

En atmosfærisk modell for spredning og utfelling av svovelforbindelser over Vest-Europa

Cand.real. Jørgen Saltbones

Jørgen Saltbones er ansatt som forsker ved Norsk institutt for luftforskning. Han er cand.real. fra Universitetet i Oslo i 1971, med geofysikk som hovedfag.

Etter foredrag i Norsk Forening for Vassdragspleie og vannhygiene, Ingeniørenes Hus 24. januar 1972.

En skal i det følgende prøve å gi en beskrivelse av den atmosfæriske modell som anvendes for å beregne spredningen av svovelforbindelser over Vest-Europa, uten bruk av matematisk symbolikk og ligninger.

Først må vi være klar over at en modell bare er en simulering av de fenomener som «naturen» fremviser. En modell kan være ganske komplisert, men den vil alltid representere en uhyre forenkling av de prosesser som virkeligheten frembyr. Det som er avgjørende for modellen og dens anvendbarhet, er om den kan simulere karakteristiske og ofte dominerende trekk ved det fenomen vi vil beskrive.

Jeg vil ta for meg følgende:

- hva ønsker vi å beskrive
- hva er nødvendig for dette

- kan vi få kontrollert at beskrivelsen har noe med virkeligheten å gjøre og til slutt noen
- eksempler på anvendelse av modellen.

Vi ønsker å beskrive den langveis transport av svovelforbindelser i atmosfæren, og utfellingen av disse over Vest-Europa. Dette vil senere bli referert til som «fenomenet».

For å beskrive dette på en så presis form at beregninger kan foretas, bygges det opp en matematisk modell. Hvis modellen er hva vi kaller «prognostisk», setter den oss i stand til å forutsi fenomenet, hvis vi kjenner de parametre og de felter som modellen krever for en slik forutsigelse. Da svært mange og viktige opplysninger som modellen krever, er av meteorologisk art, vil en forutsigelse ved bruk av modellen være nær knyttet til værprognosen.

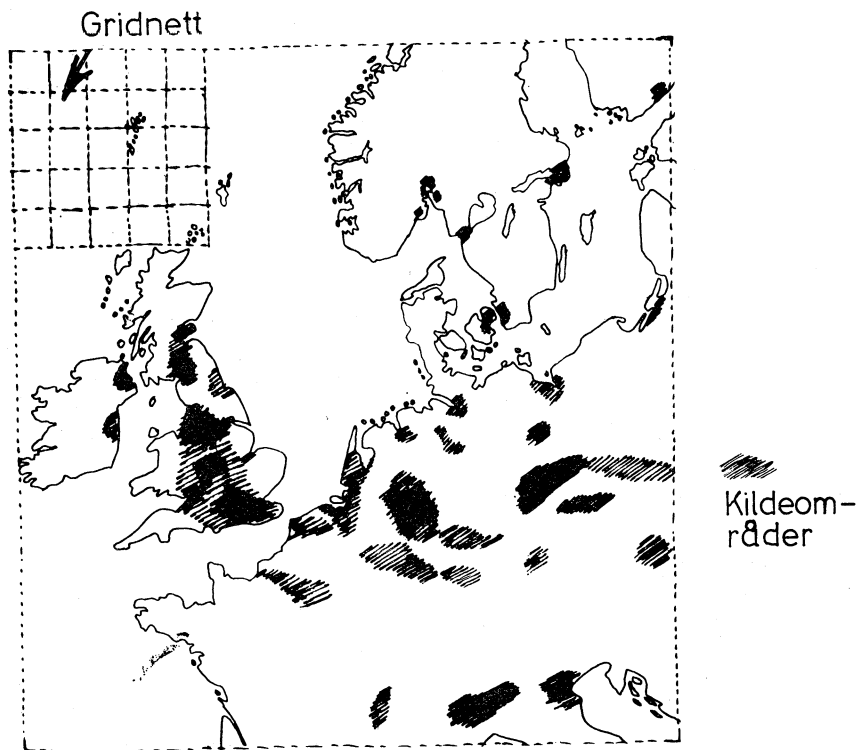
Om vi bare anvender foreliggende meteorologiske observasjoner, så kan

vi beskrive fenomenet historisk i det øyeblikk observasjonene er tilgjengelige. Det blir vel helst slike beregninger en i første omgang vil utføre.

Selv om vi sitter inne med den informasjon som modellen krever, er det forbundet med vansker å anvende modellen på et konkret fenomen.

Vi må kjenne noe til *skalaen* av fenomenet vi vil beskrive. Modellen krever ved anvendelse et referansesystem, *gridnett*, som passer til *fenomenets skala*.

En vesentlig usikkerhetsfaktor er at vi ikke med sikkerhet kjenner skalaen av det fenomen som fører til slik langtransport vi her beskriver. Vi vet at konsentrasjonsfeltene av svovelforbindelser i atmosfæren representerer en superponering av en rekke fenomener av forskjellig skala. Ved valg av referansesystem utelukker vi muligheten for å beskrive fenomener av skala mindre enn en viss bølgelengde. Vi



Figur 1

har foreløbig benyttet et gridnett med maskestørrelse 127 x 127 km².

I et slikt gridnett vil en bare kunne beskrive et fenomen av bølgelengde større enn $2d = 254$ km i den horisontale skala.

Det fenomen vi vil beskrive, tenker vi oss foregår i et relativt rundt sjikt av atmosfæren, under 2 000—3 000 m. Vi tenker oss at den effektive transport skjer et stykke over bakken, slik at terrengets innflytelse er begrenset. Disse restriksjonene finner støtte i målinger utført av flere forskere.

Luften beveger seg over vårt område, bestemt av vær og vind. Den tar opp forurensninger noen steder — og feller ut disse over andre områder. Stagnerende luftmasser i høytrykksområder vil kunne oppnå store konsentrasjoner av f.eks. SO₂. Vi vil i første omgang bare konsentrere oss om den del som menneskenes aktivitet bidrar med. Deretter vil de vanderende lavtrykk sette opp luftstrømmer som transporterer forurensningene bort fra kildeområdene. Det er disse forhold vi skal forsøke å simulere ved hjelp av den matematiske modellen vi har bygget opp.

For å beskrive «fenomenet» ved hjelp av en modell, er det nødvendig å ha kjennskap til:

- (1) — kildene for svovelutslipp (areal- og tidsfordeling)
- (2) — forskjellige meteorologiske værparametre, som vind, temperatur, regn og fuktighet.

Denne kunnskap benyttes som data-input i modellen. Selve model-

len beskriver *koblingen* mellom de parametre og felter som innvirker på fenomenet. Modellen er altså bare et «regneskjema». For å lage den riktige koblingen, må vi videre kjenne til:

- (3) — kjemiske reaksjoner som virker inn
- (4) — fysiske prosesser som kobler parametre og felter til fenomenet.

Informasjon av type (1) regner vi med å ha tilgjengelig, og arbeidet med å fremskaffe denne er omtalt tidligere av E. Amble. Til en viss grad regner vi med også å ha tilgjengelig informasjon av type (2) — meteorologiske data, gjennom det samarbeid som er etablert mellom Meteorologisk Institutt og NILU. Det er her spørsmål om praktiske programmer for å få plukket ut de data vi ønsker, analysere og ordne dem i skalafelter som er praktiske for det videre beregningsarbeid. Det er selvsagt en begrensning i hva det meteorologiske observasjonsnett kan levere av data, men en strengere begrensning ligger i hva vi kan se oss i stand til å nyttiggjøre. Vi kan også få tak i prognoser av flere av værparametrene, om enn med noe større usikkerhet.

De kjemiske reaksjonene (3) som innvirker på problemet er ganske kompliserte. De er vanskelige nok å bestemme og beskrive nøye under laboratorieforhold, — verre enda er det i atmosfæren.

De fysiske transportprosessene kan vi i prinsippet beskrive ganske godt i ligningsform, men i praksis er disse

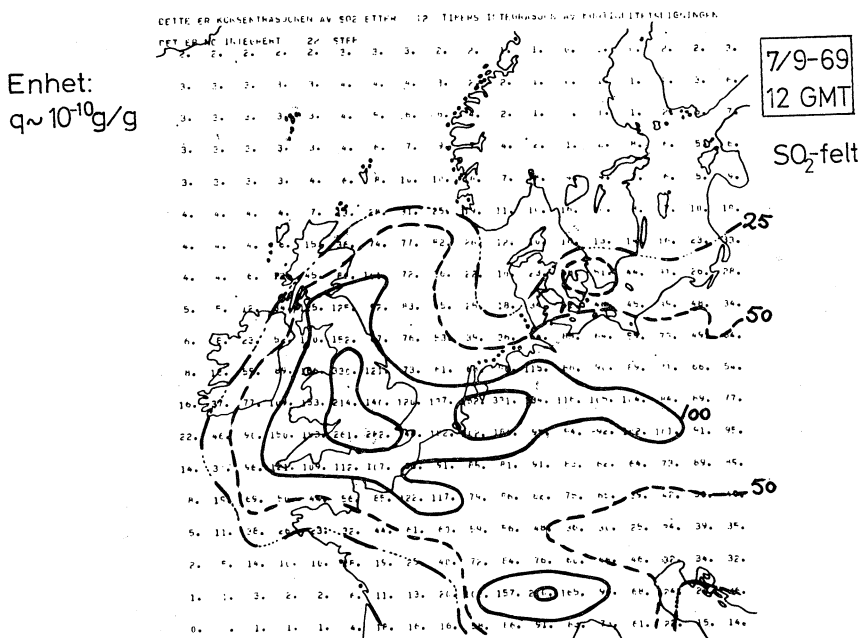
ligningene vanskelig å løse, da de krever en informasjon i mengde og detaljer som vi ikke rår over. Summen av dette blir at vi må være fornøyd om vi kan lage en modell som kan beskrive visse trekk ved «fenomenet», idet vi må basere oss på en rekke forenklinger.

I appendix bak, står noen ligninger som beskriver rom- og tidsendringen av en svovelkomponent i luften. Videre er vist hvilke forenklinger vi innfører, og hvordan vi når fram mot et regneskjema som kan programmeres for en elektronisk regnemaskin.

Etter det program som er skissert av de foregående innlegg, vil det bli

opprettet et nettverk av målestasjoner i Vest-Europa. Disse målestasjonene skal ved et koordinert måleprogram observere svovelforbindelser i luft og nedbør. Måleresultatene vil gi oss mulighet til å kontrollere det skalarfelt av f.eks. SO₂-konsentrasjoner i luften innenfor vårt valgte område som modellberegninger gir oss. Vi vil da kunne kontrollere om modellberegningene er brukbare til å beskrive «fenomenet». Videre kan vi ved å variere visse parametre i modellen, tilpasse denne best mulig til de observerte konsentrasjoner av svovelforbindelsene.

Som eksempel kan vises noen resultater av modellberegninger som



er blitt utført etter det omtalte regneskjema. Modellen virker enda ikke helt slik vi gjerne ønsker, resultatene må derfor tas som midlertidige forsøk på beskrivelse av «fenomenet».

Figur 1 viser en skjematisk skisse av hvor de sterkeste utslipp av SO₂ finnes i Europa. Maksimumsområdene finnes i de regioner hvor de sterkeste befolkningskonsentrasjoner er lokalisert, dvs. deler av England, Be-Ne-Lux-landene og Ruhr-området. Nord-Italia har også store utslipp, men da det er en svak kobling mellom værphenomener sør for Alpene og de som Vest-Europa opplever, får vi liten føling med virkningen av disse kildene. Den valgte målestokk for «gridnettet» i den regnemessige beskrivelsen er vist øverst til venstre i figur 1.

Som eksempel på bruk av modellen, er tatt ut en situasjon fra 7.—9. september 1969 (jfr. Nordø's foredrag). Værsituasjonen var:

7. september —

Høytrykksområde med svake vinder over den sydlige del av Nordsjøen. Et lavtrykk er under utvikling SV av Island. Det gir en sterk sør-vestlig vind nord for Storbritannia.

8. september —

Situasjonen stort sett uendret, men vinden tiltar (SV) i den nordre del av området. Et frontsystem passerer i nordre del.

9. september —

Et lavtrykksområde nærmer seg De Britiske øyer fra vest. Høytryk-

ket går østover. Vinden over Vest-Europa dreier om til sør.

10. september —

Vinden er dreiet om til SV i store deler av området i forbindelse med lavtrykksområdet som nå ligger over Midt-England. Vinden er relativt sterk omkring lavtrykksområdet, men høytrykksområdet dominerer enda situasjonen over Øst-Europa med svakere vinder. Den videre utvikling er ikke tatt med her.

Hva viser «modell-beregningene»:

7/9 — kl. 12 GMT, figur 2.

Det har i forbindelse med høytrykksområdet over Nordsjøen bygget seg opp store konsentrasjoner av SO₂ over de største kildeområdene. Den svake vinden i disse områdene gir liten «langveis» transport, med unntak for Nord-England, hvor vinden er relativt sterk. En «bølge» holder på å bre seg nord-vestover mot Sør-Norge. Danmark og Sverige synes å bli liggende i en «lomme» av lavere SO₂-konsentrasjoner.

8/9 — kl. 00 GMT, figur 3.

Situasjonen slik den ble beskrevet for forrige figur gjelder også her. Utviklingen fortsetter. «Bølgen» fra England når Sør-Norge.

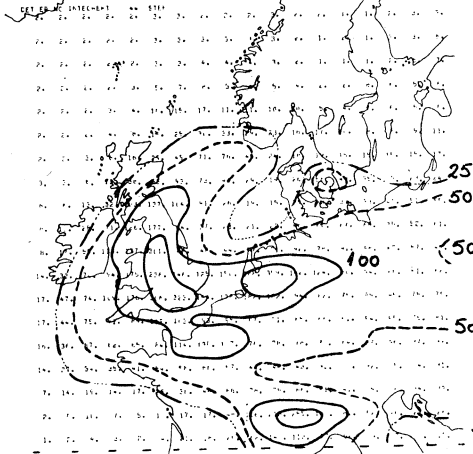
8/9 — kl. 12 GMT, figur 4.

Vi finner igjen de samme trekk som før.

9/9 — kl. 00 GMT, figur 5.

Vi ser at de sydligste deler av Norge og Sverige er kommet under innflytelse av SO₂-transport fra Eng-

LESTE ER KONTINENTALEN AV 8/9 1969 ...



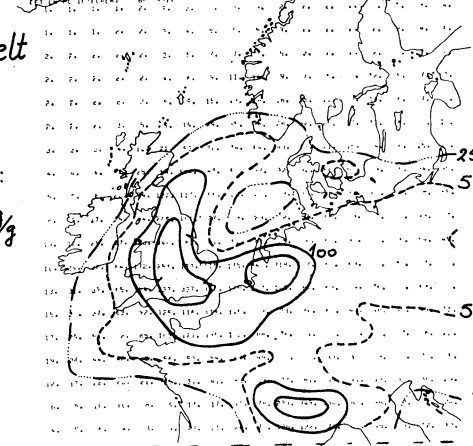
8/9-69
00 GMT

Figur 3

LESTE ER KONTINENTALEN AV 8/9 1969 ...

SO₂-felt

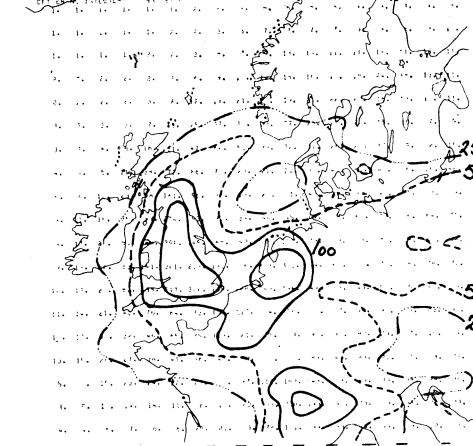
Enhet:
 $9 \sim 10^{-10} \text{ g/g}$



8/9-69
12 GMT

Figur 4

LESTE ER KONTINENTALEN AV 9/9 1969 ...



9/9-69
00 GMT

Figur 5

land. Vi ser videre at konsentrasjonene er vesentlig redusert på veien over Nordsjøen. Hva som videre skjer, er ikke tatt med her.

Koblingen til vær-situasjonen er gjerne at de høyeste konsentrasjonene blir transportert over mot Skandinavia noe før den sentrale virknin-

gen av lavtrykksområdet setter inn.

For denne situasjonen som her er omtalt, foreligger det målinger av SO_2 i aerosolfraksjonen fra et nettverk av stasjoner i Sør-Sverige. De viser et hendelsesforløp som er i kvalitativ overensstemmelse med det modellberegningene viser.

APPENDIKS :

Vi skal her kort presentere de ligninger som modellberegningene baseres på. I vesentlige trekk følger utviklingen av denne modellen K. Grønскеi's arbeid fra 1971, hvor han har beskrevet en modell som simu-

lerer SO_2 -konsentrasjoner, anvendt på Oslo-området.¹⁾

Følgende ligning (i) vil beskrive rom- og tid-enderingen av komponenten q . (F. eks. blandingsforholdet av SO_2 i luften. q er ubenevnt. (g/g))

$$(i) \quad \frac{\partial q}{\partial t} = - \sum_{i=1}^3 \frac{\partial}{\partial x_i} (q v_i) + \sum_{i=1}^3 \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho K_i \frac{\partial (q/\rho)}{\partial x_i}) + \dot{Q} - C_0$$

Her betyr:

- q — blandingsforholdet av svovelkomponenten i luften.
- t — tiden, uavhengig variabel.
- x_i — uavhengig romvariabel.
 x_i hvor $i \in (1,2,3)$ gir koordinaten for de tre romretningene i et kartesisk koordinatsystem.
- v_i — hastighetens komponent i romretningen langs x_i .
- ρ — luftens tetthet.
- K_i — turbulent diffusjonskoeffisient i romretningen langs x_i .
- \dot{Q} — utslipp av q -komponenten pr. tidsenhet, også kalt kildeledet.

- C_0 — sluk for q -komponenten pr. tidsenhet. C_0 skal representere virkningen av de van-skelig beskrivbare fysiske og kjemiske prosesser som fører til utfelling av q .
- $\sum_{i=1}^3$ — betyr at vi summerer opp virkningen i alle tre romretninger.

Med andre ord betyr (i):
Venstre side: Den lokale endring av q pr. tidsenhet.

Høyre side:

1. ledd — er virkningen av den ordnede bevegelses transport av q til stedet.

2. ledd — er virkningen av den turbulente transport av q til stedet. Samlet kaller vi 1. og 2. ledd for transportleddene.

3. ledd — kildenes virkning.

4. ledd — slukenes virkning. Vi vil innføre forenklinger i (i):

$Q = \text{konstant.}$

$K_x = K_y = K = \text{konstant.}$

(c) Vi vil regne med vertikale middelerverdier av alle størrelser som inngår i (i).

F. eks.

$$(\bar{q}) = \frac{1}{H} \int_0^H q dz$$

hvor H er tykkelsen av det luftlag vi regner med inneholder vårt fenomen.

Anvender vi (a), (b) og (c) på (i), får vi:

$$(ii) \quad \frac{\partial}{\partial t}(\bar{q}) = -\nabla_k \cdot (\bar{q}\bar{v}_k) + K \nabla_k^2(\bar{q}) + (\bar{Q}) - C(\bar{q})$$

hvor:

$$(j) \quad C(\bar{q}) = (\bar{C}_0) + \frac{1}{H}(wq)_H - \left(\frac{K_z}{H} \frac{\partial}{\partial z} q\right)_H$$

Her betyr:

\bar{v}_h — horisontalhastighet.

∇_k — todimensjonal horisontal «romendringsoperator».

w — vertikal hastighetskomponent.

$(wq)_H$ — betyr verdien av størrelsen (wq) i høyden H .

$C(\bar{q})$ representerer «det totale sluk», idet den vertikale flux av q gjennom toppen av vårt luftvolum er tatt med i denne størrelsen. Den q som transporteres opp gjennom toppen av vårt volum, regnes som tapt for de videre beregninger.

Vi innfører enda en forenkling:

$$(jj) \quad C(\bar{q}) = k_0(\bar{q}) + k_1(\bar{q})^2$$

$$(jj) \quad C(\bar{q}) = k_0(\bar{q}) + k_1(\bar{q})^2$$

Det kan gis en rekke argumenter både av fysisk og kjemisk art for å substituere (jj) for (j) i (ii).

k_0 og k_1 er konstanter som må tilpasses.

Basis for vårt regneskjema blir da:

(ii med (jj) innsatt for $C(\bar{q})$).

REFERANSE:

1) — K. Grønскеi, 1971.

A time dependent numerical dispersion model for air pollution, with application to the City of Oslo.

NILU, Internal Rapport 20/71.

Ref. 10 170.

Date: February, 1971.