

Bjørn Lien Bakke

Odéns Odyssé – løsningen på sur nedbør?

I oktober 1967 publiserte den svenske forskeren Svante Odén en artikkel. I og for seg selv var ikke det en eksepsjonell hendelse. Det som var uvanlig var hvor artikkelen ble publisert, og for hvilket publikum den ble skrevet. Odén hadde bestemt seg for å kaste vitenskapelige normer og forsiktighet over bord, og i den svenske dagsavisen *Dagens Nyheter* publiserte han en helt ny teori for allmennheten. Odéns teori var at sur nedbør med opprinnelse i Tyskland og Storbritannia var skyld i den mystiske økningen av fiskedød som hadde blitt oppdaget i svenske ferskvann. Odéns artikkel var startskuddet for en rekke hendelser, som til slutt førte til erkjennelsen av at svoveldioksid som slippes ut på ett sted kan føre til alvorlige miljøskader på et annet sted hundrevis av kilometer unna. Dermed beviste Odén at intensivering av industriell virksomhet som hadde forekommet i Europa fra begynnelsen av det 19. århundret skapte transnasjonale miljøproblemer som kun kunne løses via internasjonale traktater.

Brenning av kull og luftkvalitet

Forurensning fra kullbrennende industri på 1700-, 1800- og 1900-tallet ble i lang tid sendt rett ut i luften. Til å begynne med ble forurensningen avgitt gjennom relativt korte skorsteiner - i 1831 dikterte for eksempel regjeringen i Preussen at skorsteiner måtte være minst 2 meter høye.¹ Etter hvert som industrialiseringen ble intensivert i områder som London, Nord-England, Pittsburgh og i det tyske Ruhr, ble lokalområdene stadig mer fulle av røyk og sot fra fabrikkene. I industrialiserte byer begynte innbyggerne å innse at røyken hadde en negativ innvirkning på helsen og naturen, men få anstrengelser ble brukt for å anvende renere teknologi. I stedet trodde fabrikkdirektører og forskere at løsningen på de lokale problemene bare var å bygge stadig høyere skorsteiner, som ville spre forurensningen ut i den tilnærmet uendelige atmosfæren.

Etter hvert som det ble klarere at utslipp av svoveldioksid og andre gasser hadde svært negative konsekvenser på menneskers helse, så ble utslippene til et politisk spørsmål. Europa, det stadig mer industrialiserte og motoriserte kontinentet, avga stadig større mengder svoveldioksid, noe som førte til stadig økende nivåer av lokal forurensning i industristeder og større byer. Problemet ble rikelig illustrert vinteren 1952, da London var innhyllet i et slør av røyk og sot. *Den store smogen* anslås å ha krevd 12 000 liv den vinteren. Etter den katastrofen ble luftforurensning et spørsmål for det britiske parlamentet, som i 1956 vedtok *Clean Air Act*. For å ivareta helsen til de som bor i industribyer, krevde lovgiverne bak *Clean Air Act* at en mengde mindre, ofte urbane, kullkraftverk rundt om i Storbritannia måtte stenge. De ble erstattet av nyere, større og mer effektive kullkraftverk i landlige områder. Disse kraftverkene ble utstyrt med svære skorsteiner,

som skrapte skyene i en høyde på 200 meter. Resultatet var at selv om svoveldioksid-utslippene økte i Europa fra 1945-1980, opplevde industribyer og områdene rundt mindre og mindre til de negative konsekvensene av forurensningen.²

Bekymringen for menneskelig helse kan kontrasteres med den manglende bekymringen for naturens helse. Under den franske okkupasjonen av Tysklands industrielle kjerneområde, Ruhr, etter første verdenskrig, stoppet industrien i området opp. Okkupasjonen varte i over et år, og den hadde merkbare konsekvenser på naturen i Ruhr. Før okkupasjonen visnet trær og blomster tidlig på sommeren, men under den franske okkupasjonen blomstret de hele sommeren gjennom. Elvene i området begynte også å returnere til normalen. Etter at okkupasjonen ble avsluttet og forurensningen på ny ble ført ut i elvene, uttalte en ordfører i Ruhr-området at «Vi kan kun ønske disse fargene som fabrikkene tilfører elven velkommen, for så lenge Wupper er skitten, finnes det arbeid.»³ Konsekvensene av svoveldioksid-forurensning var også synlig i Penninene, et åsområde som ligger mellom industribyene Sheffield og Manchester i Nord England. Etter den andre verdenskrigen, startet den Britiske regjeringen et skogplantingsprosjekt som tok sikte på å erstatte de skogene som var blitt utarmet av krigen.⁴ Som et resultat av dette prosjektet, ble det igangsatt «en omfattende serie av prøveplantasjer» i Penninene, hvor samtlige plantingsforsøk ble mislykket på grunn av den omfattende svoveldioksidforurensningen som kom fra industribyene på hver sin side av åsene.⁵

Beslutningen om å reise 200 meter høye skorsteiner var forankret i datidens vitenskap. Ifølge etterkrigstidens ledende forskere, ville reisningen av skorsteinene løse problemene knyttet til industriell forurensning. I 1936 hadde C.H. Bosanquet og J.L. Pearson beregnet at en skorstein på 100 meter kom til å fjerne utslipp av svoveldioksid som et problem.⁶ I 1947 argumenterte O.G. Sutton, ved å bruke data som han hadde samlet i sin tid som forsker på kjemisk krigføring, at høye skorsteiner var enda mer effektive enn Bosanquet og Pearson hadde kalkulert. Å benytte seg av høye skorsteiner, konkluderte han, var «åpenbar sunn fornuft».⁷ Sutton var en Storbritannias fremste eksperter på luftforurensning, og han bidro i flere komiteer og vitenskapelige selskap som jobbet med saken, inkludert den vitenskapelige komiteen som skrev rapporten som la grunnarbeidet for *Clean Air Act*.⁸ M. Katz, fra *Defense Research Chemical Laboratories in Canada*, summerte opp datidens kunnskap i 1949:

Selv om den totale mengden svoveldioksid som slippes ut i atmosfæren kan være enorm i store industri- eller smelteverksområder, så vil det fortynnes og siden bli fjernet via naturlige luftrensingsfenomen, når de meteorologiske forholdene ikke er ugunstige, i en relativt rask prosess.⁹

Det fantes andre løsninger som kunne ha blitt tatt i bruk for å kvitte nærområdene med de skadevirkningene som stammet fra svoveldioksidutslipp. Det var blitt utviklet flere teknologiske løsninger som ville løst kjerneproblemet i årene mellom 1880 og 1950. For eksempel, så ble den ikoniske Battersea Power Station i London designet slik at den fjernet mellom 90 og 92 % av svoveldioksidet fra utslippene sine via en skrubbeprosess da den ble bygd i 1927. Beslutningen om å fjerne svoveldioksidet fra fabrikkens røyk ble tatt etter at lokalbefolkningen, som bekymret seg for hvilke konsekvenser det nye kullkraftverket ville få for luftkvaliteten deres, hadde startet en protestaksjon. Det ble utviklet teknologier for å fjerne svoveldioksid fra røyk av to årsaker. For det første, så er svoveldioksid et materiale som er brukbart i flere sammenhenger og kan bli solgt. For det andre, så hadde det vært alvorlige katastrofer i forbindelse med smog også før 1952. For eksempel mistet 70 mennesker i Meusedalen i Belgia livet da en temperaturinversjon førte til at den forurensede luften der stod stille i fem dager i 1930.¹⁰

At svoveldioksidutslipp førte til negative konsekvenser for naturen i nærområdet ble åpenbart ganske fort. Så tidlig som i 1734 bemerket Carl von Linné at vegetasjonen rundt jernstøperiene i Falun visnet hen, og han konkluderte med at det skyltes kullet som ble brent i støperiene.¹¹ Men å bevise at utslipp av svoveldioksid fra høyder langt over bakkenivå kunne ha negative konsekvenser for naturen i fjerntliggende strøk var ikke like enkelt. Enhver landsbyidiot kan koble at det er en sammenheng mellom et vissent tre og det kull-drevne jernstøperiet ved siden av. Men, ettersom tiden gikk, skorsteinene i Europa vokste seg stadig høyere og industrialiseringen skjøt fart, så begynte fisk i sjøer i Sør-Skandinavia å dø. Forbrenningen av kull i britiske hjem og industri hadde vært merkbare i norske hjem så tidlig som i det 19. århundre. Henrik Ibsen hadde til og med referert til fenomenet i stykket *Brand* i 1866: «Brittens kvalme Stenkulsky sænker sort sig over Landet, smudser alt det friske grønne, kvæler alle Spirer skjønne». Men det var ikke før på midten av 1960-tallet at britisk og sentraleuropeisk industri ble hovedmistenkte i drapet av skandinavisk ferskvannsfisk. Å bevise at det var en kausallenke mellom de to hendelsene var en vrien vitenskapelig oppgave, særlig siden Odéns teori brøt med datidens konsensus.

Svante gjør en oppdagelse

I 1967 offentliggjorde den svenske vitenskapsmannen Svante Odén sine bekymringer over det han kalte «sur nedbör» i den svenske avisen *Dagens Nyheter*. Odén hadde oppdaget at nedbøren som falt over Sverige ble stadig surere. Han postulerte at de økologiske konsekvensene som kom til å følge av denne utviklingen ville bli fryktelige. Den sure nedbøren ville føre til utlutning av giftige metaller fra jorda til ferskvann, synkende fiskebestander, redusert skog, økt plantesykdom og økende materielle skader. Årsaken til økningen av sur nedbør, teoretiserte han, skyltes økte utslipp av svoveldioksid fra industrien i Europa.¹² *Dagens Nyheter* publiserte Odéns artikkel som en del av en serie de kalte «Miljö för framtiden», hvor forskere ble gitt en arena hvor de kunne presentere miljøsaker for allmennheten.¹³ Miljøsaker hadde økt i popularitet etter publikasjonen av Rachel Carsons bok *Silent Spring* i 1961, som viste hvordan det moderne liv førte til store skader på både miljøet og på mennesker. Odén grep muligheten som *Dagens Nyheter* ga ham med begge hender, og resultatet var at sur nedbør ble en sak som opptok den svenske offentligheten.

Svante Odéns advarsel var grunnlagt i analyser av data samlet av et nettverk av nedbørstasjoner spredt ut over Skandinavia og Europa. Hans Egnér var en svensk forsker med en interesse for forholdet mellom atmosfærens sammensetning og plantevekst. I 1947 startet han et nettverk av nedbørstasjoner som dekte Sverige. Sju år senere, i 1954, samlet Egnér og en gruppe europeiske kolleger seg sammen i et europeisk nettverk ved navn European Air Chemistry Network (EACN). Dette nettverket muliggjorde regelmessig innsamling og deling av nedbørsdata på et regionalt nivå for første gang.¹⁴ Men, nettverket hadde en svakhet: det var hovedsakelig et skandinavisk nettverk. For eksempel var det kun ni stasjoner i Vest-Tyskland, og seks i Frankrike. Til sammenligning var det mer enn 20 stasjoner hver i Norge og Sverige. Vedlegg 1 viser EACN-nettverkets geografiske spredning i 1976, og vedlegg 2 inneholder et kart over OECD-nettverket i samme år. Nettverket var for tynt til å gi presise og endelige dataer som kunne avgjøre om Odéns teori var riktig.¹⁵ I tillegg til EACNs nedbørsnettverk, så etablerte Odén et skandinavisk nettverk som målte den kjemiske sammensetningen i ferskvann. Hovedsakelig takket være initiativer fra svenske forskere, så begynte man å se konturene av en empirisk base som en kunne bruke til å analysere forandringene i den kjemiske sammensetningen av atmosfæren over Europa.

At det var en økning i sure avsetninger til jorda og ferskvann i Skandinavia ble etablert som konsensus i Skandinavia av Odén, Egnér og deres kollegaer. Men Odéns forklaring – at dette

skyldes utslipp av svoveldioksid fra andre deler av Europa, ble ikke akseptert like lett. På et seminar i Norge i 1969 presenterte Odén sin teori til norske kollegaer. Kjell Baalsrud, instituttleder ved Norsk Institutt for Vannforskning (NIVA) uttrykte sin skepsis til Odéns teori, og det gjorde også mange av hans svenske kollegaer. Deres forklaring var at den økte surheten i jorda og ferskvannet skyldes Sveriges egen industrielle utbygging.¹⁶ Noen forskere, slik som den norske geologen professor Ivan Thoralf Rosenqvist, kom til å fortsette med å kritisere og benekte Odén og hans kollegaers teorier og metoder i løpet av 70- og 80-tallet. Rosenqvists argument var at den økte surheten i Norge skyldes forandringer i bruken av natur i Norge, og at det særlig hang sammen med endringer i seterbruk.¹⁷ Men viktigst av alt så satte Odéns kontroversielle teori i gang forskere i flere andre land, og ganske snart startet tverrfaglige forskerteam å teste teoriene hans i flere land i Europa og Nord Amerika.

Den svenske regjeringen besluttet å finansiere en casestudie om sur nedbør, som de ønsket å presentere ved FNs Konferanse om det Menneskelige miljø i Stockholm i 1972. Svante Odén var en av forfatterne bak studien. Den søkte å fastslå den sure nedbørens kilder, dens konsekvenser for atmosfærens og overflatens kjemi, og de konsekvensene som sur nedbør hadde på økosystemet og på materialer. Studien konkluderte med at dersom problemet vedvarte, så ville det få seriøse konsekvenser for svenske sjøer og elver, hvor halvparten av dem kom til å nå kritiske surhetsnivåer innen 50 år om ingen endringer ble gjort. Studien slo også fast at Skandinavia var en stor nettoimportør av svoveldioksid.¹⁸

Men å oppnå vitenskapelig kunnskap om et problem er kun et første steg på veien mot å løse problemet. Om Odén hadde rett, så var sur nedbør et regionalt problem: svoveldioksid fra karbonavhengige Storbritannia og Ruhr regnet ned over Skandinavia, hvor mesteparten av elektrisiteten kom fra atom- og vannkraft.

Svantes idéer blir internasjonale

Et første steg mot en internasjonal løsning ble tatt kort tid etter Odéns artikkel i *Dagens Nyheter*. Artikkelen ble lagt merke til av viktige medlemmer i Sveriges regjering. Ikke lenge etter at artikkelen var publisert, tok Krister Wickman, Sveriges Industriminister, opp sur nedbørs-problematikken i et møte i Organisasjonen for økonomisk samarbeid og utvikling (OECD). OECD er en internasjonal organisasjon som ble etablert etter Andre verdenskrig for å koordinere gjenoppbyggingen av det krigsherjede europeiske kontinent. Dermed var det en organisasjon som hadde en viss innflytelse over medlemslandenes industripolitikk. Til å begynne med ble ikke Wickmanns beskrivelse av problemet tatt på alvor. Sutton's «sunne fornuft» regjerte fortsatt, og den gamle løsningen på svoveldioksidutslipp ble fortsatt sett på som valid: resten av møtedeltakerne var samstemte i at utslippene var et lokalt problem som ble løst ved å bygge høye skorsteiner. Men stemningen i rommet ble forandret da en svensk delegat pekte på et brennbart politisk eksempel på at utslipp kan spres over lange avstander. Nylig hadde observatører i Europa kunnet registrere radioaktivitet som stammet fra kinesiske atomprøvesprengninger. Med det eksempelet, så kunne de politiske delegatene fra de andre OECD-landene vedgå at det kanskje var mulig at industrielle utslipp fra ett europeisk land kunne skade miljøet i et annet land. Etter dette møtet sa OECD seg villig til å finansiere et forskningsprosjekt som undersøkte langtransport av svoveldioksid.¹⁹

OECD-prosjektet ble til et samarbeidsprosjekt mellom forskere fra 11 land, koordinert av Norsk Institutt for Luftforskning (NILU). Forskere fra Norge, Finland, Sverige og Danmark etablerte en felles plan og metodologi som deltakerne fra alle landene brukte. Prosjektet publiserte sin endelige

rapport i 1977, og den konkluderte med at svovelbindinger kan sveve over lange avstander. Forfatterne understrekte at sur nedbør var et transnasjonalt problem: samtlige europeiske land ble påvirket av utslipp fra et annet europeisk land. Dette inkluderte utslipp fra Sovjetunionen og dets satellitter i Øst-Europa. Etter OECDprosjektet, så ble vitenskapelig samarbeid mellom de europeiske landene styrket, og flere ressurser ble bevilget for å etablere nye nedbørstasjoner og andre luftforurensningsovervåkingstasjoner.²⁰

Bevisene i favør av Odéns teori om langtransport av svoveldioksid og dens konsekvenser på miljøet ble styrket på 1970-tallet. I Norge ble det startet et stort forskningsprosjekt kalt «Sur nedbørs virkning på skog og fisk» (SNSF) i 1972. Det fikk ytterligere økonomisk støtte fra Stortinget i 1975, og til slutt så ble det holdt en internasjonal konferanse om sur nedbør i Sandefjord i 1980. SNSF-forskerne fant sterke beviser på at sur nedbør bidro til at fiskebestanden i norske ferskvann var i nedgang. I Sør-Norge var situasjonen særs alvorlig. Omtrent 130,000 km² med innsjø hadde blitt såpass forsura at det så å si var ingen flere fisker igjen. Funnene til de norske forskerne ble bekreftet under Sandefjordkonferansen av forskere fra andre deler av verden, som rapporterte om lignende resultater i Ontario, New England og i deler av Belgia.²¹

Svante drar til New York

Det vitenskapelige arbeidet utført av Odén og hans kollegaer la grunnlaget for et forseggjort system av mellomstatlige traktater som skulle løse syreregnproblemet. Allerede i 1972 ble sur nedbør diskutert på FN-konferansen om det menneskelige miljø i Stockholm. Sovjetunionen boikottet konferansen i 1972 grunnet en diplomatisk disputt med Vesten. Men i 1975 så hadde Sovjets holdninger og interesser blitt endret, og de søkte nå etter saker som kunne bidra til avspenning med Vesten. Sovjetiske diplomater ønsket at det kunne være mulig å komme til enighet om en miljøsak, og dermed skape seg litt goodwill. De hang seg på diplomatiske forsøk fra Norge og Sverige, som hadde brukt betydelige summer for å bevise at sur nedbør var et alvorlig problem for skandinavisk natur.²²

Resultatet var at land på begge sider av jernteppet sa seg villige til å underskrive Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution (CLRTAP) i 1979, en konvensjon som har stått seg godt mot tidens tann og som har blitt utvidet åtte ganger. Konvensjonen etablerte en markeds mekanisme for utslipp, og etablerte også omfattende overvåkningsprogrammer. Forurensere ble utdelt en rett til å forurense, og de kunne enten selge sine rettigheter eller kjøpe andres.²³ Dette skapte et insentiv for at forurensere skulle gå over til enten renere teknologier, eller ta i bruk renere råstoff. For eksempel var det flere kullkraftverk som gikk over til å bruke kull med lavere innhold av svoveldioksid. Utslippene av svoveldioksid falt markant i Europa og Nord-Amerika etter at CLRTAP ble innført. Europeiske utslipp av svoveldioksid nådde toppen i 1980, og etter det falt de ganske fort mot nivåer som en ikke hadde sett siden Andre Verdenskrig.²⁴

Konklusjon

Svante Odéns liv fikk en brå slutt, da han forsvant i skjærgården rundt Öland i 1986. Han døde for tidlig til at han fikk se de fulle konsekvensene av sin vitenskapelige karriere. Likevel kunne han hvile trygt, vel vitende om at hans teorier om sur nedbør var blitt bevist, og at det var plassert høyt på den politiske agendaen i mesteparten av verden. Det var datidens største forurensere som undertegnet CLRTAP i 1979, men siden den gang har verden endret seg betraktelig. Få kunne ha

forutsett Kina og andre asiatiske lands hurtige og intensive industrialisering de siste fire tiår i 1979. Om Svante var bevisst på denne utviklingen, så kan det tenkes at han reflekterte over hvorvidt hans forskning kom til å bli tatt til følge i de nye industristatene og, eller om den nye industrien kom til å føre til at hendelser som *The Great Smog* nok en gang ville kunne skje.

VEDLEGG 1: EACNs NETTVERK. FRA SVANTE ODÉN, 'THE ACIDITY PROBLEM - AN OUTLINE OF CONCEPTS', I WATER, AIR, AND SOIL POLLUTION 6 (1976) 137-166

2. Changes of the Chemical Climate

The increasing acidity of air and precipitation in Europe and its effects on soils, vegetation and surface waters was first presented in 1967 in a Swedish Governmental Report [6]. The basic facts in this report originated from long-term network data regarding the chemistry of air and precipitation in Europe and to some extent of surface waters in Scandinavia. The frame-work of the acidity problem was published by Odén [1] in 1968. At that time the records extended for almost a 10 yr period for certain areas in Europe. When plotting these data for the different elements at individual stations it became evident that certain elements showed either a positive or a negative trend with respect to time. The chemical climate was obviously changing in Europe.

Figure 1 illustrates the European atmospheric chemical network. Each dot represents a sampling station, where precipitation and to some extent air have been sampled on a monthly basis. The major cations and anions have been determined and also pH, alkalinity and electrical conductivity. The network started in Sweden in 1948, extended to the rest of Scandinavia in 1952–54 and to other parts of Europe during the years thereafter. The International Geophysical Year (IGY) comprised a 1 yr study in some countries in 1957. U.S.S.R. started a network all over Asia to the Pacific in 1958, and to my knowledge this network is still operating. The Polish network started in 1964. Data from the last two countries are available for some years. Altogether these data make it possible to evaluate changes of the chemical climate in Europe at individual

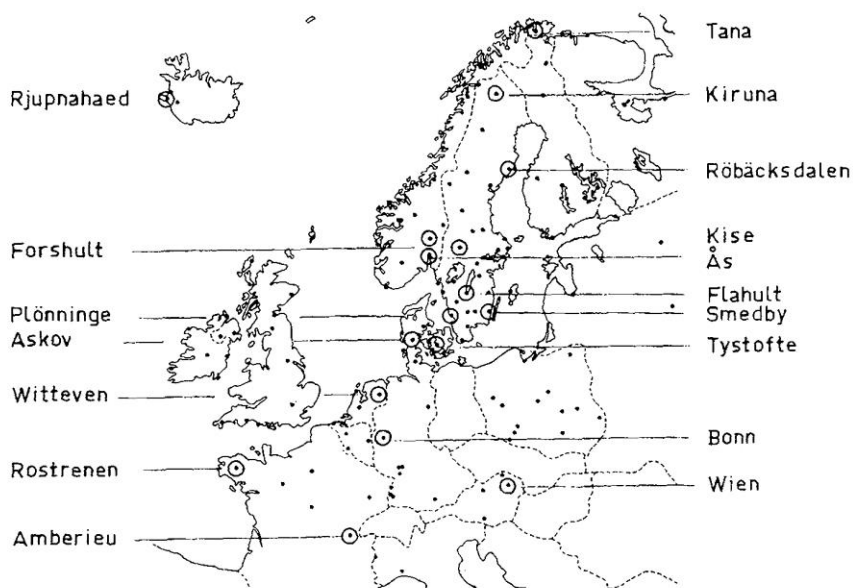


Fig. 1. Each dot on the map represents a sampling station for precipitation and air. Long-term data are presented in this paper for some of the circled stations. Part of the network is coordinated by the International Meteorological Institute in Stockholm.

Monitoring Long-Range Transport of Air Pollutants: The OECD Study

BY BRYNJULF OTTAR

A brief description is given of the OECD Program for the study of Long-Range Transport of Air Pollution.

The results from the OECD (Organization for Economic Cooperation and Development) Cooperative Technical Program to evaluate the Long-Range Transport of Air Pollutants are still under evaluation. This presentation is therefore limited to a description of the program and some general conclusions concerning transport and deposition of sulfur compounds and the acidification of the precipitation.

The strategy of the program was to use emission figures for sulfur dioxide and observed meteorological data, together with atmospheric dispersion models, to estimate the concentration field of sulfur dioxide and sulfate. These estimates would then be compared with daily measurements from the ground sampling stations (Figure 1) and with aircraft measurement data.

Figure 1. The ground sampling stations of the OECD-project Long Range Transport of Air Pollution.

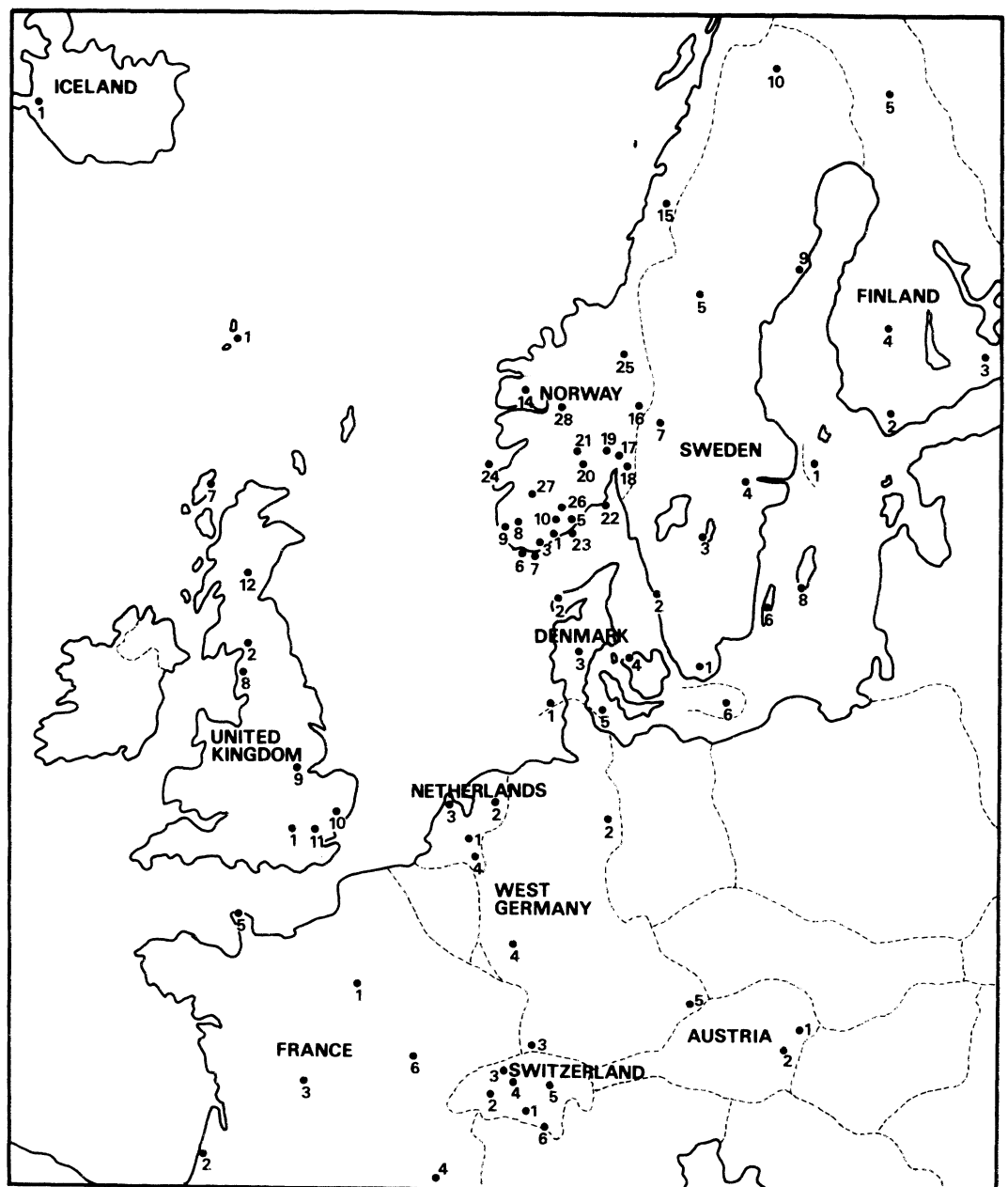
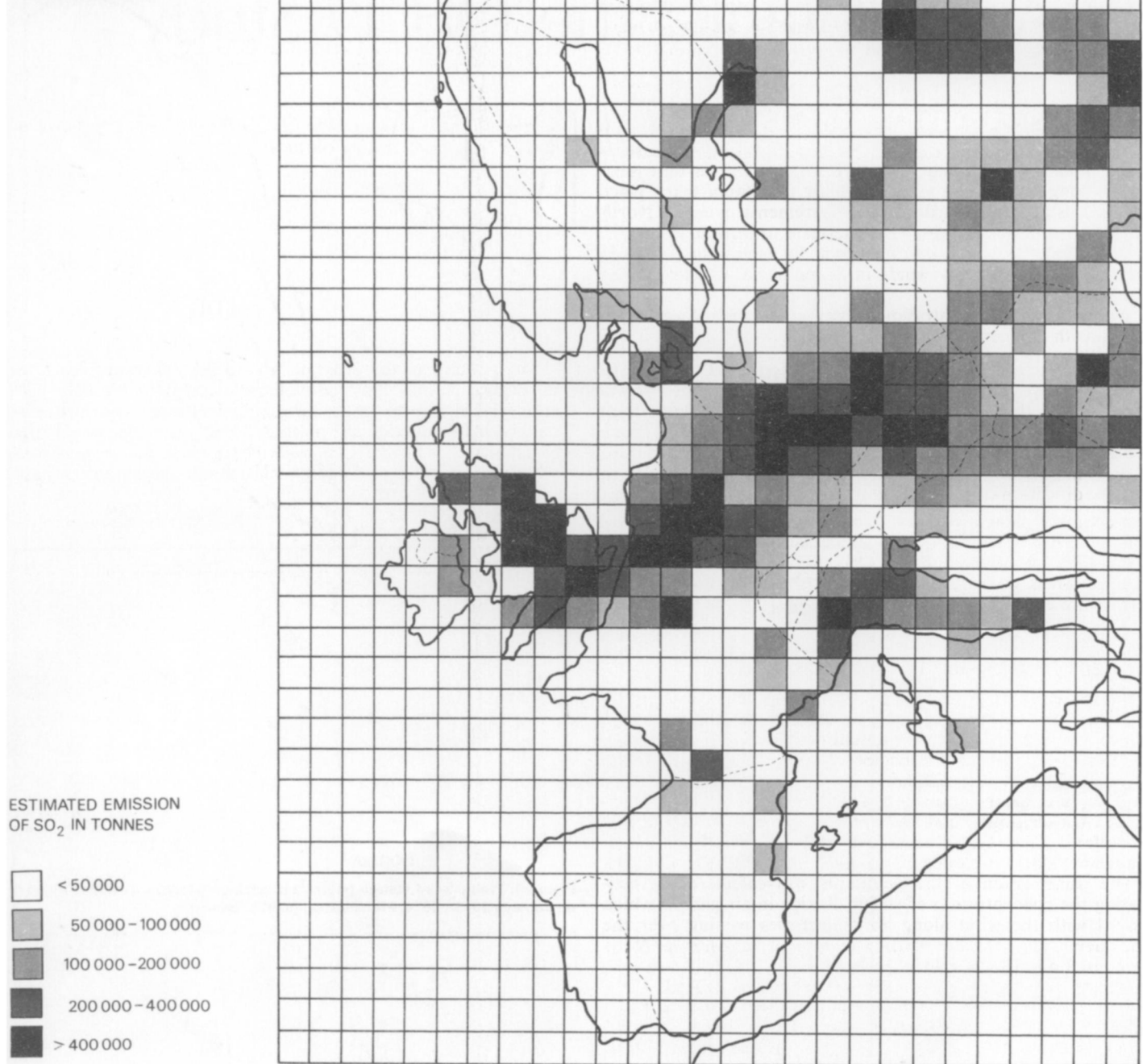


Figure 2. Estimated emission of sulfur dioxide in 1973. (10^3 tonnes SO_2 /year). Grid 37×37 squares, $d = 127$ km at $60^\circ N$.



EMISSION SURVEY

The total emission of sulfur dioxide due to combustion of fossil fuel within Europe amounts at present to about 25 million tonnes of sulfur per year. A detailed emission survey was worked out with the assistance of participating countries, giving the emissions in grid squares of $\frac{1}{2}^\circ$ latitude \times 1° longitude (1). The proportions of constant industrial process emissions and seasonally variable emissions due to household heating *etc* were also evaluated. On the basis of these data, emission fields were constructed in the grid systems used for the model calculations. An example is given in Figure 2.

The emission data were mainly based on information on fuel consumption and fuel composition. For countries which

did not participate in the program, the various information and population statistics available were used to estimate the emissions.

In a similar way, the emissions of other air pollutants, such as nitrogen oxides and particulates, can be estimated using standard emission factors, but would not be expected to be as accurate as the sulfur dioxide data.

OBSERVATIONS

In order to provide a suitable set of measurements, a network of nearly 70 ground stations was established (Figure 1), giving daily data for sulfur dioxide and sulfate aerosol concentrations in the air, and concentrations of sulfate and strong acid in precipitation.

For the demonstration of long-range transport, qualitatively and quantitatively, the ground sampling stations in Scandinavia were especially well situated, with the North Sea and the Baltic Sea as emission-free zones between the observation points and the major sources. A number of case studies show that situations with winds from southeast to southwest regularly increase the concentrations of sulfur dioxide and aerosol sulfate, sometimes by up to $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Before the program started, aircraft measurements carried out over Germany (2) and Sweden (3) had shown that the man-made emissions were generally contained within the lowest 1–2 km of the atmosphere. Further aircraft measurements undertaken during the program have shown that most of the long-range transport of the air pollutants takes place within this layer. In particular, measurements over the North Sea confirm that there is a large-scale transport of sulfur dioxide, and prove that the unexpectedly high concentrations observed with southerly winds in Scandinavia are not due to local phenomena.

Although the concentrations observed are not large compared with concentration levels in cities and industrialized areas, they are about 10 times the average concentration levels in background areas, and certainly sufficient to influence substantially the precipitation chemistry.

Observations also show that orographic precipitation acts as a trap where atmospheric pollutants are continuously removed from air passing through the precipitation area, with the result that, for a limited period of time, pollutants from large parts of Europe are deposited within a relatively small area (4). The deposition of sulfate in mg/m^2 and unit time in Figures 3 and 4 is comparable to emission rates in the major source areas of Europe. Similar observations have been made in other areas where the slopes of mountain ranges or higher terrain are exposed to polluted air masses.

MODEL CALCULATIONS

Since the establishment of the OECD program, a number of dispersion models have been proposed for the simulation of transport of air pollutants on a continental scale (5–9). Comparisons indicate that the choice of numerical model is not critical, but that the difficulty lies in the selection of wind field to describe the transport, and the parameters describing the rate of deposition and the transformation of sulfur dioxide to sulfate. The results presented here are based on a Lagrangian model developed by Eliassen and Saltbones (10, 11).

The transmission of the pollutants was calculated by estimating the concentration of sulfur dioxide in air parcels which moved with the wind along air trajectories passing over the grid elements ($127 \times 127 \text{ km}$). The rate of emission and the time used to pass a grid element were taken into account, as was the loss by chemical transformation and deposition.

The main transport of air pollutants normally takes place in the lowest two kilometers of the atmosphere. In the calculations the pollutants were assumed to be evenly distributed by height within this layer. In most cases the change of wind speed and wind direction with height over the ground was not taken into account and the wind at 850 mb ($\approx 1500 \text{ m}$) was used.

Concentration fields computed on this basis have been used to estimate the dry deposition of sulfur dioxide and the wet deposition of sulfate for each grid element. The dry deposition of sulfur dioxide was obtained by multiplying the concentration field by a deposition velocity of 0.8 cm s^{-1} . A calculation of the sulfur dioxide dry deposition field for the period December 1973 to March 1975 is shown in Figure 5.

The pattern is directly proportional to the average concentration field for sulfur dioxide in the same period. When compared with Figure 2, the influence of the major emission areas is easily recognized. The dry deposition of aerosol sulfate, which was omitted in this calculation, amounts to less than 10 percent of the sulfur dioxide deposition.

The wet deposition of sulfate for each grid element was calculated by using an empirical relationship established between long-term mean values of the calculated sulfur dioxide concentrations in air weighted by precipitation and the measured mean sulfate concentrations in precipitation. The resulting deposition field is shown in Figure 6. The large emis-

Figure 3. Precipitated sulfate (mg/m^2) in southern Norway with S-SE winds on January 5–13, 1974. Precipitation (mm) in brackets.

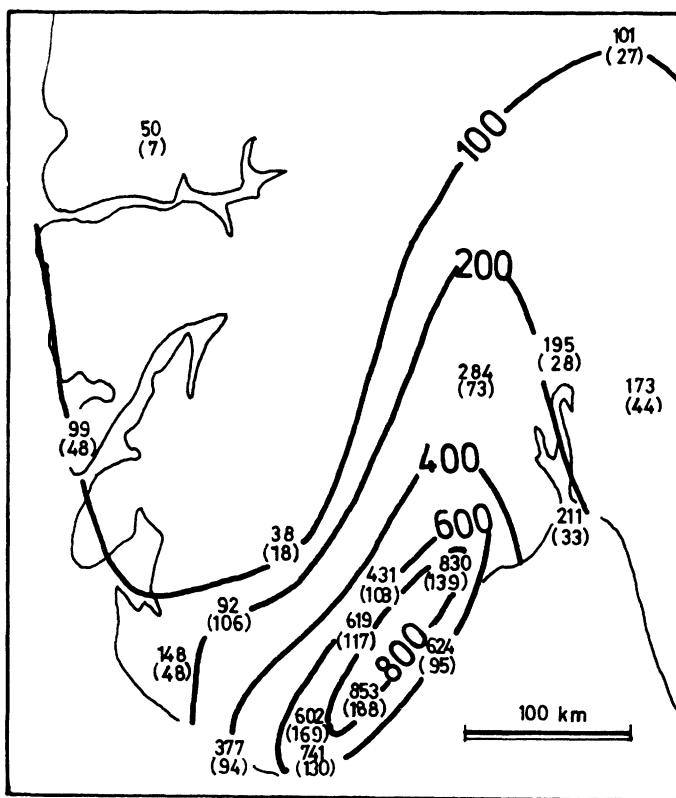


Figure 4. Precipitated sulfate (mg/m^2) in southern Norway SSW-SW winds, on January 23–31, 1974. Precipitation (mm) in brackets.

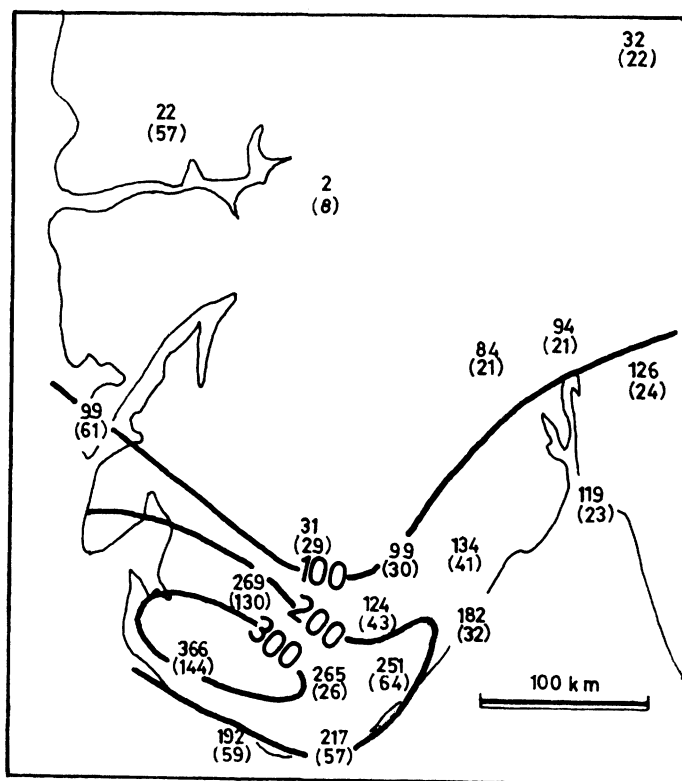


Figure 5. Estimated sulfur dioxide dry deposition pattern (g/m^2) for the period December 1973 to March 1975.

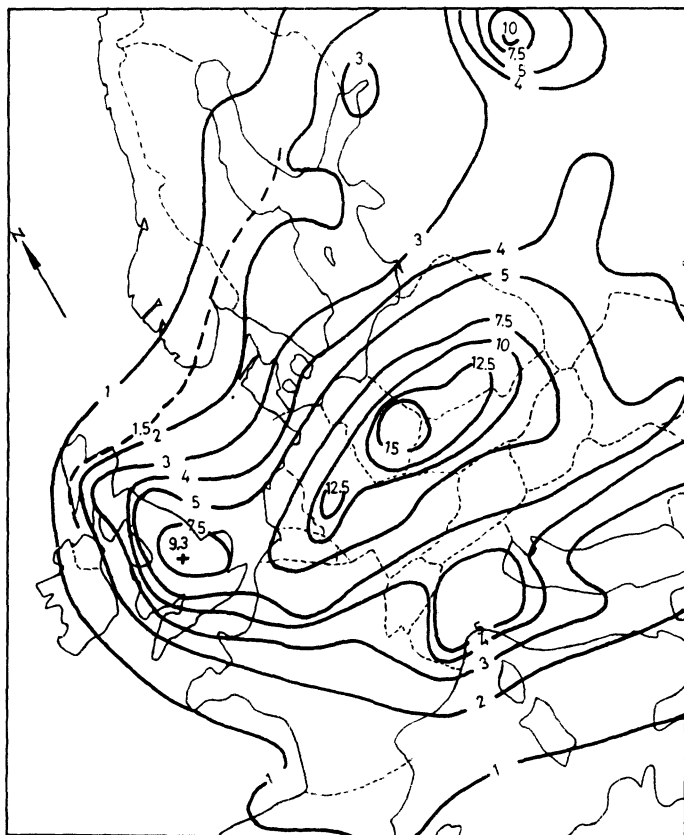
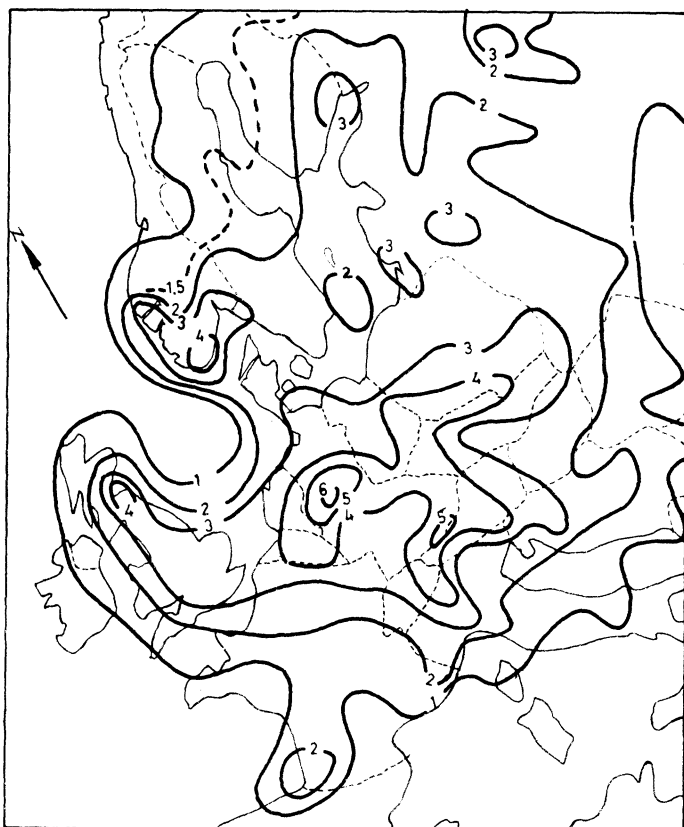


Figure 6. Estimated wet deposition pattern for sulfate (g/m^2 as SO_2) for the period December 1973 to March 1975, in Europe.



sion areas can still be recognized, but more pronounced maxima appear in areas exposed to a combination of polluted air masses and heavy precipitation. Thus, the significance of the orographic precipitation in southern Norway, Switzerland and Scotland is easily recognized.

The dry deposition is generally greater than the wet deposition in the European region. In areas exposed to orographic precipitation, however, the wet deposition outweighs the estimated dry deposition.

Accurate emission data were not available when the concentration calculations were started in 1972. For a more detailed evaluation of the long-range transport of the air pollutants, these calculations are at present being remade on the basis of more precise emission data and different dispersion models.

It should also be noted that the year-to-year variability of weather conditions may cause large variations in the deposition and budget figures, and the estimates shown here are based on a relatively short period of time. They do, however, give a large-scale physical picture of the long-range transport of air pollutants within Europe.

CONCLUSION

The OECD study has shown that considerable quantities of sulfur dioxide produced by the burning of fossil fuels and special industrial processes are transferred from the major source areas to remote regions. The study has shown that emission data together with atmospheric dispersion models and wind trajectories can be used to determine the movements of pollutants over a large region containing major emission source areas. This applies to other pollutants as well as to sulfur dioxide.

The model technique developed, which limits the number of fixed stations necessary to monitor the air pollution year by year in Europe, makes feasible a long-term monitoring of the air quality. The knowledge and experience gained in the project, if made the object of regular reporting, would contribute greatly to quantifying many hitherto qualitative aspects of the environmental impact of large-scale changes and developments in a given region.

Work in this direction has been taken up within the Economic Commission for Europe of the United Nations in cooperation with the UN Environment Programme and the World Meteorological Organization.

References and Notes:

1. B Rystad, S Strömsoe, E Amble, T Knudsen, *The LRTAP Emission Survey* (Norwegian Institute for Air Research, Kjeller, Norway, LRTAP No. 2, 1974).
2. H W Georgii, D Jost, *Pure and Applied Geophysics*, 59, 217, (1964)
3. H Rodhe, *Journal of Geophysical Research*, 77, 4494 (1972).
4. J Nordø, *Annalen der Meteorologie*, 9, 71 (1974).
5. B Bohlin, G Persson, *Tellus* 27, 289 (1975).
6. G Nordlund, *Journal of Applied Meteorology* 14, 1095 (1975).
7. R A Scriven, B E A Fisher, *Atmospheric Environment* 9, 49 (1975), *ibid.* p 59.
8. B E A Fisher, *ibid* 9, 1063 (1975).
9. A Eliassen, J Saltbones, *ibid* 9, 425 (1975).
10. ———, *Sulphur Transport and Dry Deposition over Europe Described by a Simple Lagrangian Model* (Norwegian Institute for Air Research, Kjeller, Norway, LRTAP No. 22, 1975).
11. ———, *Sulphur Deposition Patterns over Europe Estimated Using a Lagrangian Dispersion Model, Concentration Data and Precipitation Observations* (Norwegian Institute for Air Research, Kjeller, Norway, LRTAP No. 21, 1975).

Brynjulf Ottar, Ph D, is Director of the Norwegian Institute for Air Research, a position he has held since 1969. Prior to that time he was Superintendent of the Division of Chemistry of the Norwegian Defense Research Institute. Research areas of special interest to Dr Ottar are molecular studies, structure and properties of liquids, atmospheric dispersion and air pollution. His address: Norsk Institutt for Luftforskning, Postboks 130, N-2001 Lillestrøm, Norway.

VFA Torisdag 10. mars 1977

Rosenqvists fiskedød-teori: Skader norsk miljø-kamp?

— AD FERJE HALVORSEN —

Professor Ivan Th. Rosenqvist kan ha skadet Norges fremstøt for å stoppe svovelregnet fra Tyskland og England. Sur nedbør har etter de fleste vitenskapsmenns mening ført til fiskekjød over store deler av Østlandet.

Rosenqvists oppsiktsvekkende påstander var: Det er ikke sur nedbør — men forandringer i jord- og skogbruket som er årsaken til forurensning av jord og vann. Etter det VG kjenner til har professor Rosenqvist sendt artikler med denne konklusjonen til en rekke internasjonale nøkkeltidsskrifter.

BNSF-prosjektet (Sur nedbørs virkning på skog og fisk) som i går la fram sine motforestillinger til Rosenqvists påstander, forsøker nå å finne ut hvilke tidskrifter han har sendt sine artikler til. Man vil forsøke å rette opp de skadevirkninger hans konklusjoner kan ha for Norges internasjonale arbeid for å redusere utslippet av svoveldioksyd.

Norge har gjennom flere kanaler tatt opp problemet med den sure nedbøren. Regnet fra de store europeiske industristedene fører svovelen inn over Østlandet der jordsmonnet ofte er skrint. Resultat: Fisk, skog og dyr blir merket av forurensningen. Og det har alltid vært Norges mening at virkningene man kan registrere, skyldes sur nedbør.

«Søskensplid»

Miljøvernminister Gro Harlem Brundtland kritiserte i går professor Rosenqvist for ikke å ha brukt alt tilgjengelig materiale da han publiserte sitt materiale. Også hans måte å offentliggjøre sitt materiale på, har vakt oppsikt. Men det fak-

tum at Rosenqvist hadde foretrukket offentligheten i stedet for vitenskapelige fora, tilkrev miljøvernministeren «søskensplid» mellom forskere i universitetsmiljø og utenforstående forskere.

De som nå har lagt fram en motrapport mot Rosenqvists konklusjoner, representerer blant annet Landbruksvitenskapelig forskningsråd, Norges Teknisk-Naturvitenskapelige Forskningsråd og Miljøverndepartementet.

Disse institusjonene sier i rapporten at det i enkelte tilfelle kan være riktig at driftsomlegginger kan være årsaken til forurensning — men en generell forklaring av forurensningen i Sør-Norge på dette grunnlag er ukorrekt.

-
- ¹ Franz-Josef Brüggemeier, 'A Nature Fit for Industry: The Environmental History of the Ruhr Basin, 1840-1990', i *Environmental History Review*, Spring, 1994, Vol. 18, No. 1, pp. 35-54: 50
- ² David Fowler, Peter Brimblecombe, John Burrows, Mathew R. Heal, Peringe Grennfelt, David S. Stevenson, Alan Jowett, Eiko Nemitz, Mhairi Coyle, Xuejun Liu, Yunhua Chang, Gary W. Fuller, Mark A. Sutton, Zbigniew Klimont, Mike H. Unsworth og Massimo Vieno, 'A Chronology of global air quality', i *Phil. Trans. R. Soc. A* 378:20190314, Royal Society Publishing: 8-10
- ³ Brüggemeier: 50
- ⁴ R.F Wood, 'Fifty Years of forestry Research – A Review of Work Conducted and Supported by the Forestry Commission, 1920-1970', i *Forestry Commission Bulletin*, 50: 37
- ⁵ Ibid. 61-62
- ⁶ C.H, Bosanquet og J.L. Pearson, 'The Spread of Smoke and Gases from Chimneys', I *Transactions of the Faraday Society*, 1936, 32, 1249-1263: 1262-1263
- ⁷ O.G. Sutton, 'The theoretical distribution of airborne pollution from factory chimneys', I *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, Vol. 73, 317-318, 1947, p. 426-436: 436
- ⁸ F. Pasquill, 'Oliver Graham Sutton. 4 February 1903-26 May 1977', I *Biographical Memoirs of Fellows of the Royal Society*, Nov., 1978, Vol. 24, pp. 529-546: 538
- ⁹ M. Katz, 'Sulfur Dioxide in Atmosphere and Its Relation to Plant Life', i *Industrial and Engineering Chemistry*, Vol. 41, Issue 11, November 1949 pp. 2450-2465: 2453. Originalsitat: "Although the total amount of sulfur dioxide released to the atmosphere may be enormous in large industrial or smelter areas, its dilution and subsequent removal by natural air-cleaning phenomena, when the meteorological conditions are not unfavorable, are comparatively rapid processes"
- ¹⁰ M. Katz og R.J. Cole, 'Recovery of Sulfur Compounds from Atmospheric contaminants', i *Industrial And Engineering Chemistry*, Vol. 42, No. 11 November 1950 pp.2258-2269: 2259-2268
- ¹¹ Kristoffer Wigen, 'Svovelskyer over Norge', Masteroppgave ved NTNU, 2016: 9
- ¹² Ellis B. Cowling, 'Acid precipitation in historical perspective', I *Environ. Sci. Technol.*, 1982, 16, 2, 110-A-123A: 115A
- ¹³ David Larsson Heidenblad, *Den gröna vendingen : en ny kunskapshistoria om miljöfrågornas gnemombrott under efterkrigstiden*, Nordic Academic Press, 2021: 30-31
- ¹⁴ Peringe Grennfelt, Anna Engleryd, Martin Forsius, Øystein Hov, Henning Rodhe og Ellis Cowling, 'Acid rain and air pollution: 50 years of progress in environmental science and policy', i *Ambio* 2020, 49: pp. 849-864: 852
- ¹⁵ Svante Odén, 'The Acidity Problem – An outline of concepts' i *Water, Air and Soil Pollution* 6 (1976) pp. 137-166 1976: 138
- ¹⁶ John Mikael Raaheim, 'Vann for 40 år siden', i VANN 03/2009, pp. 335-337: 335
- ¹⁷ Wigen: 41-43
- ¹⁸ Grennfelt et al: 852
- ¹⁹ Ibid: 851-852
- ²⁰ Ibid: 852-853
- ²¹ Lars N. Overrein, 'SNSF-prosjektet ved avslutning' – VANN 4/80 pp.340-343

²² Rolf Lidskog og Göran Sundqvist, 'The Role of Science in Environmental Regimes: The Case of LRTAP', in *European Journal of International Relations*, 2002, Vol.8(1): 77-101: 86-89

²³ J.R. McNeill og Peter Engelke, *The Great Acceleration, An Environmental History of the Anthropocene since 1945*, Belknap Press, 2016: 25

²⁴ Grennfelt et al.: 6