vannforskning (NIVA)

Innlegg på Fagtreff 24. februar 1997

Sammendrag

Fra begynnelsen av 70-tallet er det samlet inn et systematisk datamateriale for vannkjemi i innsjøer, elver og små nedbørfelt i Norge. Datamaterialet er samlet inn under SNSF-prosjektet (Sur nedbørs virkning på skog og fisk) fra 1972-1980 og fra 1980 og fram til idag gjennom SFT's Statlig Program for Forurensningsovervåking. Vi har derfor idag lange kontinuerlige dataserier for vannkjemi fra mange stasjoner med stor geografisk dekning og forskjellig grad av prøvetakingsintensitet. Dette datamaterialet kan brukes til å beskrive forurensningssituasjonen i Norge idag, og hvordan den har endret seg de siste 20 årene.

Norske innsjøer sett i en Nord-Europeisk sammenheng viser at andelen av innsjøer med lave konsentrasjoner av oppløste ioner ("tynn" vannkvalitet) er langt høyere i Norge enn i andre land i Nord-Europa. Dette er forårsaket av at det i Norge er mindre løsmasser og

jordtykkelser, men også at Norge har mye større nedbørmengder og avrenning enn de andre landene. Andelen av innsjøer med liten motstand mot forurensning og lave tålegrenser, er også høyest i Norge. 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 med overskridelse.

Både elver, "100-sjøer" og feltforskningsstasjoner viser nedgang i sulfat for perioden 1980-1995. Nedgangen ligger stort sett mellom 30-40% og faller sammen med nedgangen i konsentrasjonen av sulfat i nedbør i samme periode. Resultatene fra de regionale innsjøundersøkelsene i 1986 og 1995 viser at det er en signifikant nedgang i ikke-marin sulfat i innsjøer i alle landsdeler. Nedgangen er størst på Sørlandet og Østlandet som har de høyeste konsentrasjonene av ikke-marin sulfat i innsjøene og hvor nedgangen i konsentra-

sjonen av sulfat i nedbør har vært størst. Nedgangen i ikke-marin sulfat har generelt medført en liten nedgang i basekationer og nedgang i H^+ og Al^{3+} for innsjøer med $ANC < 0$, og økning i HCO_3^- for innsjøer med $ANC > 0$.

Det har ikke vært noen systematiske endringer i deposisjon av nitrat og ammonium siden målingene av disse komponentene startet i 1984. De regionale innsjøundersøkelsene i 1974/75, 1986 og 1995 viser at det er en økning i nitratnivået i innsjøer i på Sørlandet og Vestlandet i perioden 1975-1986, mens det ikke er noen endringer i nitrat i noen deler av landet fra 1986 til 1995.

Innledning

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). Utslippsreduksjonen 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.

Som følge av reduksjonene i utslipp av svovel i Europa er konsentrasjonen av 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.

Overvåking av "sur nedbør"

For å få oversikt over tilførsler og effekter av langtransporterte forureninger ble programmet "Overvåking av langtransportert forurenset luft og nedbør" startet i 1980 i regi av Statens forurensningstilsyn (SFT). Dette programmet er en vidreføring av forskningsprosjektet "Sur nedbørs virkning på skog og fisk" (SNSF-prosjektet), som ble avsluttet i 1980 (Overrein et al., 1980). SFT har hovedansvaret for koordineringen av overvåkingsprogrammet og administrerer overvåkingen av atmosfæriske tilførsler og den vannkjemiske overvåkingen. Direktoratet for naturforvaltning (DN) administrerer den biologiske delen av overvåkingsprogrammet. Det faglige ansvaret for de forskjellige delene av programmet er fordelt mellom Norsk institutt for luftforskning (NILU) (atmosfæriske tilførsler), Norsk institutt for vannforskning (NIVA) (vannkemi), Norsk institutt for naturforskning (NINA) (fisk- og krepsdyrundersøkelser), Zoologisk institutt, Universitetet i Bergen (UiB) (bunndyrundersøkelser).

Overvåkingsprogrammet leverer data til flere forskjellige effektgrupper (ICP's) i Working Group on Effects (WGE) under Langtransportkonvensjonen (UN/ECE, 1994)

Virkningene av tilførsler av forurenset luft og nedbør på vannkvaliteten

følges i dag gjennom rutinemessig prøvetaking i 16 elver og seks feltforskningsområder og ca. 200 av innsjøene som var inkludert i 1000-sjøers undersøkelsen i 1986 (SFT, 1987, Henriksen et al., 1988) og regional innsjøundersøkelse i 1995 (Skjelkvåle et al. 1997). Målet for overvåkingen er å kunne registrere eventuelle endringer i forsursforhold i vann over tid.

Takket være SNSF-prosjektet og SFT's overvåkingsprogram har vi idag lange kontinuerlige dataserier for vannkjemi fra mange stasjoner med stor geografisk dekning og forskjellig grad av prøvetakingsintensitet.

Feltforskningsstasjoner

Fra feltforskningsstasjonene har vi de lengste og mest detaljerte dataseriene. Flere av disse stasjonene har blitt prøvetatt ukentlig nesten kontinuerlig siden 1973-1974, mens noen har kommet til i de senere årene for å ivareta nye områder eller problemstillinger. I feltforskningsstasjonene måles i tillegg til kjemi også avrenningen. Hver av feltforskningsstasjonene ligger i nærheten av en av NILU's overvåkingsstasjoner for atmosfæriske tilførsler, slik at vi kan beregne materialtransporten, som er forholdet mellom tilførte kjemiske komponenter gjennom nedbøren og utførsel av kjemiske komponenter gjennom avrenningen. Feltforskningsstasjonene gir oss informasjon om langtids-trender, men også om prosesser i nedbørfeltene, slik som variasjoner gjennom året, sjøsaltepisoder og klimatiske forhold. De feltforskningsstasjonene

som overvåkes i dag er presentert i figur 1 på neste side.

Elver

Direktoratet for naturforvaltning (DN) (tidligere DVF) startet i 1965 rutinemessig innsamling og analyse av vannprøver fra fire elver på Sørlandet. I de følgende år ble antall elver stadig utvidet. Da overvåkingsprogrammet startet i 1980 ble det valgt ut 20 elver som egnede overvåkingsområder. Elvene ble valgt ut i samråd med DN på grunnlag av kjemisk vannkvalitet (lavt ioneinnhold) og fiskeforhold. På Vestlandet ble det lagt vekt på at elvene var lakseførende. Tretten av de 20 overvåkingselvene inngikk i DN's daværende elveserie. De resterende 7 ble valgt på bakgrunn av data fra elveundersøkelser i 1976-77 (Henriksen og Snekvik, 1979). Prøvetaking i de 20 elvene ble startet 15. mars 1980. Figur 2 viser de 16 elvene som inngår i overvåkingsprogrammet.

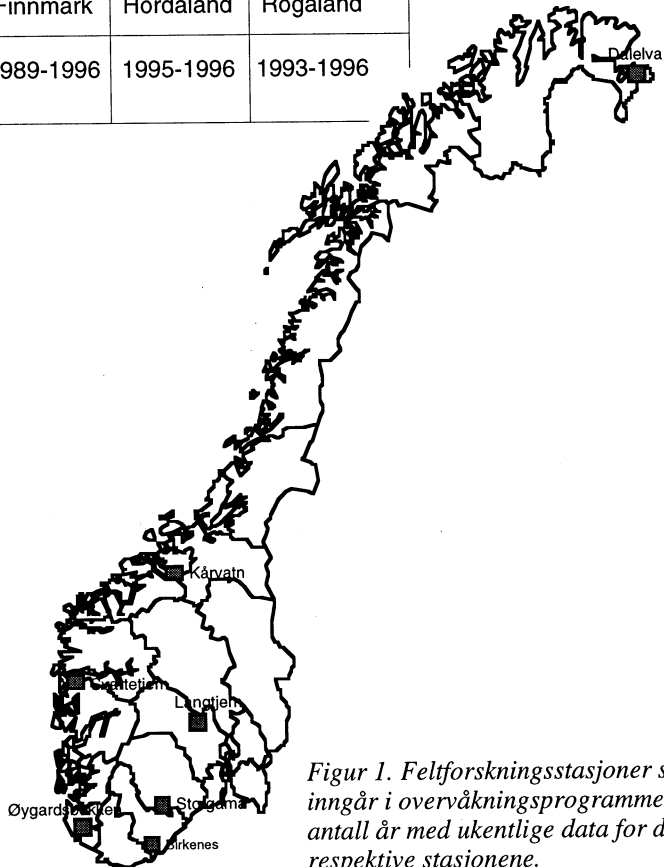
Elvene blir prøvetatt 1 gang pr. måned og hver 14 dag gjennom snøsmeltingsperioden.

Innsjøer

Med bakgrunn i "1000-sjøers undersøkelsen 1986" (Henriksen et al. 1988), ble noe over 100 sjøer valgt ut for å dokumentere effekter av endringer i tilførsler av langtransporterte luftforurensninger (SFT, 1989). I 1987 ble det i samarbeid med fylkenes miljøvern-avdelinger tatt vannprøver fra 111 sjøer for kjemisk analyse. Etterhvert har en del av sjøene blitt byttet ut med nye, først og fremst fordi de er blitt kalket. På grunnlag av resultatene fra "Regio-

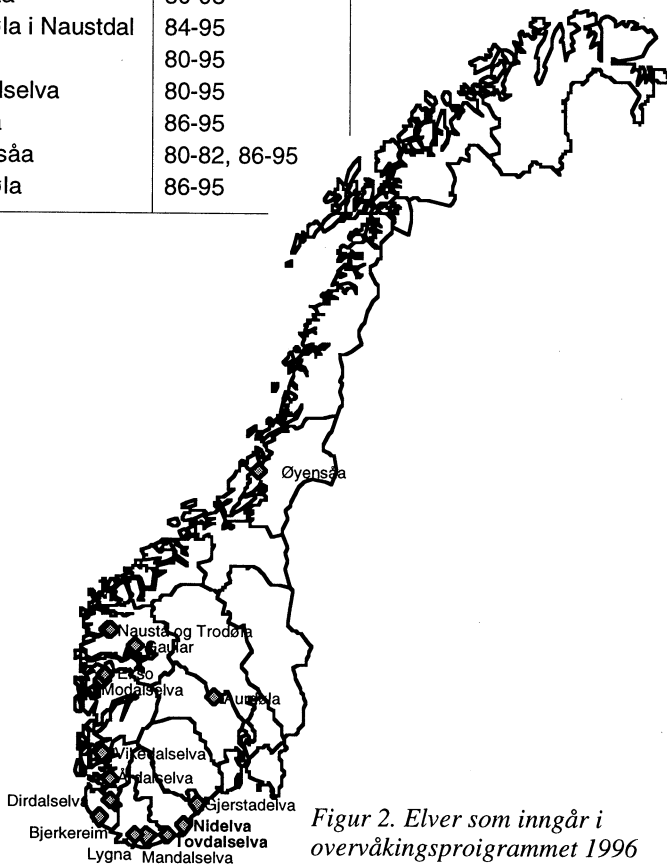
	Birkenes	Storgama	Langtjern	Kårvatn
Fylke	Vest-Agder	Telemark	Buskerud	Møre og Romsdal
Data serier	1973-1978 1980-1983 1985-1996	1975-1978 1980-1996	1978-1983 1986-1996	1978-1984 1986-1996

	Dalelva	Svarte tjernet	Øygards bekken
Fylke	Finnmark	Hordaland	Rogaland
Data serier	1989-1996	1995-1996	1993-1996



Figur 1. Feltforskningsstasjoner som inngår i overvåkningsprogrammet og antall år med ukentlige data for de respektive stasjonene.

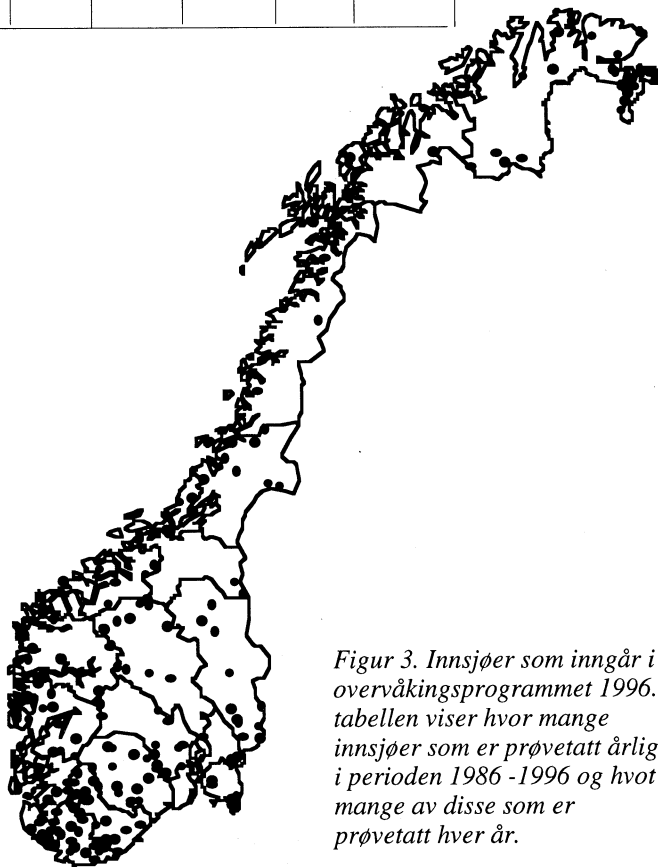
Elv nr	Navn	Tidsperiode for overvåking
3 1	Gjerstadelva	80-95
5 1	Nidelva	80-95
7 1	Tovdalselva	80-95
11 1	Mandalselva	80-95
13 1	Lygna	80-95
19 1	Bjerkreimselva	80-95
23 1	Dirdalselva	80-95
26 1	Årdalselva	80-95
32 9	Vikedalselva	82-83, 86-95
34 1	Nausta	80-95
34 5	Trodøla i Naustdal	84-95
45 1	Ekso	80-95
46 1	Modalselva	80-95
57 3	Gaula	86-95
77 2	Øyensåa	80-82, 86-95
90 1	Aurdøla	86-95



Figur 2. Elver som inngår i overvåkingsprogrammet 1996

År	86	87	88	89	90
Antall vann med full serie		111	106	103	98
Totalt antall vann	1010	111	113	115	119

År	91	92	93	95	95	96
Antall vann med full serie	90	89	86	86	85	80
Totalt antall vann	119	103	107	103	1500	200



Figur 3. Innsjøer som inngår i overvåkingsprogrammet 1996. tabellen viser hvor mange innsjøer som er prøvetatt årlig i perioden 1986 -1996 og hvot mange av disse som er prøvetatt hver år.

Tabell 1 Regionale innsjøundersøkelser i Norge for å kartlegge forsuring

Tidspunkt	Antall innsjøer	Omfang	Referanse
Oktober 1974	155	Sør for 63° breddegrad	Wright et al., 1977
Mars 1975	153	Hele Norge	Wright og Henriksen, 1978
Høsten 1975 og høsten 1975	719	Sørlandet	Wright et al., 1977
Mars 1977	38	Sør-Norge	Wright og Snekvik, 1978
Mars 1978	49	Sør-Norge	Henriksen, 1979
Mars 1981	49	Sør-Norge	Henriksen, 1979
Høsten 1986 (1000-sjøersundersøkelsen)	1500	Hele Norge	SFT 1982
Høsten 1995	1500	Hele Norge	Henriksen et al., 1988
			Skjelkvåle et al., 1987

nal innsjøundersøkelse 1995" (Skjelkvåle et al., 1997)), ble det plukket ut ca. 100 innsjøer til, slik at det nå er ca. 200 innsjøer som vil bli prøvetatt årlig. Figur 3 viser lokalisering av alle innsjøer som er blitt prøvetatt i 1996, og tabellen viser hvor mange av disse som har kontinuerlig dataserie fra 1986.

Regionale innsjøundersøkelser

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 utvalgmotoden 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 områ-

der 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. 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 fiskeskader, 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). En oversikt over regionale innsjøundersøkelser for å kartlegge forsuringssituasjonen i Norge er vist i tabell 1.

Nordisk samarbeid - Nordic Lake Survey 1995

De norske erfaringer med regionale undersøkelser førte til at tilsvarende undersøkelser ble gjennomført i andre land. I Sverige og Finland ble det også gjennomført landsomfattende innsjøundersøkelser. Innsjøundersøkelsene i de tre nordiske land dannet grunnlaget for et omfattende samarbeid for å utvikle metoder for tålegrenser for tilførsler av syre og kartlegging av tålegrenser og overskridelser. Disse nordiske samarbeidsprosjekter er støttet 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 km² 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 tålegrensarbeider. 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.

Hovedmålene med den regionale innsjøundersøkelsen i 1995 er å beskrive status for norske innsjøer med hensyn på vannkjemi og utbredelse og grad av forsuring og eutrofiering. Resultatene fra undersøkelsen skal videre brukes til å etablere et referansenivå for kjemi for å følge opp fremtidige effekter av den nye svovelprotokollen som ble signert i Oslo i Juni 1994 (UN/ECE, 1994) og å vurdere effekter av nitrogendeposisjon på vannkjemi i forbindelse med utarbeidelse av tålegrenser for nitrogen. I den norske delen av undersøkelsen har det også vært en målsetning å se på utviklingen i vannkjemi de siste 10 årene og på forskjeller i vannkjemi for store og små innsjøer

Vannkjemi i norske innsjøer

Norske innsjøer sett i en Nord-Europeisk sammenheng viser at andelen av

innsjøer med lave konsentrasjoner av oppløste ioner ("tynn" vannkvalitet) er langt høyere i Norge enn i andre land i Nord-Europa. Dette er forårsaket av at det i Norge er mindre løsmasser og jordtykkelser, men også at Norge har mye større nedbørmengder og avrenning enn de andre landene. Andelen av innsjøer med liten motstand mot forsurening og lave tålegrenser, er også høyest i Norge.

Medianverdien for pH i alle innsjøer i Norge 6.40. De laveste pH verdiene finner vi på Sørlandet, her har 35 % av innsjøene pH < 5 og medianverdien er 5.31. Drøyt 10% av innsjøene i Vestlandsfylkene 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 humusinnhold eller svært lave konsentrasjoner av basekationer.

Forsuringsprosesser i jorda fører til at aluminium blir løst ut, slik at konsentrasjonene i avrenningsvannet øker. Aluminium kan foreligge både organisk (ikke-labil) og uorganisk bundet (labil). I humusrikt (brunfarget) vann er en stor del av aluminiumen 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. De høyeste aluminiumkonsentrasjonene finner vi derfor der pH er lavest. Med få unntak er det bare sørlandsfylkene Telemark, Aust- og Vest-Agder og Rogaland som har nivåer av labilt Al > 30 µg/l.

Tabell 2 Prosentandel av innsjøer med overskridelse av tålegrenser for syre i 1985, 1990 og 2010. Tallene er beregnet på basis av NILU's deposisjon tall for 1985, 1988-1992 (1990), og scenarier for 2010, gitt de reduksjonene i svovelutslipp i Europa som forutsatt i Svovelprotokollen fra 1994 (UN/ECE, 1994). Tabellen er hentet fra Skjelkvåle et al. 1997)

	% 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

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 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 (tabell 2), mens Sørlandet og spesielt Vestlandet viser noe mindre nedgang i prosentandel av innsjøer med overskridelser. Årsaken til dette er at overskridelsene i disse landsdelene i dag er veldig store, slik at det skal forholdsvis

store reduksjoner i syretilførsler (S- og N-deposisjon) til for å komme ned til et nivå som ikke overskrider tålegrensen for tilførsler av syre, mens på Østlandet ligger mange av innsjøene idag på grensen til overskridelse, slik at her er forholdsvis mindre reduksjoner i S-deposisjon nødvendig for å få en god vannkvalitet.

Trender i vannkjemi fra 1974-1996

Sulfat er den "drivende kraften" i forsuringsprosessen, og det er derfor av stor interesse å se hvilken betydning de reduserte tilførsleene av svovel har for vannkvaliteten.

Resultater fra overvåkingslokalitetene

Både elver, "100-sjøer" og feltforskningsstasjoner viser nedgang i sulfat for perioden 1980-1995. Den prosentvise nedgangen i ikke-marin sulfat fra 1980-1995 samt "1980-konsentrasjonen" av ikke-marin sulfat i $\mu\text{ekv/l}$ for elver og feltforskningsstasjoner er beregnet ved enkel lineær regresjon. Resultatene viser at alle stasjonene har en statistisk signifikant nedgang i ikke-marin sulfat. Nedgangen ligger stort sett mellom 30-40% og faller klart sammen med nedgangen i konsentrasjonen av sulfat i nedbør (SFT, 1996).

For å se litt nærmere på endringene i sulfat og hvilken innvirkning nedgangen har hatt for vannkjemien, har vi delt perioden fra 1980 opp i tre 5-års perioder; 1980-1985, 1986-1990 og 1991-1995 (SFT, 1996). Tabell 3. For hver av disse

periodene har vi sett på endringer i sulfat, basekationer ($\text{Ca}+\text{Mg}$), ANC og H^+ ved å bruke enkel lineær regresjon. Vi får da fram om det er en positiv eller negativ trend i perioden og hvor stor endringen er i de forskjellige variablene pr. år på de forskjellige stasjonene. Resultatene fra denne analysen viser at nedgangen i sulfat har foregått helt siden 1980, men at ingen av stasjonene (med unntak av Kårvatn) viser en signifikant nedgang i perioden fra 1980-1985. I perioden fra 1986-1990 er nedgangen signifikant på de fleste stasjonene, men den er mest merkbart på Sørlandet. Fra 1991-1995 er nedgangen noe mindre og den er signifikant på noen færre stasjoner enn den foregående 5-årsperioden, men nedgangen er fremdeles mest markert på Sørlandet. Dalelv i Finnmark, hvor overvåkingen startet i 1988 viser også merkbart reduksjon i denne tidsperioden.

Den variablene som har variert mest markert sammen med sulfat er ANC (syrenøytraliserende kapasitet). ANC er definert som:

$$\begin{aligned} \text{ANC} = & ([\text{Ca}^{2+}] + [\text{Mg}^{2+}] + [\text{Na}^+] \\ & + [\text{K}^+] + [\text{NH}_4^+]) \\ & - ([\text{Cl}^-] + [\text{SO}_4^{2-}] + [\text{NO}_3^-]) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ANC} = & \sum \text{basekationer} \\ & - \sum \text{sterke syrers anioner} \end{aligned}$$

ANC uttrykker en løsnings evne til å motstå forsuring og brukes som en indikator på vannkvalitet. Lave og negative verdier kan bety dårlig vannkvalitet m.h.p. forsuring, mens høye positive ANC verdier kan bety god vannkvalitet.

tet. Endringen i ANC i perioden 1980-1985 var stort sett positiv for de fleste stasjonene og endel stasjoner viser signifikant økning (på tross av at det ikke var signifikant nedgang i ikke-marin sulfat i samme periode). For perioden 1986-1990 viser alle stasjonene negativ utvikling i ANC. Årsaken til dette er de sterke sjøsaltepisodene på slutten av 80-tallet og i 1990 som medførte en kraftig økning i klorid, og nedgang i ikke-marine basekationer (spesielt natrium) i avrenningsvannet, som da igjen gir en nedgang i ANC. Fra 1991-1995 har det vært en økning av ANC som er signifikant for de fleste stasjonene. Økningen i ANC i denne 5-årsperioden har vært større enn nedgangen fra 1986-1990 slik at det totalt sett er det en økning i ANC fra 1980 til 1995.

Som det framgår av ligningen over, kan en økning i ANC både være forårsaket av nedgang i sterke syrrers anioner og/eller en økning i basekationer. Det er vist at det er en klar nedgang i sulfat. Når sulfatkonsentrasjonen avtar, må det enten skje en samtidig nedgang i konsentrasjonen av kationer, eller en økning i konsentrasjonen av anioner (utenom sulfat) for at ladningsbalansen i vannet skal bevares. For å se nærmere på dette har vi testet på endringer i ikke-marine basekationer (Ca+Mg) og H^+ (pH).

Endringene i H^+ er noe variert fra 1980-1990, med endel nedgang fra 1980-1985 (økning i pH), og endel oppgang fra 1986-1990 (nedgang i pH). Perioden 1991-1995 viser nedgang i H^+ på alle uttatt stasjoner, men bare ca. 1/3 viser signifikant nedgang. Likevel

er det klart at utviklingen i H^+ for perioden 1991-1995 skiller seg ut fra perioden 1980-1990, ved at det er en ensartet regional utvikling i H^+ , mot lavere verdier (høyere pH)

Det var lite endringer i ikke-marin Ca+Mg for perioden 1980-1985, mens perioden 1985-1990 viser signifikant nedgang på nesten alle stasjonene. Dette er forårsaket av de kraftige sjøsaltepisodene på slutten av 80-tallet og i 1990. Fra 1991-1995 er det lite endringer. Totalt sett fra 1980-1995 er det en svak nedgang i ikke-marin Ca+Mg.

Resultater fra de regionale innsjøundersøkelsene

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 over de siste 10 årene i Norge. I Skjelkvåle (et al., 1997) er det foretatt en statistisk vurdering av disse endringene for et utvalg av kjemiske variabler for perioden 1986 til 1995 (tabell 4) fordelt på landsdelene.

Resultatene viser at det er en signifikant nedgang i ikke-marin sulfat i alle landsdeler. 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⁺, Al³⁺, Ca²⁺ og Mg²⁺. Ved reduserte tilførsler av H⁺ vil også mindre av alkaliteten forbrukes til å buffre syre. Dette vil medføre en økning i alkaliteten (HCO₃⁻).

ANC øker signifikant i perioden 1986 til 1995 i alle deler av Norge (tabell 4) 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). 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. Dette kan skje ved at andre negative ioner (Cl⁻, NO₃⁻, HCO₃⁻, organiske anioner (A⁻)) øker i konsentrasjon eller at positive ioner (Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺, H⁺, Al³⁺) avtar.

Det er liten nedgang i ikke-marin Ca+Mg i alle landsdeler (tabell 2). Denne nedgangen er svak, men signifikant. Nitrat viser ingen signifikante endringer i perioden, og har derfor ingen innvirkning på endringen i ANC. Det er høyere kloridkonsentrasjoner i 1995 enn i 1986 (kloridnivåene varierer fra år til år avhengig av været), men denne forskjellen balanseres av tilsvarende høyere natrium-konsentrasjoner. Dette betyr at nesten hele økningen i ANC, minus nedgangen i ikke-marin Ca+Mg,

er en følge av nedgangen i ikke-marin sulfat.

ANC også uttrykkes som differansen mellom summen av bikarbonat og organiske anioner og summen av H⁺ og Al³⁺:

$$ANC = [HCO_3^-] + [A^-] - [H^+] - [Al^{3+}]$$

Det ingen signifikante endringer i organiske anioner i perioden (beregnet på grunnlag av TOC), mens det har vært en liten men statistisk signifikant nedgang i H⁺ (oppgang i pH) og Al³⁺ i alle landsdeler med unntak av Nord-Norge (tabell 4). Denne nedgangen er mest markert på Sørlandet.

I klare oligotrofe innsjøer er både alkaliteten og ANC < 0 ved pH < ca. 5.2. Den økningen vi har hatt i ANC fra 1986 til 1995 utgjøres derfor av nedgang i H⁺ og Al³⁺ for innsjøer med ANC < 0 og en økning i HCO₃⁻ for innsjøer med ANC > 0.

Dette betyr altså at nedgangen i ikke-marin sulfat totalt sett gir en liten nedgang i basekationer for alle innsjøer sammen med nedgang i H⁺ og Al³⁺ for innsjøer med ANC < 0, og en økning i HCO₃⁻ for innsjøer med ANC > 0.

Nitrat

Det har ikke vært noen systematiske endringer i deposisjon av nitrat og ammonium siden målingene av disse komponentene startet i 1984. Det er derfor heller ikke å forvente at det skal ha skjedd en endring i nitrat i avrenningen.

ISFT (1996) er endringene i nitrat fra 1980-1995 testet med lineær regresjon. Noen få stasjoner viser signifikante trender i nitrat, men disse er både positive

Tabell 3 Endring i ikke-marin sulfat fra 1980-1996. n er antall observasjoner, r er korrelasjonskoeffisienten og denne er uthevet dersom korrelasjonen er signifikant på. Tallene som er uthevet er signifikante på 99% nivå. Den prosentvise nedgangen i sulfat fra 1980-1996 er basert på beregnet 1980-verdi. (Tabellen er fra SFT, 1996)

		n	r	endring pr. år 80-85	Beregnet kons av ikke marin-sulfat 1980 1995	%endring fra 1980-1995	
Østlandet	Langtjern utløp	707	-0.59	-2.0	79	38	
	Langtjern innløp	687	-0.45	-2.1	80	39	
	90 1 Aurdøla	108	-0.40	-1.0			
Sørlandet	Birkenes	721	-0.55	-3.3	132	38	
	Storgama	793	-0.45	-2.1	81	38	
	3 1 Gjerstadelva	318	-0.68	-2.2	111	30	
	5 1 Nidelva	240	-0.58	-1.6	82	29	
	7 1 Tovdalselva	217	-0.74	-2.1	87	36	
	11 1 Mandalselva	340	-0.63	-1.6	63	38	
	13 1 Lygna	224	-0.59	-1.7	73	35	
	Sørvestlandet	19 1 Bjerkreimselva	309	-0.67	-1.0	51	29
		23 1 Dirdalselva	236	-0.43	-0.9	41	33
		26 1 Årdalselva	318	-0.49	-0.7	35	32
32 9 Vikedalselva		206	-0.61	-0.8	42	29	
Vestlandet		34 1 Nausta	334	-0.43	-0.6	24	35
	34 5 Trodøla*	585	-0.54	-0.7			
	45 1 Ekso	270	-0.50	-0.9	34	41	
	46 1 Moelva	280	-0.53	-0.6	26	36	
	57 3 Gaula	243	-0.38	-0.8	28	43	
	Midt-Norge	Kårvatn	761	-0.26	-0.3	16	27
77 2 Øyensåa		208	-0.43	-0.7	20	53	
Nord-Norge	Dalelva*	389	-0.43	-3.3			

*Disse tre elvene har ikke data tilbake til 1980

Tabell 4. Tabellen viser antall innsjøer i 5 regioner av Norge som ble prøvetatt i 1986 og 1995 og den midlere endringen i perioden 1986-1995. Endringer som er signifikante på 0,005 (enhalet t-test) er uthevet. Den prosentvise endringen for ikke-marin sulfat er også beregnet (tabellen er fra Skjelkvåle et al., 1997).

	n	ΔSO_4^* µekv/l	% endring SO ₄ [*]	ΔANC (CA+Mg)* µekv/l		H* µekv/l	$\Delta\text{Labilt Al}$ µekv/l
Østlandet	65	-21	32	23	-5	-0.8	-1.2
Sørlandet	189	-21	40	18	-5	-3.0	-4.7
Vestlandet	94	-10	25	8	-3	-1.1	-0.6
Midt-Norge	59	-5	25	8	-2	-0.2	0.1
Nord-Norge	78	-7	11	15	-2	0	0

og negative og endringen pr. år er svært liten. Det er heller ingen regional systematikk i trendene og heller ingen tendenser mot økende eller avtagende konsentrasjoner. Konklusjonen er at det ikke vises noen systematiske trender i nitrat og at nitratnivået er uendret for perioden 1980-1995.

De regionale innsjøundersøkelsene i 1974/75, 1986 og 1995 viser at det er en økning i nitratnivået i innsjøer i på Sørlandet og Vestlandet i perioden 1975-1986, mens det ikke er noen endringer i nitrat i noen deler av landet fra 1986 til 1995.

Referanser

EMEP, 1996. MSC-W Status Report 1996, Part one; Estimated dispersion of acidifying agents and of near surface ozone. EMEP/MSW-W 1/96. Oslo.

Henriksen, A. 1979. Regionale vann- og snøundersøkelser 1976-77 and 1977-78. SNSF-project, TN46/79, 21 s.

Henriksen, A. og Snekvik, E. 1979. Kjemisk analyse av elveprøver fra Sørlandet til Øst-Finmark. Oslo-Ås SNSF-rapport TN 51/79.

Henriksen, A., Lien, L., Traaen, T.S., Sevaldrud, I.S. og Brakke, D. 1988: Lake acidification in Norway - present and predicted chemical status. *Ambio* 17, 259-266.

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. NI-VA-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., Harri-
man, R. og Jensen, J.P. 1997. Regional
Lake Surveys 1995 in Finland - Nor-
way - Sweden- Denmark Russian Kola
- Russian Karelia Scotland - Wales.
Resultš. NIVA-rapport 3645-97
- 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.
- SFT, 1982. Regionale vann- og snøun-
dersøkelser 1981. SFT-rapp. 27/82.
NIVA rapp.- 80006-03
- SFT, 1996. Overvåking av langtran-
sportert forurenset luft og nedbør. Års-
rapport - Effekter. Skjelkvåle, B.L.
(red.). SFT 671/96.
- Skjelkvåle, B.L., Henriksen, A., Faa-
feng, B., Fjeld, E., Traaen, T., Lien, L.,
Lydersen, E., og Buan, A.K. 1979. Re-
gional innsjøundersøkelse 1995. En
vannkjemisk undersøkelse av 1500 inn-
sjøer SFT-rapport 677/96 TA-1389/
1996.
- Tørseth, K. 1996. Overvåking av lang-
transportert forurenset luft og nedbør.
Atmosfærisk tilførsel, 1995. NILU OR
38/96, SFT 663/96.
- UN/ECE, 1985. Protocol on the re-
duction of sulphur emissins or their
transboundary fluxes by at least 30%.
United Nations, Geneva.
- UN/ECE, 1994. Protocol to the 1979
convention on long-range transbounda-
ry 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 precipita-
tion. Limnol. Oceanogr. 23, 487-498.
- Wright, R.F. og Snekvik, E., 1978. Acid
precipitation: Chemistry and fish popu-
lations in 700 lakes in Southernmost
Norway. Verh. Int. Verein. Limnol.,
20, 765-775, også SNSF-project, TN37/
77.
- Wright, R.F., Dale, T., Henriksen, A.,
Hendrey, G.R., Gjessing, E.T., Johan-
nessen, M, Lysholm, J. og Støren, E.,
1977. Regional surveys of small Nor-
wegian lakes October 1974, March
1975, March 1976 and March 1977.