

NILU  
TEKNISK NOTAT NR 6/80  
REFERANSE: 21180  
DATO: APRIL 1980

OVERVAKINGSSYSTEM FOR  
LUFTFORURENSNINGER

AV  
KARL J. EIDSVIK

NORSK INSTITUTT FOR LUFTFORSKNING  
POSTBOKS 130, 2001 LILLESTRØM  
NORGE

ISBN-82-7247-174-4

INNHALDSFORTEGNELSE

	Side
1 INNLEDNING .....	4
2 BETRAKTNINGSMÅTE .....	5
2.1 Kildeestimering .....	5
2.2 Estimering av luftstrøm .....	5
2.3 Diffusjonsmodell .....	7
2.4 Forurensningsmålinger .....	7
2.5 Estimering av forurensninger .....	7
2.6 Tilbakekobling .....	8
3 BEMERKNINGER .....	8
4 REFERANSER .....	9

OVERVÅKINGSSYSTEM FOR  
LUFTFORURENSNINGER

1 INNLEDNING

Det første og stadig tilbakevendende spørsmål i overvåking av luftforurensninger, er hvordan et overvåkingssystem bør konstrueres eller forandres (Visali et.al, 1). Jeg vil skissere en betraktningssmåte som kan gi kvantitative svar på dette og andre spørsmål i "overvåking".

For å konkretisere, tenker vi oss at formålet er å estimere sannsynligheten for at konsentrasjonen av en eller annen forurensningskomponent,  $c_i$ ;  $i = 1, 2, \dots, N$ , skal overskride grenseverdier i bestemte områder i rommet,  $\underline{r}$ , og tiden,  $t$ . Når overvåkingssystemet skal konstrueres, dataene tolkes og svarene estimeres, er det nødvendig med modeller. Sammenheng mellom forskjellige modeller og dataene gis ved å betrakte "forurensning i luft" som en stokastisk prosess illustrert i figur 1 (Balchen 2, Eidsvik 3).

Den eneste tilgjengelige informasjonen om det aktuelle (virkelige), stokastiske forurensningsfeltet,  $\underline{c}(\underline{r}, t)$ , er målinger av få forurensningskomponenter,  $c_i^*$ ;  $i = 1, 2, \dots \ll N$ , i få målesteder ( $\underline{r}_k, t$ );  $k = 1, 2, \dots, M_c$  (øvre sløyfe i figur 1). Vi ønsker imidlertid informasjon om det virkelige forurensningsfeltets tilstand også andre steder enn i målestedene.

Dette estimeres ved hjelp av modeller som skissert i figur 1's nedre sløyfe. Når estimerte (beregnete, varslede) utslipp transporteres, spres, transformeres og utfelles etter kjente modeller for diffusjon (Model Process), kan estimat for det forventede forurensningsfeltet,  $\hat{\underline{c}}(\underline{r}, t)$ , beregnes alle steder. Selv de beste modeller vil imidlertid gi betydelige, systematiske varslingsfeil over hele området.

Koblingen mellom varslede, midlere og målte verdier til høyre i figur 1 korrigerer for denne modellfeilen.

Skissen gir mulighet til å utnytte det beste både fra de tilgjengelige data og fra fysikalske og statistiske modeller for alle formål. Vi vil i det følgende beskrive skissen mer inngående. Såvidt vites, er ikke betraktningsmåten tidligere anvendt på forurensning i luft.

## 2 BETRAKTNINGSMÅTE

### 2.1 Kildeestimering

Utslipet  $Q$  er årsaken til forurensninger. Vi forutsetter imidlertid her at optimale varslingsmetoder for utslippene finnes.

### 2.2 Estimering av luftstrøm

Et stort bidrag til varslingsfeil for forurensning har sannsynligvis sin årsak i estimeringsfeil av aktuell luftstrøm,  $\underline{u}(\underline{r}, t)$  (spredningsparametre og vindretning). Det er derfor viktig å minimalisere denne feilen. Siden  $\underline{u}(\underline{r}, t)$  er et stokastisk, vektorielt, firedimensjonalt felt, er dette prinsippielt en "umulig" oppgave. Samtidige observasjoner,  $\underline{u}^*(\underline{r}_k, t)$ ;  $k = 1, 2, \dots, M_u$ , kan imidlertid kombineres på optimal måte etter:

$$\hat{\underline{u}}(\underline{r}_0, t) = \sum_{k=1}^{M_u} \phi^u(\underline{r}_0, \underline{r}_k) \underline{u}^*(\underline{r}_k, t) \quad (1)$$

Her betyr  $\hat{\underline{u}}(\underline{r}_0, t)$  et varsel for aktuelt felt og også et estimat for forventet felt.  $\phi^u(\underline{r}_0, \underline{r}_k)$  kan bestemmes slik at forskjellige fysikalske betingelser oppfylles (Goodin et.al, 4).

Uten fysiske betingelser finnes  $\phi^u(\underline{r}_0, \underline{r}_k)$  fra lignings-systemet (Eidsvik, 5):

$$\sum_{i=1}^{M_u} \phi_i^u [D_u(\underline{r}_k - \underline{r}_i) - \delta_{ik} \lambda^2] - \phi_{M_u+1} = D(\underline{r}_0 - \underline{r}_k) \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^{M_u} \phi_i = 1$$

Her betyr  $D_u(\underline{r}_k - \underline{r}_i)$  en normalisert strukturfunksjon for  $\underline{u}$ -feltet, og  $\lambda^2$  en normalisert målefeil. Dette settet av vekt-funksjoner gir minimum normalisert varslingsfeil,  $R_u^2$ . Om vi, for enkelhets skyld, tenker oss målestasjonene plassert med lik innbyrdes avstand på en sirkel med radius  $r$ , er varslingsfeilen i sentrum av sirkelen (5):

$$R_u^2(\lambda, M_u, r) = R_u^2(0, M_u, r) + \frac{1}{M_u} \lambda^2 \quad (3)$$

$$R_u^2(0, M_u, r) = \begin{cases} 2D_u(r) & ; M_u=1 \\ 2D_u(r) - \frac{1}{2}D_u(2r) & ; M_u=2 \\ 2D_u(r) - \frac{2}{3}D_u(\sqrt{3}r) & ; M_u=3 \\ 2D_u(r) - \frac{1}{4}[2D_u(\sqrt{2}r) + D_u(2r)] & ; M_u=4 \end{cases}$$

Avhengig av atmosfærens struktur,  $D_u$ , og målefeilen,  $\lambda$ , vil varslingsfeilen bli mindre med økende antall målestasjoner. I den fri atmosfæren synes den største gevinsten å være oppnådd allerede ved få målestasjoner (5). Denne metoden kan altså brukes for å estimere "optimal" type, antall og plassering av meteorologiske målestasjoner.

### 2.3 Diffusionsmodell

Når utslippene og atmosfæriske felter er varslet, gir diffusjonsmodellene (Model Process i figur 1), en prognose for forventet forurensningskonsentrasjonen i hele overvåkingsområdet,  $\hat{c}(\underline{r}, t)$ . Forskjellige diffusjonsmodeller er drøftet i (6).

Forskjellen mellom aktuelt,  $\underline{c}$ , og varslet, forventet forurensningsfelt,  $\hat{c}$ , kalles  $\varepsilon^P(\underline{r}, t)$  slik at

$$\underline{c}(\underline{r}, t) = \hat{c}(\underline{r}, t) + \varepsilon^P(\underline{r}, t) \quad (4)$$

Måleoppsettet og varslingsmetodene for  $\underline{Q}$  og  $\underline{u}$  og diffusjonsmodellene bør konstrueres slik at varslingsfeilen,  $\varepsilon^P(\underline{r}, t)$ , blir rimelig liten. Selv de beste metoder vil imidlertid gi et betydelig, storskala feilfelt.

### 2.4 Forurensningsmålinger

For enkelhets skyld antas her målefeilen for forurensning å være additiv, slik at sammenhengen mellom aktuelle verdier,  $\underline{c}$ , og målte,  $\underline{c}^*$ , er

$$\underline{c}^*(\underline{r}_k, t) = \underline{c}(\underline{r}_k, t) + \varepsilon^*(\underline{r}_k, t) \quad (5)$$

i målestedene,  $\underline{r} = \underline{r}_k$ .

### 2.5 Estimering av forurensninger

Kombinasjon av ligning (4) og (5) gir nå muligheten til å korrigere modellberegningene etter forurensningsdataene (eller omvendt):

$$\underline{c}^*(\underline{r}_k, t) - \hat{c}(\underline{r}_k, t) = \varepsilon(\underline{r}_k, t) \quad (6)$$

$$\varepsilon^P(\underline{r}_k, t) = \varepsilon(\underline{r}_k, t) - \varepsilon^*(\underline{r}_k, t) \quad (7)$$

Ligning (6) gir mulighet til realisasjoner av  $\underline{c}(\underline{r}_k, t)$ , slik at en strukturfunksjon,  $D_\epsilon(\underline{r}_i - \underline{r}_k)$ , for dette feltet kan estimeres. Når så måle metodens feil,  $\underline{\epsilon}^*(\underline{r}_k, t)$  er kjent statistisk, kan prinsipielt det mest nøyaktige feilfeltet,  $\hat{\underline{\epsilon}}^D(\underline{r}, t)$  estimeres alle steder ved de samme metoder som beskrevet under avsnitt (2.2). Den aktuelle tilstanden av forurensning varsles da optimalt som

$$\hat{\underline{c}}(\underline{r}, t) = \hat{\underline{c}}(\underline{r}, t) + \hat{\underline{\epsilon}}^D(\underline{r}, t) \quad (8)$$

med konfidensintervall gitt ved variansen av  $\hat{\underline{\epsilon}}^D(\underline{r}, t)$ . Dvs.: Foruten å ha beregnet de mest sannsynlige verdier for forurensning i ethvert punkt, kan også sjansen for overskridelse av grenseverdier beregnes alle steder (om ønskelig; i sann tid).

## 2.6 Tilbakekobling

Da rom og tidsvariasjoner av  $\underline{c}(\underline{r}, t)$  - feltet inneholder informasjon om aktuelle forurensningskilder og atmosfæriske felter (f.eks. vindretning), vil sannsynligvis denne informasjonen forbedre varslingsnøyaktigheten for  $\underline{c}(\underline{r}, t)$  vesentlig. På lengre sikt vil optimalregulering, informasjonsteori og mønster-gjenkjenning bli nyttiggjort i en tilbakekoblingsløyfe fra  $\underline{c}^*(\underline{r}_k, t)$  til varslingsboksen i figur 1.

## 3 BEMERKNINGER

Overvåking av stokastiske, vektorielle, firedimensjonale felter involverer en uendelighet av forskjellige aspekter. Jeg har illustrert noen få, uvanlige i vårt faglige miljø, som gir mulighet for å kombinere "det beste" fra tradisjonelle aspekter.

Ved å estimere en integrert varslingsfeil for forurensning,  $\int R_\epsilon^2$ , i et mangedimensjonalt rom med overvåkingssystemets parametre som koordinater (måle metoder, antall og plassering av målestasjoner, varslingsmetoder og diffusjonsmodell), kan vi prinsipielt estimere hvorhen i faserommet en bør gå for å oppnå det beste overvåkingssystemet for minst mulig økonomisk innsats.



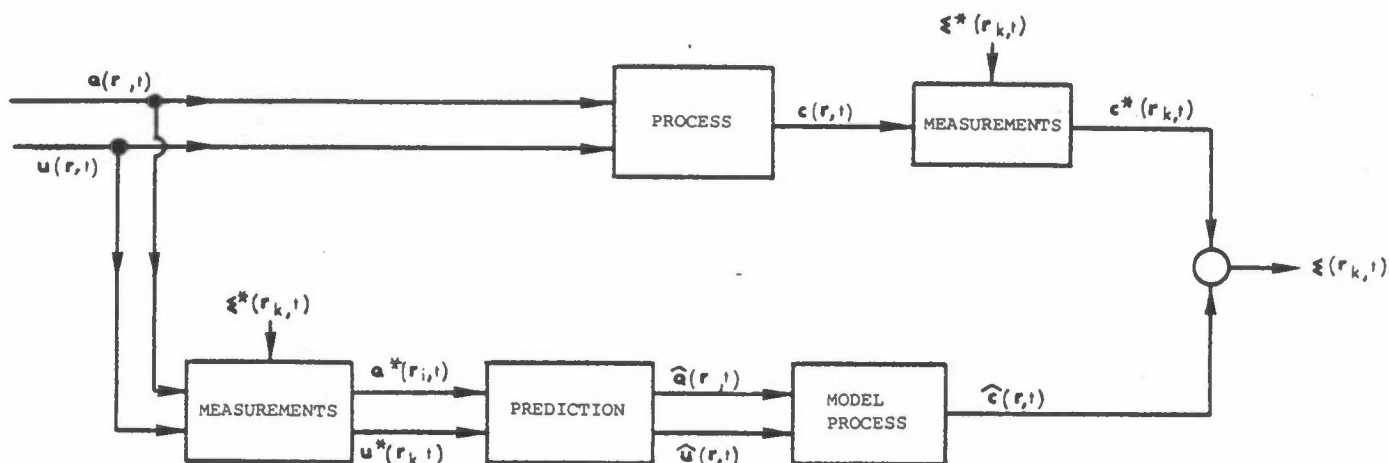
Svaret vil være avhengig av det spesielle formålet vi måtte ha. Om vi spør etter sjanse for overskridelser nå, kan svaret bli: Viktig med mange forurensningsmålinger og mindre viktig med modell-sløyfen i figur 1. Om vi spør etter "optimale" utslippsstrategier kan svaret derimot bli: Viktig med nøyaktigst mulig modellsløyfe. I dette tilfelle behøves imidlertid også testdata og skjemaet i figur 1 for å justere modellene best mulig.

Metoden vil være generelt anvendelig for alle overvåkingsområder. Desto mindre målinger en har råd til å ha i et overvåkingsområde, desto viktigere vil det være med modeller for tolkninger av dataene.

#### 4 REFERANSER

- (1) Visalli, J.R.  
Brenchley, D.L.  
Reiquam, H.  
A proposed ambient air quality sampling strategy and methodology for the design of surveillance networks.  
*In: Proceedings of the symp. on statistical aspects of air quality data.*  
Research Triangle Park, N.C., U.S. Environ. Prot. Agency, 1974.
- (2) Balchen, J.G.  
Mathematical and numerical modeling of physical and biological processes in the Barents sea. Trondheim 1978. (SINTEF - STF48 A78037.)
- (3) Eidsvik, K.J.  
Meteorologisk styring av feltartilleriets skytenøyaktighet. Kjeller 1977. (Forsvarets forskningsinstitutt. Teknisk notat VM-282.)

- (4) Goodin, W.R.  
Gregory, J.  
Seinfeld, J.H. "An objective Analysis Technique for Constructing Three-Dimensional Urban Wind Fields". J. of Applied Meteorology, 19 1980, pp 98-108.
- (5) Eidsvik, K.J. On near optimal interpolation and extrapolation of atmospheric variable using a few measurement stations. Kjeller 1978. (Forsvarets forskningsinstitutt. Teknisk notat VM-295.)
- (6) NORDFORSK Luftkvalitetsmodeller. Sluttrapport Nordforsk prosjektet Mesoskala. Spredningsmodeller. Helsingfors 1979. (Miljövårdssekretariatet. Publikation 1979:1.)



Figur 1: Skjematisk illustrasjon av den stokastiske prosessen: "Forurensning i luft". Den virkelige prosessen, der forurensningene  $\underline{Q}(\underline{r}, t)$  slippes til de atmosfæriske feltene  $\underline{u}(\underline{r}, t)$  og produserer forurensningsfeltet  $\underline{c}(\underline{r}, t)$  er ukjent. For å vite noe om denne prosessen, måles noen få forurensningskomponenter  $\underline{c}^*(\underline{r}_k, t)$  i målestedene  $\underline{r}_k$ . Målestøyen er  $\underline{\varepsilon}^*(\underline{r}_k, t)$ . Tolkning av dataene og forståelse av prosessen betinger modeller som illustrert i den nedre sløyfen i figuren. Ved hjelp av meteorologiske målinger  $\underline{u}^*(\underline{r}_k, t)$  varsles aktuelle og forventede atmosfæriske felter optimalt som  $\underline{\hat{u}}(\underline{r}, t)$ . Disse og varslede utslipp  $\underline{\hat{Q}}(\underline{r}, t)$ , er input til spredningsmodeller med output varslet, forventet forurensningsfeltet  $\underline{\hat{c}}(\underline{r}, t)$ .

**NILU**

TLF. (02) 71 41 70

**NORSK INSTITUTT FOR LUFTFORSKNING**(NORGES TEKNISK-NATURVITENSKAPELIGE FORSKNINGSRÅD)  
POSTBOKS 130, 2001 LILLESTRØM  
ELVEGT. 52.

RAPPORTTYPE Teknisk notat	RAPPORTNR. 6/80	ISBN--82-7247-174-4
DATO April 1980	ANSV.SIGN. B. Ottar <i>B. Ottar</i>	ANT.SIDER 11
TITTEL Overvåkingssystem for luftforurensninger		PROSJEKTLEDER O.E. Skogvold
		NILU PROSJEKT NR 21180
FORFATTER(E) Karl J. Eidsvik		TILGJENGELIGHET ** A
		OPPDRAKSGIVERS REF.
OPPDRAKSGIVER Statens forurensningstilsyn		
3 STIKKORD (å maks.20 anslag) Forurensning   Stokastiske filter   modeller		
REFERAT (maks. 300 anslag, 5-10 linjer) En skisse av hvordan et overvåkingssystem for luftforurensninger bør konstrueres, er tegnet.		
TITLE		
ABSTRACT (max. 300 characters, 5-10 lines)		

\*\*Kategorier: Åpen - kan bestilles fra NILU           A  
Må bestilles gjennom oppdragsgiver       B  
Kan ikke utleveres                               C