



Sur nedbør og forsuring av vann i Rogaland

Arne Fjellheim

HVA ER SUR NEDBØR?

Sur nedbør er nedfall av sure komponenter, hovedsakelig lang-transportert med vær og vind. Disse kan ha form av sure stoffer oppløst i vann eller tørre stoffer, som forsurende partikler og gasser. Den sure nedbøren er hovedsakelig forårsaket av forbrenning av fossilt brensel (som kull, olje og gass). I tillegg kan naturlige prosesser, som vulkanutbrudd, forårsake forsuring.

De forsurende elementene består hovedsakelig av svoveldioksid og nitrogenoksid. I lufta vil disse syrestoffene dels løses opp i vann det de danner svovelsyre og salpetersyre og dels feste seg på partikler i luften. Dette føres av sted med vær og vind. Når det blir avsatt vil det kunne føre til forureningsproblemer for vann og vassdrag.

Virkningene av den sure nedbøren etter at den har nådd land er avhengig av jordsmonnets bufrende virkning. Dersom berggrunn og løsmasser (stein, sand og jord som ligger oppå fjellgrunnen) inneholder basiske stoffer, vil syra i vannet bli nøytralisert. Der det, som mange steder i Rogaland, er lite bufrende jordsmonn og mye hard fjellgrunn (Enge 2013, Nilssen 2014) vil vann og vassdrag forsures.

NÅR KOM DEN SURE NEDBØREN TIL LANDET?

Den sure nedbøren i moderne tid startet under den industrielle revolusjonen. Denne var preget av at mange vestlige land, spesielt England, etter 1850-tallet gjennomgikk en omstillingsprosess. Det kom ny industri og nye produksjonsmåter med stort forbruk av kull. Utslippene fra disse prosessene ble ført urensset til luft, gjerne via høye piper – slik at ikke nærområdene skulle forurennes. Den andre industrielle revolusjon spredte seg fra ca. 1880 til 1920 og

Motstående side: Tap av fiskebestander i elver og innsjøer var tidlige signaler om at noe var galt med naturen. Fotoet viser en laks i Espedalselva, Forsand kommune. Når hannlaksene går opp i elva utvikler de en markert krok i underkjeven og får samtidig et sterkt fargespill. Dette er signaler til konkurrerende artsfrender. Dersom laksen overlever gyteperioden tilbakedannes kroken og vokser ikke fram før neste gyting.

Foto: Ulrich Pulg Uni Research LFI.

var preget av at en hel rekke land bygget seg opp. Tyskland og USA var i spissen og overtok Storbritannias posisjon som ledende industriland. Telegraf, telefonen og bilen er eksempler på nyvinninger som satte sitt preg på denne perioden. Utnyttelse av elektrisiteten ble på mange måter et symbol, slik som dampmaskinen hadde blitt det under den første industrielle revolusjon. Perioden var også preget av serie- og masseproduksjon, deriblant fremstilling av stål og kunstige fargestoffer.

Industriforensningen nådde også Norge, men man hadde på den tiden ingen anelse om hvilke skader den gjorde på vann og vassdrag (Qvenild m. fl. 2007). Sotpartiklene fra kullforbrenningen kunne imidlertid observeres. En av de første som skrev om dette var Henrik Ibsen. I *Brand* (1866) finner vi følgende sitat:

*Værre tider; værre syner gjennom fremtidsnatten lyner!
Brittens kvalme stenkulsky sænker sort sig over landet,
smudser alt det friske grønne, kvæler alle spirer skønne,
stryger lavt, med giftstof blandet, stjæler sol og dag fra egnen,
drysser ned, som askeregnen over oldtids dømte by.*

Dette er av de første nedtegnede vitnesbyrd om forensningen. Det er slående at Henrik Ibsen, som den samfunnsengasjerte personen han var, skulle fremme et slikt synspunkt for 150 år siden. Det skulle imidlertid gå lang tid før denne langtransporterte forensningen ble koblet til den snikende fiskedøden som ble observert i Sør-Norske vassdrag.

FISKEDØD

Rogaland var ett av de fylkene i landet som ble hardest utsatt. Beregninger utført i ettertid viser at naturens tålegrense med hensyn på svovelnedfall var sterkt overskredet i den sørligste delen av Norge allerede på slutten av 1800-tallet (Mylona 1993, Schöpp et al. 2003).

Mellom 1910 og 1920 ble det observert en storskala fiskedød blant aurebestandene i de indre delene av Sør-Norge (Dahl, 1921, 1922). Knut Dahl, som var en av pionerne innen forskning på naturhistorien til aure og laks, skriver innledningsvis at:

De faa konkrete opplysninger angaaende fiskens utdøen gik ut paa, at fiskebestanden i de angaaende vand uten forstaaelig grund svant ind, intil der kun var relativt faa og store fisk tilbage. Efterhaanden forsvant ogsaa disse og vandet var tomt.



Figur 1. Laks fotografert i Dirdalselva. Her har laksebestanden økt markert i de senere år, på tross av at denne elva ikke er kalket.

Foto: Ulrich Pulg, Uni Research, LFI.

En annen av norsk fiskeriforsknings nestorer, Hartvig Huitfeldt-Kaas, bekreftet også dette og skriver til fiskeriinspektør Landmark (Dahl 1921):

Jeg er nærmest av den oppfatning, at det er noget i forbindelse med fiskens forplantningsforhold, som er aarsak til fiskens utdøen i disse vand, uten at jeg for øieblikket ser mig i stand til at forklare de specielle aarsaksforhold.

Huitfeldt-Kaas foretok høsten 1920 en reise til Ryfylke etter meldinger om massedød av laks i Frafjordelven, Helleelven (Espedalsvassdraget) og Dirdalselven (Figur 1). Han beskriver situasjonen i Frafjordelva slik (Huitfeldt-Kaas 1922):

Den første døde laks – den var på 12 kg. – fantes 13. november i del lille grunne Molufvand, som Frajfjordelven gjennomløper ca. 3 km ovenfor utløpet, og i tiden derefter fant man i hele den for laks tilgjengelige del av elven, ca. 100 døde og døende laks op til 13 kg., hvad regnes for usedvanlig stor fisk i dette vassdrag. De døde laks var av begge kjønn, og hunfiskene hadde endnu ikke utgytt rognen. Ogsaa mange sjøørreter og ferskvandsørreter av alle størrelser fandtes døde i elven. 14 dager etter den første døde laks var funden synes al fisk i elven at være utdød og elven helt tom for fisk.

Huidtfeldt-Kaas satte denne gangen fram en teori om at fiskedøden var forårsaket av giftige utfellinger fra myrområder i vassdragene.

Knut Dahl hadde tidligere arbeidet med laks fra Lærdal, der han påviste syk rogn hos laksen. Denne ble, ved hjelp av eksperter, funnet å være en encellet parasittisk organisme (Sporozoa). Han framla en ny hypotese at aurens utdøende i fjellvatna kunne være forårsaket av samme parasitt.

Det var tydelig at datidens ekspertise famlet i blinde ned å finne årsaken til problemene, men etter at det ble observert fiskedød i klekkerier på Sørlandet rundt 1920 satte Dahl (1926) fram hypotesen at surt vann var årsaken. Samtidig var det observert en markert nedgang i laksefisket i flere elver (Dahl 1927). Denne nedgangen fortsatte og førte til katastrofale tilstander for laksefisket i de sørligste lakseelvene, inkludert mange av elvene i Rogaland. Det var ikke bare vill-laksen som døde. Også flere klekkerier fikk føle den forverrede vannkvaliteten. Etter en massedød i et klekkeri ved Otra i 1925 ble det konstatert en pH på 5,2 i vannet (Sunde, 1926). Han foreslo å filtrere inntaksvannet gjennom kalkstein, hvilket viste seg å være en suksess.

Etter 2. verdenskrig gikk det mange år før problemene rundt forsuren ble tatt opp igjen. Det kan nesten virke som om at folk hadde slått seg til ro med at fiskebestandene var sterkt skadet. Alf Dannevig, daværende bestyrer av Flødevigen Utklekningsanstalt, satte problemet på dagsordenen igjen gjennom en artikkel i tidsskriftet Jeger og Fisker (Dannevig, 1959). Han var den første i Norge som koblet sur nedbør og vannforsuring. Det var spesielt det store geografiske omfanget av ødeleggelser som fikk Dannevig til å tenke

at problemet ikke var av lokal art. Han hadde imidlertid problemer med å koble surheten i nedbøren til langtransporterte forurensinger:

Det er eiendommelig at nedbøren ved kysten er så sur som $pH = 4,77$. Sjøvannet er alkalisk. I litteraturen finner jeg ingen annen forklaring enn at surheten i nedbøren i kystdistriktene må skyldes "an unknown factor".

I 1967 viste den svenske meteorologen og jordkjemiforskeren Svante Odén at nedbøren var blitt surere og at hovedkilden til dette var langtransporterte forurensinger fra Storbritannia, Øst-Europa og Sentral-Europa (Odén 1967, 1968). Hans banebrytende forskning var basert på et nettverk av overvåkingsstasjoner i Europa.

Direktoratet for vilt og ferskvannsfisk (DVF – nå Miljødirektoratet) foretok i perioden 1970 – 1972 en rundspørring til de kommunale innlandsfiskeremder i de sørligste fylkene (Snekvik 1974). Denne undersøkelsen viste at de indre deler av Rogaland hadde store skader på innlandsfisket. Mange av disse vatna var blitt fisketomme etter 1940. Registreringene viste at 4300 km² av Rogalands areal var skadet av forsuring. Dette er 41% av fylkets totale areal. Forsuringsproblemene var spesielt lokalisert i to adskilte områder: Et område som følger fylkesgrensen mot Agderfylkene fra Åna Sira i sør til Førreelva i nord. Avgrensingen mot vest var noe mer flytende, men fulgte i stor grad de øvre deler av vassdragene som renner ut i Ryfylkebassenget. Det andre området var lokalisert til Sauda kommune, i den del av kommunen som grenser mot Etne. Undersøkelsen viste at det totalt i Rogaland var tappt 196 artspopulasjoner (hovedsakelig aure) og at ytterligere 169 var skadet (Sevaldrud & Muniz 1980).

Problemet med sur nedbør ble satt på dagsorden i Norge gjennom et nasjonalt forskningsløft, med tverrfaglig deltakelse av forskere fra ulike norske og utenlandske institusjoner (SNSF-prosjektet, eller "Sur Nedbørs virkning på Skog og Fisk"). Prosjektet ble utført i siste halvdel av 1970-årene og avsluttet med en konferanse i Sandefjord i 1980 (Drabløs & Tollan, 1980). Gjennom dette prosjektet ble det dokumentert at fiskedøden i den sørligste delen av Norge skyldtes sur nedbør. Vassdrag der nedbørfeltet er dominert av fjell og jordsmonn med dårlig buffervirkning mot forsuring var spesielt utsatt. Slike finner vi mye av i de indre deler av Rogaland og i Agderfylkene. Her var

også den marine grensen, dvs. havets høyeste nivå etter siste istid, svært lav. Marine avsetninger, som bufrer surt vann, var derfor sparsomme i denne delen av landet. Den dårlige buffervirkningen gjenspeilte seg også i tilstanden til fiskebestandene i denne delen av landet. Dette prosjektet viste med tydelighet hvor stort problem sur nedbør var og staket veien videre for en omfattende forskning omkring problemet. I etterkant av dette prosjektet ble det i tillegg startet en vannkjemisk og biologisk overvåking av et utvalg vannforekomster i Norge, hvorav flere i Rogaland.

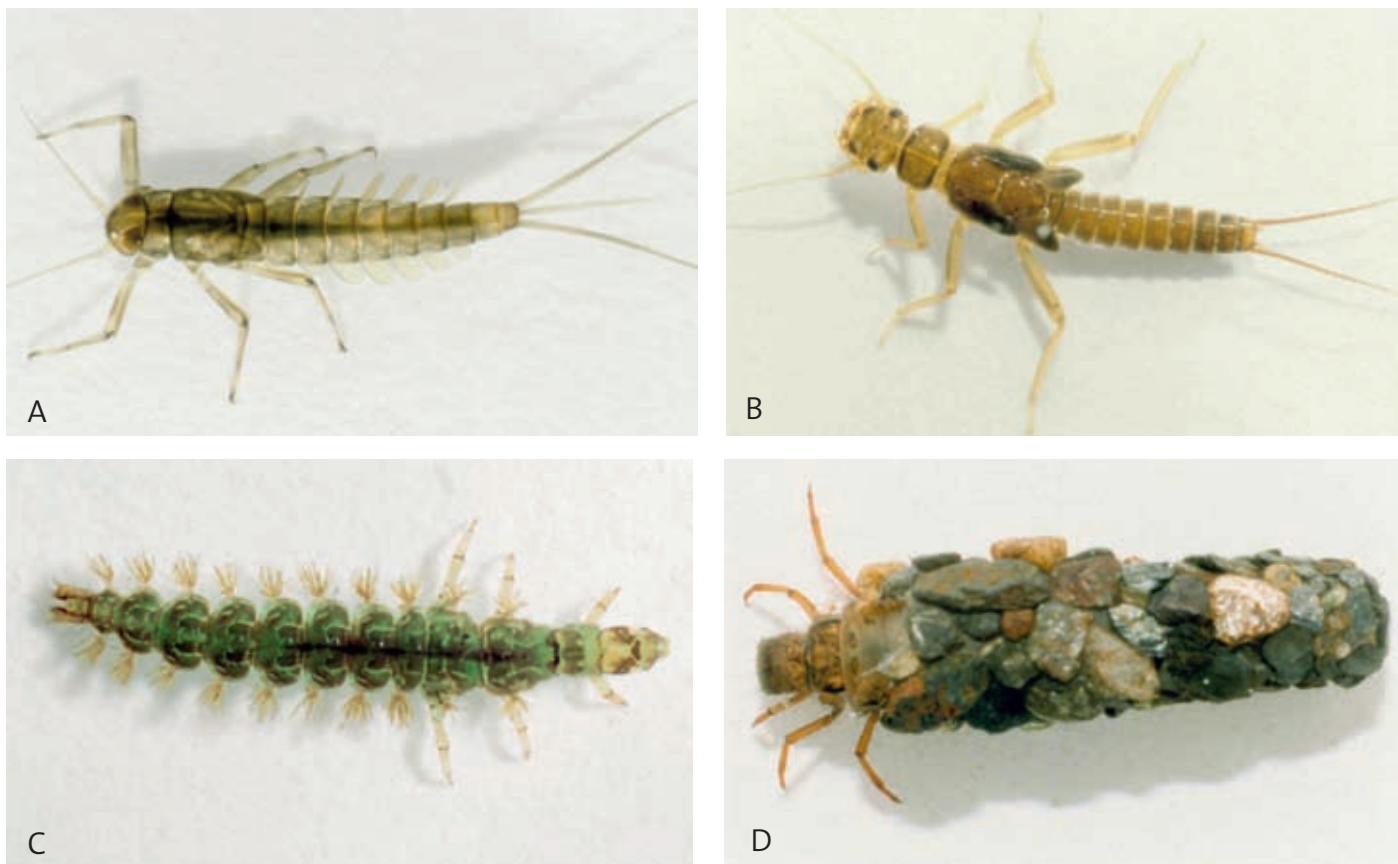
Samtidig ble en klar over at internasjonalt samarbeid måtte til for å få bukt med problemet. Dette skjedde i regi av FNs økonomiske kommisjon for Europa (UNECE). Det første gjennombruddet kom i 1979 da 30 europeiske land, samt USA og Canada, undertegnet FN-konvensjonen om langtransporterte grenseoverskridende luftforurensninger (CLRTAP). Senere er det kommet flere avtaler som forplikter landene til ulike utslippsreduksjoner. Disse avtalene skulle få svært positive virkninger for naturen og miljøet i Norge. Veien fram var imidlertid lang. Overvåkingsdata antyder at forsuringsskadene på faunaen i vann og vassdrag i det sørligste Norge var på det sterkeste rundt 1990 (Hesthagen m. fl. 1994, Fjellheim & Raddum, 2001)

DET ER IKKE BARE FISK SOM DØR NÅR VANNET BLIR SURT.

Den forskningen som ble startet i SNSF-prosjektet og som har fortsatt til våre dager viser at sur nedbør påvirker hele økosystemet ved at sensitive arter dør når vannet når en viss surhetsgrad. Dette gjelder spesielt hvirvelløse dyr, som utgjør en viktig næringsressurs for fisk. De hvirvelløse dyrene i vann og vassdrag domineres av ulike insektarter med vannlevende larvestadium (Figur 2). I tillegg finnes det en rekke hvirvelløse dyr som lever permanent i vannet. Eksempler på slike er snegl, krepsdyr, igler og fåbørstemark. De fleste insekter i elver og vann har en ettårig livssyklus. Dette vil si at det tar ett år fra egglegging til den neste generasjonen på ny legger egg. Størstedelen av denne tiden tilbringer insektet som vannlevende larve. Etter klekking lever de en kort periode på land, der de forplanter seg, legger egg og dør.

I 1980-årene ble det utviklet en indeks som viser tilstanden med hensyn på forsuring, med basis i fravær/tilstedeværelse av spesifikke bunndyrarter (Raddum & Fjellheim, 1984, Fjellheim & Raddum, 1990). Denne indeksen varierer mellom 0 (sterkt forsuret) og 1 (uforsuret). Hvis det ikke finnes for-

suringssensitive bunndyr i prøven får den verdien 0, mens tilstedeværelse av sterkt sensitive bunndyr gir verdien 1. Mellomverdier viser at moderat sensitive bunndyr er til stede. Denne indeksen har vært, og blir fremdeles benyttet som et verktøy i overvåkingen av vassdrag i Norge og i utlandet. En av fordelene ved å bruke bunndyr som indikatorer for miljøforurensing er at bunndyrartene har forskjellige tålegrenser ovenfor surt vann. De fleste bunndyr kan leve i uforsuret vann. Synker pH ned mot 5,0, vil stadig flere



arter få problemer. Vannlevende bunndyr påvirkes av sure episoder over tid. En enkelt vannkjemisk prøve kan vise akseptable verdier. Dersom det i samme lokalitet har vært tidligere episoder av dødelig giftighet, vil en kunne se dette ved å studere hvilke dyrearter som mangler.

Figur 2. Eksempler på bunndyr. A: Vanlig smådøgnflue *Baetis rhodani*, som er sterkt sensitiv for forurensing, B: Den moderat sensitive steinfluen *Diura nanseni*, C og D: To vårfluearter som er tolerante ovenfor surt vann, *Rhyacophila nubila* og *Potamophylax* sp. Alle foto: Arne Fjellheim

MOTTILTAK SETTES I VERK

I tillegg til mottiltak på internasjonalt nivå, i form av multinasjonale avtaler som hadde målsetting å begrense utslippene av forurensende stoffer til luft, ble det satt i verk mottiltak på nasjonalt og lokalt nivå – hovedsakelig ved avgifting av vann ved kalkingstiltak. Kalkingen ble utført med innsjøkalking, terrengkalking og kalkdoserere i lakseelvene. De aller fleste store lakseelvene i Rogaland har en eller flere kalkdoserere. I tillegg til kalkingen satte myndighetene i gang overvåking av en rekke av de vassdragene som ble kalket. Resultatet av denne overvåkingen viser at det de fleste steder skjedde en biologisk respons på kalkingen. Både fisken og fiskens næringsdyr reagerte positivt i form av økt overleving, innvandring og kolonisering av flere steder i vassdraget.

Tabell 1. Fangst av laks i 10 kalkete Rogalandselver i 2012 og 2013 sammenlignet med fangsten det året kalkingen ble startet (Kilde: Statistisk sentralbyrå).

Elv	Oppstart kalking	Fangst oppstartår kg	Fangst 2012 kg	Fangst 2013 kg
Sokndalselva	1989	0	2638	1954
Bjerkreimselva	1997	3730	17271	10916
Ogna	1991	3041	6041	4315
Frafjordelva	1995	172	1052	582
Espedalselva	1995	191	3224	2314
Lyseelva	2000	38	186	174
Jørpelandselva	1995	175	347	119
Suldalslågen	1998	397	6948	5019
Vikedalselva	1987	869	814	638
Rødneelva	1996	15	310	104
Totalt		8628	38831	26135

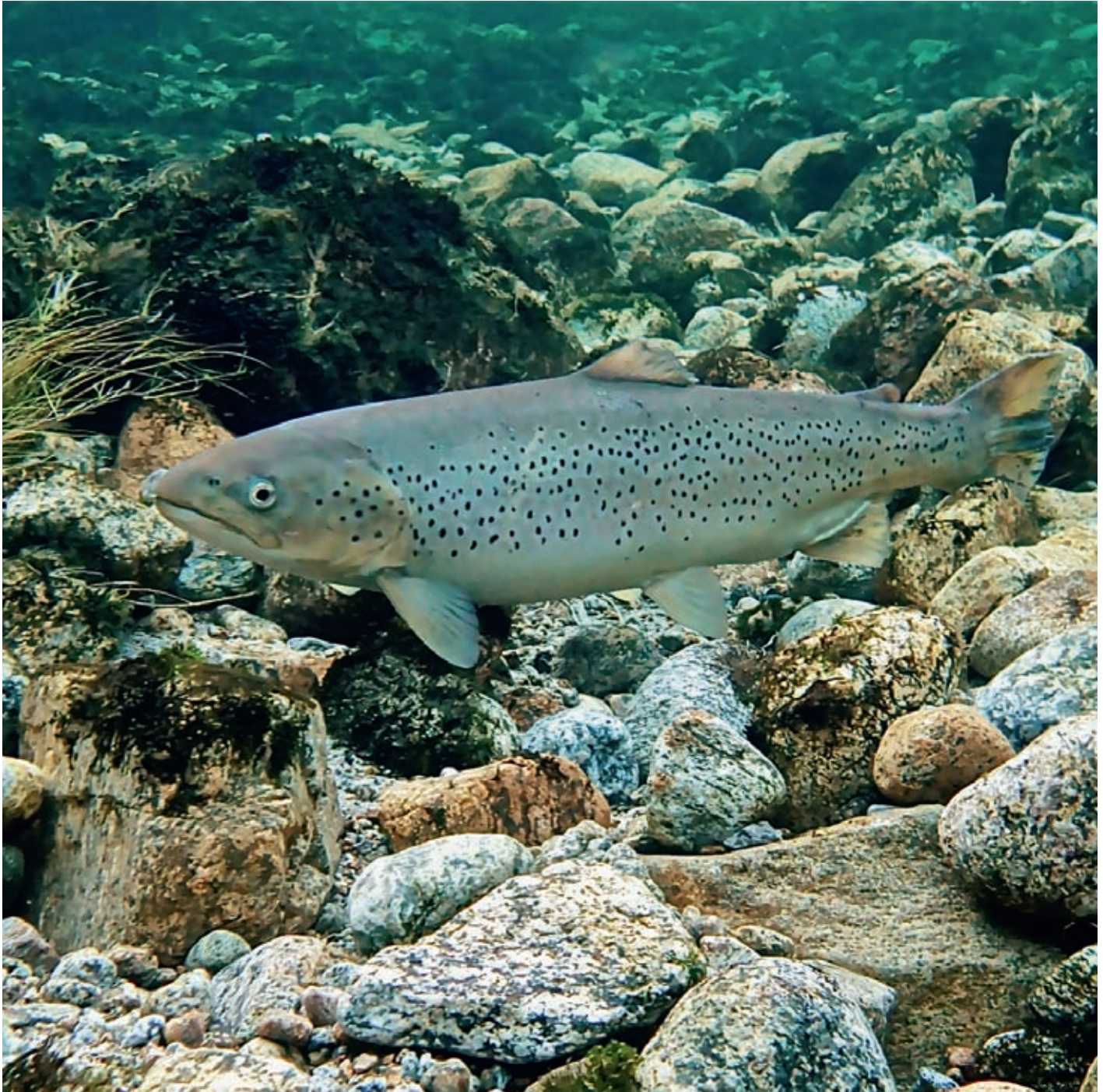
Motstående side: Figur 3. Sjøaure fotografert i Espedalselva. Sjøauren er på retur i alle rogalandselvene.

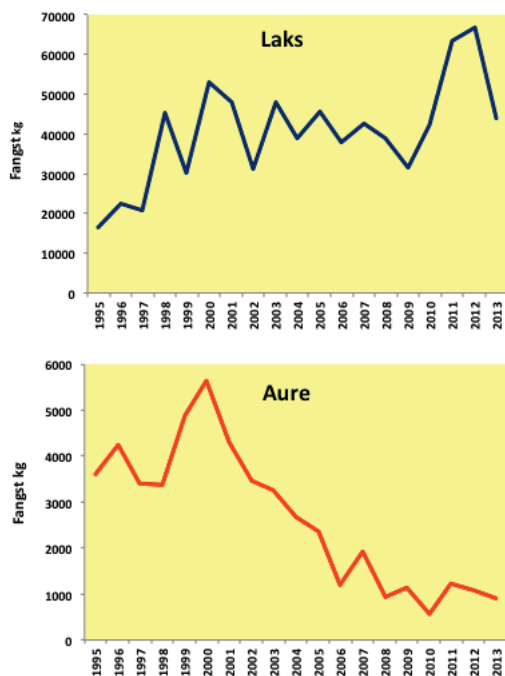
Dersom det ikke innføres strenge tiltak for å berge bestandene vil tilstanden for arten i fylket bli kritisk.

Foto: Tore Wiers, Uni Research, LFI.

Hovedmålet for elvekalkingen var å øke bestandene av laks. Tabell 1 viser fangstene i 10 kalkete Rogalandsvassdrag i 2012 og 2013 sammenlignet med fangsten det året kalkingstiltak ble satt i verk. Responsen har vært svært god, og økningen i laksefangst sammenlignet med det tidspunktet vassdragene ble kalket har vært henholdsvis 450 og 303 % i disse to årene.

En art som derimot ble skadelidende, var sjøauren. Denne er ikke så sensitiv mot surt vann som laks, og ble konkurrert ut av deler av sitt habitat etter at laksebestandene tok seg opp.





Figur 4. Totalfangst av laks og sjøaure i Rogalandselvene i perioden 1995 – 2013. Kilde: Statistisk sentralbyrå.

Tilbakegangen av sjøarefangstene i de senere år er illustrert på Figur 4, hvor den er sammenlignet med laksefangsten i samme tidsrom. Det må også nevnes at sjøauren i denne perioden har møtt problemer etter at den hadde vandret ut i fjordene, spesielt ved smitte av lakselus fra oppdrettsanlegg.

Redusert forsurening medførte også at fiskebestander i innlandet tok seg opp igjen og rekoloniserte tidligere fisketomme vann og elver, enten ved innvandring fra nærliggende områder med bedre vannkvalitet, eller ved at det ble satt ut fisk på ny. I Rogaland var det hovedsakelig aurebestandene som økte. Den positive responsen kom først i kalkete vatn. Senere viste også lokaliteter der vannkvaliteten var gjenhentet naturlig, at aurebestandene tok seg opp.

I mange vann, både kalkete og ukalkete, har den positive responsen vært svært sterk. Dette har resultert i at mange fiskevann er blitt overbefolket. At folk ikke høster fisk like mye som i eldre tider har ikke gjort situasjonen bedre. Det er derfor mange eksempler der grunneiere har klaget til myndighetene og hevdet at kalkingen har ødelagt fiskevatna. I denne sammenheng må det understrekes at overbefolkning “normaltilstanden” i mange vann og at kvaliteten av fisken bare kan bedres ved en fornuftig pleie.

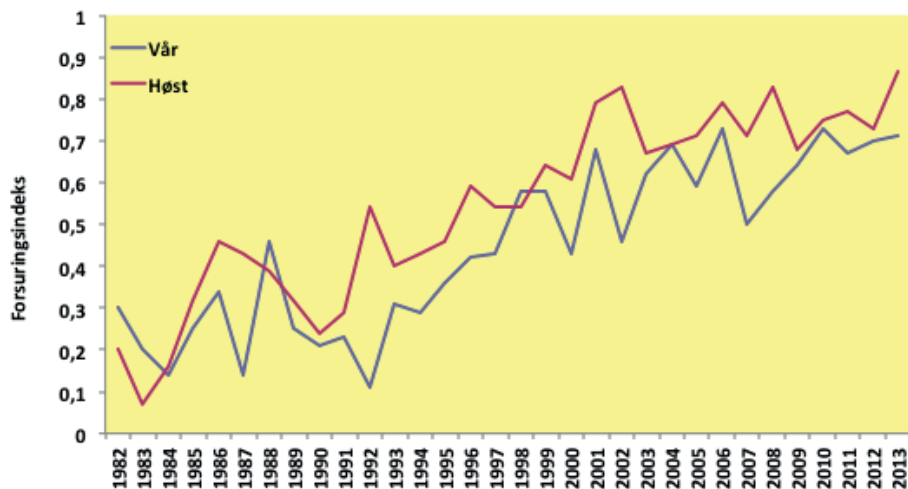
Også mange hvirvelløse dyr i elvene reagerte på den forbedrede vannkvaliteten ved at arter som tidligere var borte fra vassdraget kom tilbake. Tidspunktet for rekolonisering varierte fra art til art. Insekter som har et flyvende stadium som voksen responderte svært fort, gjerne innen et år etter at kalkingstiltak var satt i verk. Andre bunndyrarter, som snegl, sprer seg langsommere og det kunne gjerne gå 5 – 7 år før disse var tilbake (Fjellheim & Raddum 1995, Raddum & Fjellheim 2003).

VIKEDALSELVA – ET EKSEMPEL

I Vikedalselva i Rogaland ble det startet bunndyrovervåking i 1982, i regi av det nasjonale prosjektet “Statlig program for forurensningsovervåking”. Hensikten var å følge forsuringsutviklingen over tid. Bunnprøver ble tatt fra et fast stasjonsnett i vassdraget hver vår og høst. Denne måleserien er etter hvert blitt en av verdens lengste serier med årlige data av bunndyr i rennende vann. De første årene ble hele vassdraget overvåket med prøvetaking fra fjell til fjord. I 1987 ble den laks og sjøareførende (anadrome) delen av vassdraget kalket (Figur 5). Stasjonsnettet i den nedre delen av Vikedalselva

ble da utvidet og prøvetaking herfra skjedde videre i regi av Det Norske kalkingsprosjektet. Den øvre delen av vassdraget er ikke kalket. Elva ble bare kalket periodevis de første årene, senere ble kalkingsmålet trappet opp, med en bedret biologisk respons som resultat (Fjellheim & Raddum 2001).

I etterkant ser vi at måleserien av bunndyr fra den øvre, ukalkete delen av Vikedalsvassdraget dekker tre perioder av forsuringsutvikling: Først en periode med tiltakende forsurening fram til ca. 1990. Deretter følger en periode



med markert forbedring (gjenhenting) av faunaen fram til litt inn på 2000-tallet. Etter dette følger en periode der gjenhenting bremses opp igjen, men vassdraget viser nå en betydelig forbedring sammenlignet med førtilstanden (Figur 6). Den biologiske utviklingen i denne delen av Vikedalsvassdraget gjenspeiler den vannkjemiske utviklingen i vassdraget (Figur 7). Rundt 1980 var sulfatinnholdet i overflatevannet rundt 2,5 mg pr. liter. Svoveltutslippene i Sør-Norge er i løpet av de siste ti-årene redusert med over 80 %. Dette gjenspeiles av sulfatinnholdet i vassdraget. Mindre surt nedfall fører også til mindre surt elvevann. I Vikedalsvassdraget har pH steget fra ca. 5,4 til 6,2. Dette har hatt store og positive konsekvenser for forsuringsfølsomme dyr i vassdraget.

Fiskebestandene i Vikedalselva viser ikke en like enhetlig bedring. Frem til 2000 ble det fanget flere sjøaure i dette vassdraget enn laks, men fangsten

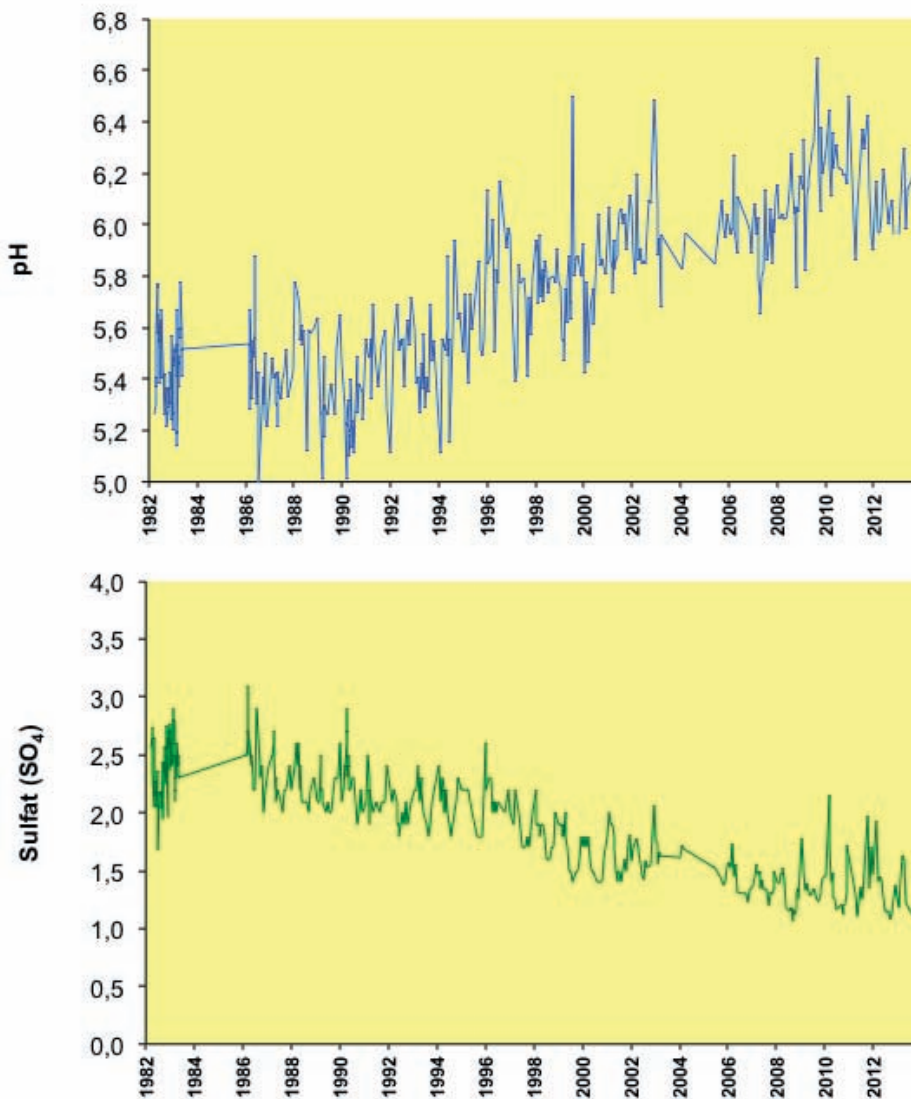


Figur 5. Kalkdoseringsanlegget i Vikedalselva ligger like oppstrøms Lokafossen, som danner en fysisk sperre for oppvandrende laks og sjøaure. Kalkmengden doseres automatisk etter pH målt i elva nedstrøms anlegget. Grunnet bedring av vannkvaliteten er doseringen av kalk redusert i de senere år.

Foto: Arne Fjellheim.

Figur 6. Utviklingen av forsuringsindeks basert på bunndyr i den ukalkete delen av Vikedalsvassdraget. For forklaring av indeksen: Se tekst og Fjellheim & Raddum (1990).

Figur 7. pH og sulfat i Vikedalselva i perioden 1982 – 2013. Prøvetakingspunktet ligger i hovedelva like ovenfor kalkdosereren (Figur 5).



gikk kraftig ned utover på 2000-tallet, og fra 2008 har sjøauren vært fredet mot all fangst i elva. Tettheten av lakseunger (Figur 8) har vist en svak bedring i de senere år, men er ennå lavere enn forventet (Saksgård & Larsen 2013). Fiskebestandene i høyereliggende vatn i vassdraget har imidlertid tatt seg opp igjen og viser til dels tegn på overbefolkning (Saksgård & Hesthagen 2010).



Figur 8. Ungfisk av laks. Dette stadiet, som kalles parr, er kjennetegnet av mørkere flekker langs siden som ligner fingeravtrykk (parrmerker). Senere forvandles ungfisken til smolt, som er det stadiet som vandrer ut i havet.

Foto: Tore Wiers, Uni Research, LFI.

HVORDAN BLIR FREMTIDEN?

Den historiske utviklingen av den sure nedbøren i Norge, så vel som i mange andre vestlige land, viser at problemet er satt på dagsorden og overvåkes nøye. Vannkjemisk overvåking av nedbør i Sør-Norge viser en reduksjon av sulfat på over 80 % i løpet av de siste 25 år. Den største forbedringen av vannkvalitet med hensyn på forsuring har derfor allerede skjedd. En fortsatt overvåking og utslippskontroll vil sannsynligvis sikre at vi ikke får tilbake fordums dårlige tilstander i våre vassdrag.

Forsuring og gjenhenting er to forskjellige prosesser. Naturen vil med stor sannsynlighet ikke vende tilbake til det stadiet den var i før forsuringen tok til. Den viktigste faktoren som påvirker dyrelivet i forsuringsfasen, er den giftige effekten av vannkjemiske komponenter. Når en arts tålegrense blir overskredet vil den ikke lenger kunne leve i lokaliteten. Når forsuringsbelastningen avtar vil det vannkjemiske miljøet igjen bli levelig for mange arter. I denne fasen, som vi kaller gjenhentingsfasen, er det hovedsakelig biotiske faktorer, som avstand til nærmeste bestand, spredningsevne og konkurranse fra andre arter som avgjør hvor fort en art re-etablerer seg i lokaliteten.

I dag skjer mesteparten av utslipp av forsurende komponenter til luft i den 3. verden. Land som Kina og India har store problemer med luftkvaliteten. Dette truer ikke bare jordsmonn og vassdrag, men også folks helse. I tillegg skjer det en tiltakende forsuring av sjøvann som følge av menneske-generert karbondioksyd i atmosfæren. Denne kan på sikt vise seg å være ødeleggende for økosystemet i havet.

TAKK

Forfatteren takker Espen Enge, Universitetet i Stavanger, for verdifulle kommentarer til manuskriptet. To av mine kolleger ved Uni Research LFI, Tore Wiers og Ulrich Pulg, takkes for lån av fotos til artikkelen. Videre takkes Norsk institutt for vannforskning (NIVA) for vannkjemiske data fra Vikedal.

Litteraturliste

- Dahl, K. 1921. Undersøkelser over ørretens utdøen i det sydvestlige Norges fjeldvand. - Norsk Jæger & Fiskerforenings Tidsskrift 50:249-267.
- Dahl, K. 1922. Supplerende bemerkninger til undersøkelser over ørretens utdøen i det sydvestlige Norges fjeldvand. - Norsk Jæger & Fiskerforenings Tidsskrift 51:64-66.
- Dahl, K. 1926. Vandets surhetsgrad og dens virkninger paa ørrettyngel. - Tidsskrift for Norsk Landbruk 33: 232-242.
- Dahl, K. 1927. The effect of acid water on trout fry. Salmon and Trout Magazine 46: 35-43.
- Dannevig, A. 1959. Nedbørens innflytelse på vassdragenes surhet og på fiskebestanden. - Jeger og Fisker 3: 116-118.
- Drabløs, D. and Tollan, A. 1980. Ecological impact of acid precipitation : proceedings of an international conference, Sandefjord, Norway, March 11-14, 1980
- Enge, E. 2013. Water chemistry and acidification recovery in Rogaland County. Vann 48: 78-88.
- Fjellheim, A. & Raddum, G. G. 1990. Acid precipitation: Biological monitoring of streams and lakes. - The Science of the Total Environment 96: 57-66.
- Fjellheim, A. & Raddum, G. G. 1995. Benthic animal response after liming of three south Norwegian rivers. - Water Air & Soil Pollution 85: 931 - 936.
- Fjellheim, A. and Raddum, G. G. 2001. Acidification and liming of River Vikedal, western Norway. A 20 year study of responses in the benthic invertebrate fauna. - Water Air & Soil Pollution 130: 1379-1384.
- Hesthagen, T., Sevaldrud, I.H. & Berger, H.M. 1994. Utvikling i forsuringsskader på fiskebestander i Sør-Norge etter 1950. - NINA Forskningsrapport 50: 1-16.
- Huitfeldt-Kaas, H. 1922. Om aarsaken til massedød av laks og ørret i Frafjordelven, Helleelven og Dirdalselven i Ryfylke høsten 1920. - Norsk Jæger Fiskefor. Tidsskrift (1/2): 37-44.
- Ibsen, H. 1966. Brand. Gyldendalske Boghandel, København.
- Mylona, S. 1993. Trends of sulphur dioxide emissions, air concentrations and depositions of sulphur in Europe since 1880. - EMEP/MSC-WRep. 2/93. 35 pp.
- Nilssen, J. P. 2014. Rogaland – en integrert del av den arktiske bioregion: karakteristikk av akvatiske økosystemer og effekt av klimaforandringer. – Museumstavanger Årbok 2013, s. 132-175.
- Odén, S. 1967. Nederbördens försurning. Artikkel i Dagens Nyheter 24 oktober 1967.
- Odén, S. 1968. Nederbördens och luftens försurning: dess orsak, förlopp och verkan i olika miljöer. Sveriges Vitenskapsråd, Ekologikommitten.
- Qvenild, T., Kleiven, E. & Hesthagen, T. 2007. Forsuring i 150 år. Jakt & Fiske 10: 74 – 77.
- Raddum, G.G. & Fjellheim, A. 1984. Acidification and early warning organisms in freshwater in western Norway. - Verh. Internat. Verein. Limnol. 22: 1973-1980.
- Raddum, G. G. and Fjellheim, A. 2003. Liming of River Audna, Southern Norway. A large scale experiment of benthic invertebrate recovery. – AMBIO 32: 230-234.
- Saksgård, R. & Hesthagen, T. 2010. Fiskebiologiske undersøkelser i Fjellgardsvatnet, Vikedal, 1994 – 2009. I: Sandlund, O.T. (red.), Nettverk for biologisk mangfold i ferskvann – samlerapport 2010. Atna- og Vikedalsvassdragene - NINA Rapport 598, 137-142.
- Saksgård, R. & Larsen, B.M.L 2013. Vikedalsvassdraget. Fisk. Kalking i laksevassdrag skadet av sur nedbør. Tiltaksovervåking i 2012. Miljødirektoratet Rapport M18-2012, s. 301-313.
- Snekvik, E. 1974. Sureinnsjøerog fiskebestand. Rogaland, Vest-Agder, Aust-Agder, Telemark. Sammenstilling av opplysninger innhentet hos innlandsfiskeemndene i de fire fylker. - Direktoratet for vilt og ferskvannfisk, Fiskeforskningen, Ås. Rapp.nr. 2. 50 s.

- Sunde, S.E. 1926. Surt vand dræper laks- og ørrettyngel. Norges Jæger og Fiskerforbunds Tidsskrift, Hefte 2-1926: 1-4.
- Schöpp, W., Posch, M., Mylona, S. and Johansson, M. 2003. Long-term development of acid deposition (1880-2030) in sensitive freshwater regions in Europe. Hydrol. Earth Syst. Sci., 7, 436-446.
- Sevaldrud, I. & Muniz, I. P. 1980. Sure vatn og innlandsfisk I Norge. Resultater av intervjuundersøkelsene 1974 – 1979. IR/77/80 SNSF-prosjektet.

SUMMARY

Acid rain and acidification of water in Rogaland County

Acidification has a long history in Rogaland. Situated in southwestern Norway, the county has received long-range transported air pollution from industrialized areas in Europe. This pollution started more than 150 years ago, in connection with the industrial revolution. At that time, knowledge of the mechanisms of acidification was nonexistent. The effect was, however, easily observed as fish populations were heavily affected. At first, populations of brown trout in upper, low-buffered areas died out. Later, also populations of Atlantic salmon and sea trout in the rivers disappeared.

Scientists troubled for decades in finding the cause of the fish death, and it was first 100 years after the first pollution reached Norway that the link between industrial emissions and fish deaths were discovered. In the 1970's a large research programme: Acid precipitation — effects on forest and fish (SNSF) was launched, aiming to give a better understanding of the effects of acidic pollution on biota. The project demonstrated that acidification affected not only fish, but may also be a serious threat to biodiversity. Especially many aquatic invertebrates are affected. By studying presence/absence of animals, the level of acidity in the locality may be identified. In Norway, this has been used as a tool in monitoring of rivers and lakes for more than three decades. The long time-series created by this database indicates that acidification effects on biota were most severe around 1990. At this time, fish populations in 5540 km² of Rogaland was affected by acidification and nearly 300 species populations, mostly brown trout, were extinct.

The battle against acidification was fought in several arenas. Most important was the international agreements of reducing emissions of pollutants. The first, Convention on Long-range Transboundary Air Pollution (CLRTAP) was signed in 1979. This has later been followed by several

protocols, strongly reducing the amount of air-borne pollutants in Europe. At local level, liming has been applied to improve conditions for fish and other biota. This has generally been successful with regard to the Atlantic salmon. Contrary, the densities of sea trout is declining. This is partially explained by higher competition from Atlantic salmon and partially by mass infestations of salmon lice generated from the salmon farming industry. In the inland waters of Rogaland county, natural recovery due to reduced emissions is pronounced. A combination of good conditions for reproduction and low fish harvesting has here resulted in many dense and stunted populations.