

NILU
Teknisk notat nr 4/76
Ref.: 10974
Dato: August 1976

NEFELOMETERMÅLINGER
- REGIONAL SPREDNING -
AV

Knut Erik Grønskei og Steinar Larssen

NORSK INSTITUTT FOR LUFTFORSKNING
POSTBOKS 115, 2007 KJELLER
NORGE

1 INNLEDNING

1.1 Hensikt

Hensikten med forundersøkelsen kan deles i to:

- a) Kan nephelometeret benyttes til å kartlegge transport og spredning av forurensninger over et byområde?
- b) Hvorledes fordeler forurensningene seg i rommet over Oslo-området under en forurensningsepisode, og er det samsvar mellom denne fordelingen målt med nephelometer og spredningsmodellen som er utviklet for Oslo-området (1)?

1.2 Metode

NILU's fly med temperaturmåler og nephelometer (University of Washington integrating nephelometer), ble benyttet til registrering av den tredimensjonale fordelingen av temperatur og lysspredningskoeffisient for partikler over Oslo under forurensningsepisoder. Forurensningsepisodene ble valgt på grunnlag av tidligere kjennskap til forurensningsforholdene i Oslo (2) og i samråd med Meteorologisk institutt på Blindern.

Situasjonene kan karakteriseres på følgende måte:

- a) Høytrykk og svak nordvestlig vind i høyden.
- b) Svake vinder og klarvær i Oslo-området som gir inversjonsforhold om natten.
- c) Ubetydelig oppvarmingseffekt av solstrålingen.

For å optimalisere kartleggingen ble flymålingene planlagt som en kombinasjon av vertikal og horisontalsnitt. Vertikalsnittene ble foretatt utenfor bykjernen over fjorden og i dalene. Horisontalsnittene ble foretatt for å knytte forholdene over sentrum sammen med vertikalsnittene i omgivelsene. Planleggingen og utførelsen av flymålingene ble koordinert med flytrafikken omkring Fornebu og selve flygningen ble ledet av flykontrollen ved Fornebu.

2. BESKRIVELSE AV UNIV. OF WASH. INTEGRERENDE NEFELOMETER

Fotometre som måler lysspredningen fra partikler som blir belyst med synlig lys kalles gjerne nefelometre. Det finnes flere typer nefelometre som måler lysspredningen i forskjellige vinkelsoner i forhold til retningen av det innfallende lys.

Anta et lite aerosol volum av tykkelse dx belyst av en parallell lysbunt av bølgelengde λ og intensitet $I_{0,\lambda}$. For ikke-polariserte lys får en følgende uttrykk for lys spredt i en vinkelsone $d\Omega$ rundt spredningsvinkelen θ :

$$\frac{dI_{\lambda}}{d\Omega}(\Omega) \cdot d = I_{0,\lambda} \cdot \beta_{\lambda}(\theta) dx$$

hvor $\beta_{\lambda}(\theta)$ er lysspredningskoeffisienten ved bølgelengde λ i vinkelretningen θ .

Et integrerende nefelometer, først bygd av Buettel og Brewer (3), integrerer (adderer) lysspredningen over alle retninger. Dette gir total lysspredningskoeffisient $b_{sp,\lambda}$ for partikler ved bølgelengde λ .

University of Washington Integrerende Nefelometer (4) måler samlet (integrert) lysspredning innen vinkelsonen ca $10^{\circ} < \theta < ca 170^{\circ}$, dvs. bortimot alt lys som spres fra partiklene. Ved hjelp av elektronisk omforming av signalet som er intensiteten av det spredte lyset, I_{λ} , gir instrumentet en verdi av $b_{sp,\lambda}$ direkte.

Figur 2.1 viser en skisse av instrumentets oppbygning og elektroniske blokker. Partikler i luften (aerosolen) suges gjennom et kammer som belyses av en lampe bak et opalglass. Opalglass har den egenskap at lys transmitteres gjennom glasset med intensitet $\cos \theta$, hvor θ er vinkelen fra loddlinjen på glasset. Det spredte lyset fra partiklene detekteres av et fotomultiplikatorrør. Det er geometrien

som sammen med opalglassets $\cos \theta$ - karakteristikk gir instrumentet mulighet til å bestemme $b_{sp,\lambda}$ direkte.

Spesifikasjoner:

Bølgelengde:	$5.30 \cdot 10^{-7} \text{ m}$
Deteksjonsgrense:	$\sim 10^{-2} \text{ m}^{-1}$
Område:	$10^{-7} - 10^{-2} \text{ m}^{-1}$
Deteksjonsmetode:	Fotontelling.

Instrumentet kan, alt etter hvordan det kalibreres, måle lysspredning fra luften selv og partiklene samlet, $b_{sa} + b_{sp}$, eller lysspredningen fra partiklene, b_{sp} , for seg.

Instrumentet er mest følsomt for partikler i størrelsesområdet $(0,1 - 1,0) \cdot 10^{-6} \text{ m}$, som sprer lys med den angitte bølgelengden mest effektivt.

b_{sp} og synsvidde

Det er en direkte relasjon mellom synsvidden (visibility, atmospheric range) og ekstinksjonskoeffisienten b_{ext} , utledet av Koschmieder (5):

$$\text{Synsvidden } V = \frac{3.9}{b_{ext}}$$

Vanligvis antas at $b_{ext} \sim b_{sp}$ (i.e. $b_{abs} \sim 0$). Via ligningen over kan da instrumentet brukes direkte til å måle synsvidden.

b_{sp} og partikkelmasse

Det er en sammenheng mellom lysspredningskoeffisienten b_{sp} , og volumet V , eller massen m , av partikler i luften. Sammenhengen er avhengig av partiklenes størrelsesfordeling, refraksjonsindex, og spesifikke tetthet. Måling av b_{sp} kan brukes som en indikasjon på partikkelkonsentrasjonen ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) i luften.

Samtidige målinger av b_{sp} og partikkelmasse utført for forskjellige steder i USA (Seattle, New York, San Jose, Altadena) har gitt følgende ligning for sammenhengen mellom b_{sp} og masse (6, 7):

$$m (\mu\text{g}/\text{m}^3) = 3.8^{+3.8}_{-1.9} \times 10^5 \times b_{sp} (\text{m}^{-1})$$

Faktoren 3.8 representerer medianen for alle målinger, mens 90 prosent av verdiene ligger innenfor området 7.6 - 1.9. Måleteknikken brukt for partikler synes å være lite representativ for store partikler, slik at varierende innhold av store partikler (p.g.a. ikke-representativ måling) sannsynligvis utgør en del av årsaken til den relativt store spredningen i faktor-verdien. Ved bruk av ligningen kan en sannsynligvis regne med at den verdien en får for massen m ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) er massen av partikler mindre enn 10 - 20 μm i diameter, dvs. det en vanligvis betegner med svevestøvmassen.

Feilkilder

Geometrisk feil. På grunn av at lys i vinkelsonen $0-10^\circ$ og $170-180^\circ$ ikke detekteres, vil instrumentet måle en lysspredning som er noe mindre enn den totale ($0-180^\circ$). Denne feilen vil være mindre enn 10% for de partikkelfordelinger som vanligvis finnes i atmosfæren.

Kalibrering. Nøyaktig kalibrering fordrer tilførsel av helt ren luft og en gass med kjent spredningskoeffisient til instrumentet. Dette kan utføres på laboratoriet. Ved bruk i felten (f.eks. i fly) er dette vanskelig å utføre. Nullkalibrering utføres ved å fly høyt, over blandingslaget, hvor en kan anta at luften er tilnærmet ren for partikler. En slik nullkalibrering gir ikke nevneverdig unøyaktighet ved b_{sp} større enn 10^{-5} m^{-1} . En intern kilde sørger for nøyaktig kalibrering av forsterkningen.

Interferenser

Fuktighet. Instrumentet detekterer alle partikler som kommer inn i instrumentet, også tåkedråper og andre vannholdige partikler. Fuktigheten vil representere en interferens, dersom en vil karakterisere innholdet av tørre partikler i atmosfæren. Hygroskopiske partikler vil vokse ved RH større enn ca 70%, og derved endre lysspredningen i forhold til for tørre partikler. Tåkedråper som er små nok til å komme gjennom inntakssystemet og inn i instrumentet i større mengder vil øke lysspredningen i forhold til for tørre partikler. Ved oppvarming av inntaksluften kan disse fuktighetseffekter unngås.

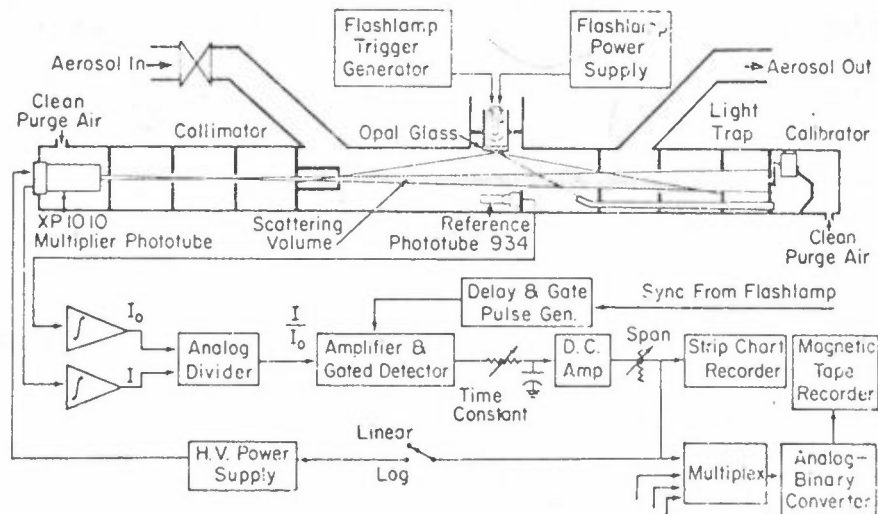


Figure 2.1: Functional diagram for the mobile nephelometer. The optical unit is not drawn to scale.

3 MÅLERESULTATER

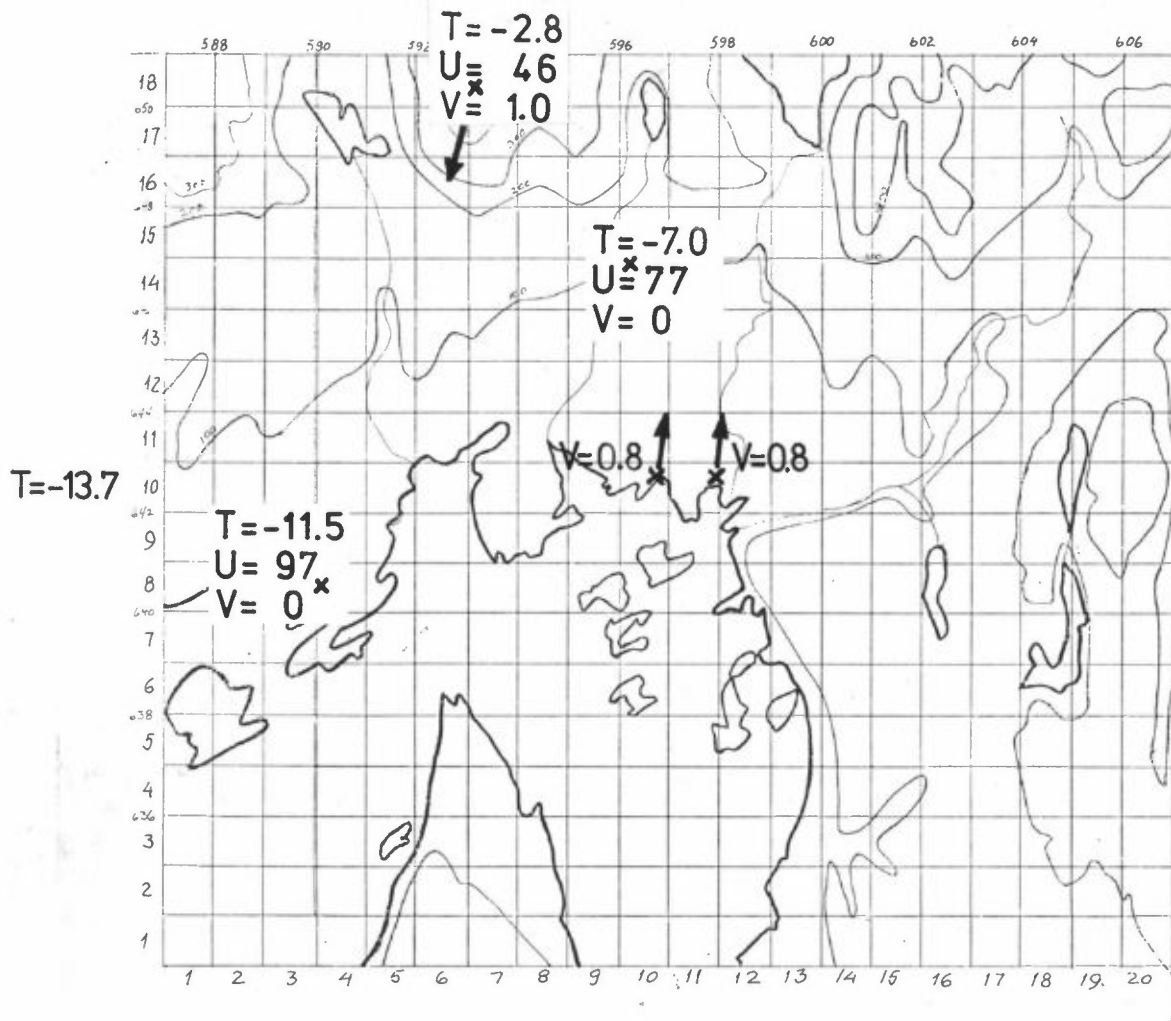
Målinger ble utført mellom 0800-0900 den 26. februar og vær-situasjonen tilfredsstilte kravene som er spesifisert under punkt 1.2.

3.1 Meteorologiske målinger

Vind, temperatur og relativ fuktighet ble målt ved flere bakke-stasjoner og målingene er vist i figur 3.1. Vindstasjonene Løxa i Bærum, Fornebu og Meteorologisk institutt måler vindstille. De to vindstasjonene i sentrum målte svak vind fra sør mens det fra værstasjonen på Tryvasshøgda ble rapportert svak vind (1 m/s) fra nordlig kant.

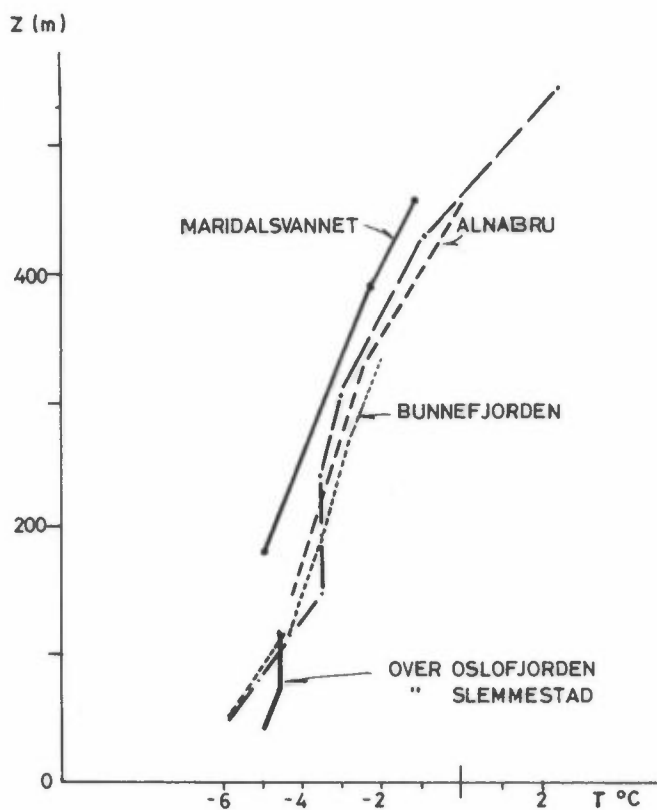
Observasjoner fra flyet viste at den forurensede disen trakk vestover og ut fjorden fra byområdet. Disse observasjoner og målinger tyder på at det foregår en vertikal løfting av forurensningene over byområdet, og at forurensningene så transporteres sørvestover med høydevinden. Relativ fuktighet og temperatur varierte med høyden mellom henholdsvis 46% og -2.8°C som ble observert på Tryvasshøgda og 97% og -11.5°C som ble observert ved Fornebu.

Temperaturfordelingen med høyden er fremstilt i de neste tre figurene. Figur 3.2 viser vertikalsnittene av temperaturen over Groruddalen, Maridalsvannet, Bunnefjorden og Oslofjorden. To horisontalsnitt av temperaturen 180 m over havet og 280 m over havet er fremstilt henholdsvis i figur 3.3 og i figur 3.4. Temperaturen øker med høyden med vel $1^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ og mot nordvest i området. Superponert på dette generelle bildet er det observert lokale avvik.

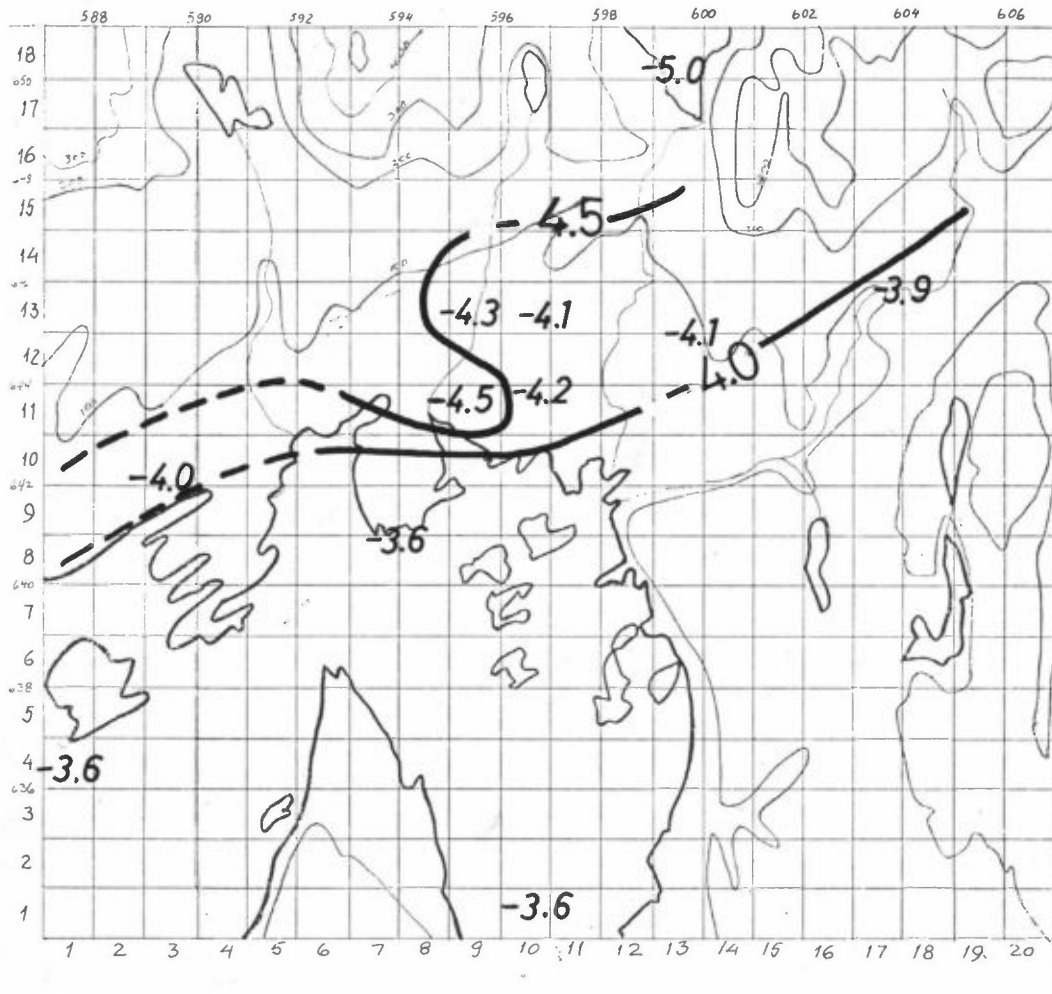


Figur 3.1: Meteorologiske observasjoner ved bakkestasjoner i Oslo-området kl 0700 den 26. februar 1975.

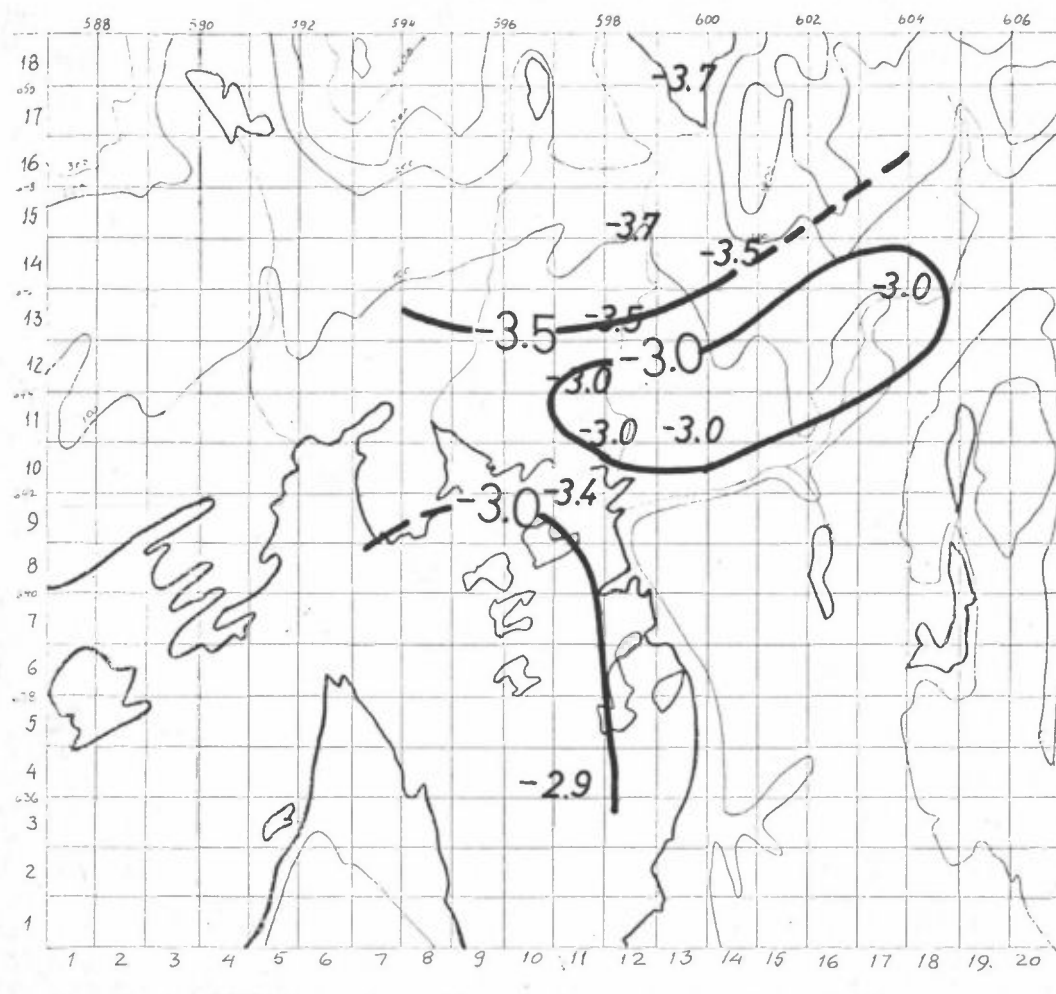
U: relativ fuktighet i prosent.
T: temperatur i °C
V: vindhastighet i m/s.
↑: betegner vindretning.



Figur 3.2: Temperaturvariasjoner med høyden over Oslofjorden den 26. februar 1975.



Figur 3.3: Horisontalt temperatursnitt 180 m over havet. Enhet: °C.



Figur 3.4: Horisontalt temperatursnitt 280 m over havet. Enhet: °C.

En indikasjon på varmeøy over byens sentrum ble observert 180 og 280 m over havet. Under hundremeters nivået ble det observert ca. 1°C varmere luft over Oslofjorden utenfor Slemmestad enn over Bunnefjorden som var islagt. I samme nivå er det ca. 1°C kaldere over Maridalsvannet enn over Groruddalen. Disse dataene kan benyttes til å estimere trykkreftene som er årsak til de lokale vindene i denne situasjonen.

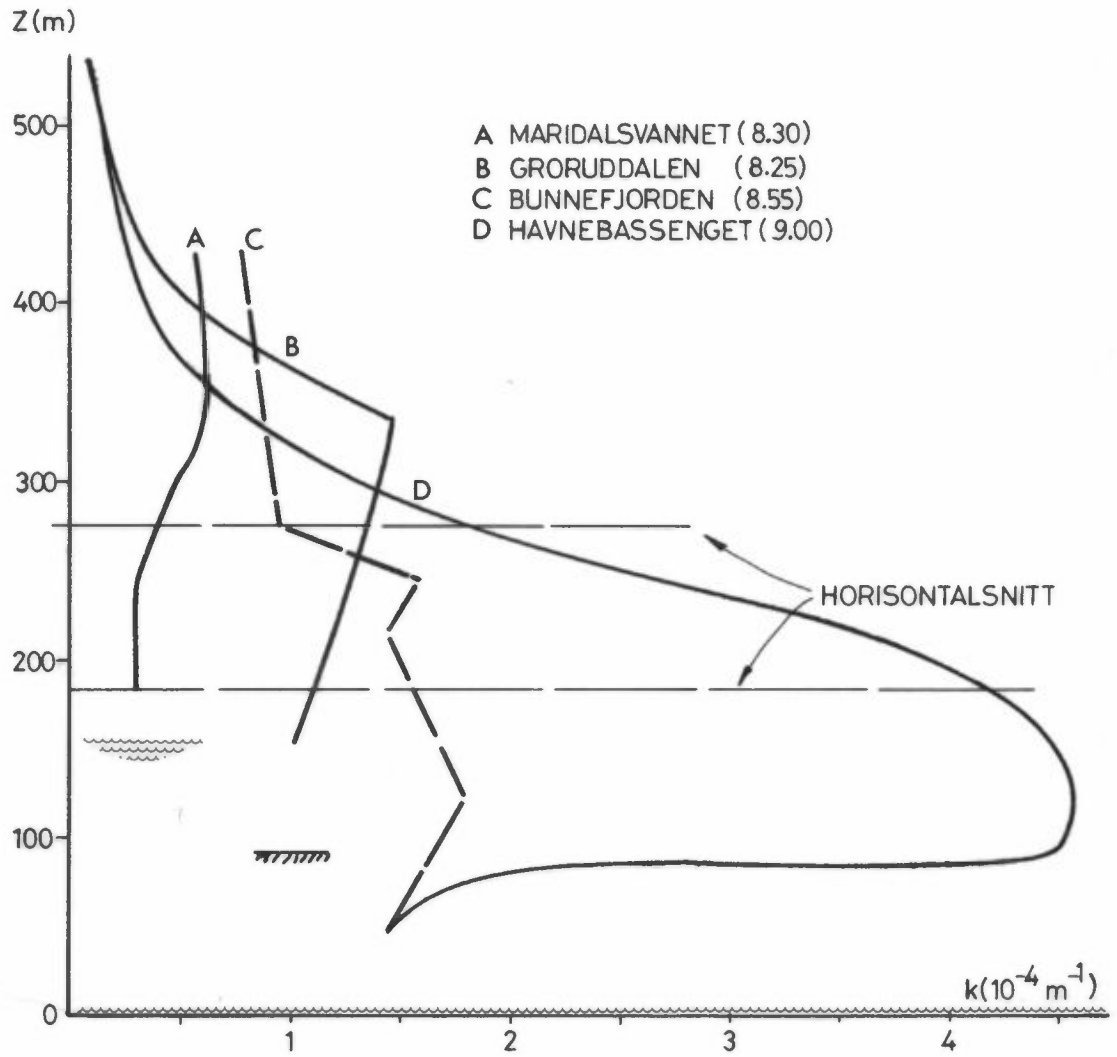
3.2. Nephelometermålinger

Figurene 3.5, 3.6 og 3.7 viser vertikalsnitt og horisontalsnitt av luftens spredningskoeffisient (k). Økende spredningskoeffisient har blant annet sammenheng med økende konsentrasjoner av forurensninger. Av vertikalsnittene vist i figur 3.5 ser en at spredningskoeffisienten økte med høyden over bakken.

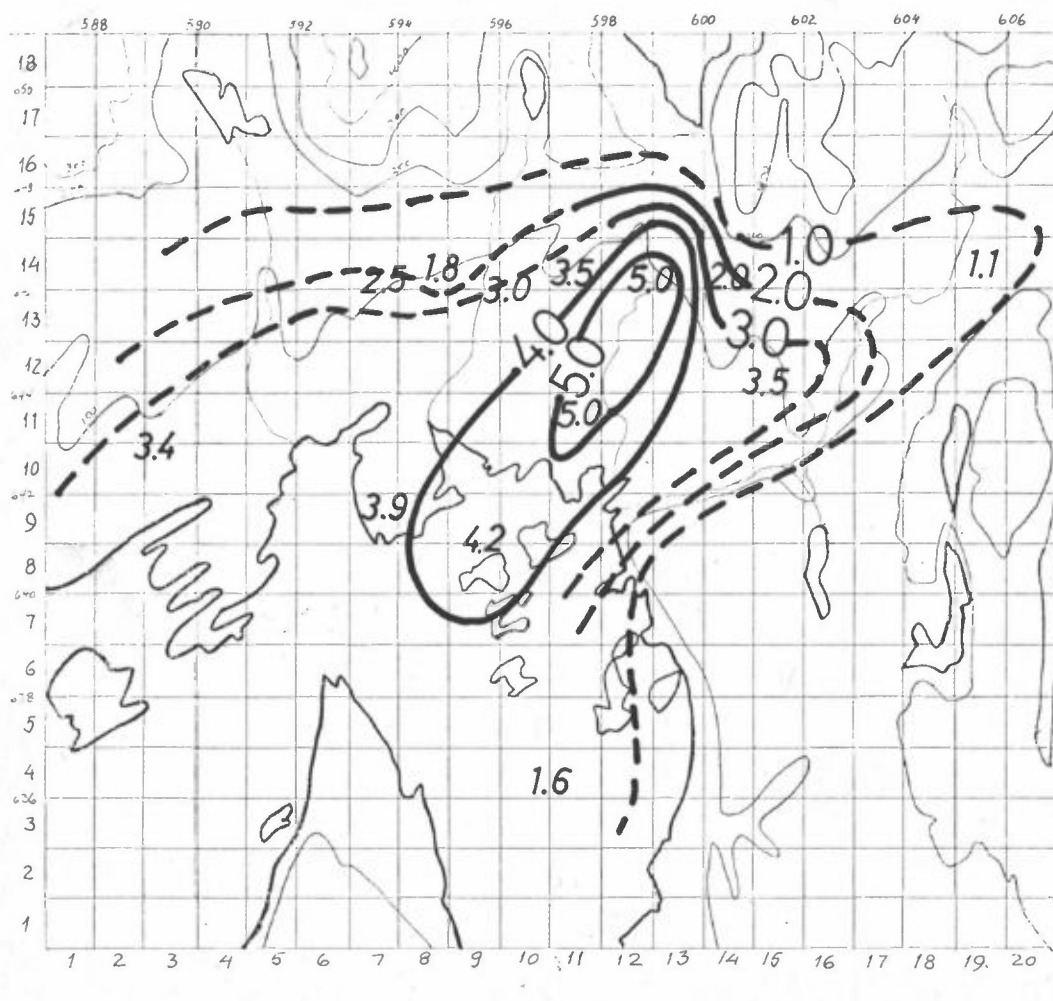
Samtlige målinger av spredningskoeffisienten over Groruddalen, Maridalsvannet og Bunnefjorden viser verdier under $1.8 \cdot 10^{-4} \text{m}^{-1}$. Over havnebassenget mellom Vippetangen og Hovedøya økte verdien raskt med høyden til over $5 \cdot 10^{-4} \text{m}^{-1}$ i høydeintervallet 90-150 m o.h.

Denne maksimumsverdien hadde sammenheng med et maksimumsområde over byens sentrum i 180 m høyde over havet som vist i figur 2.6. Horisontalsnittet i 280 m høyde (figur 3.7) viser også en betydelig svakere maksimalsone over byens største kildeområde (sentrum, Groruddalen og Nydalen).

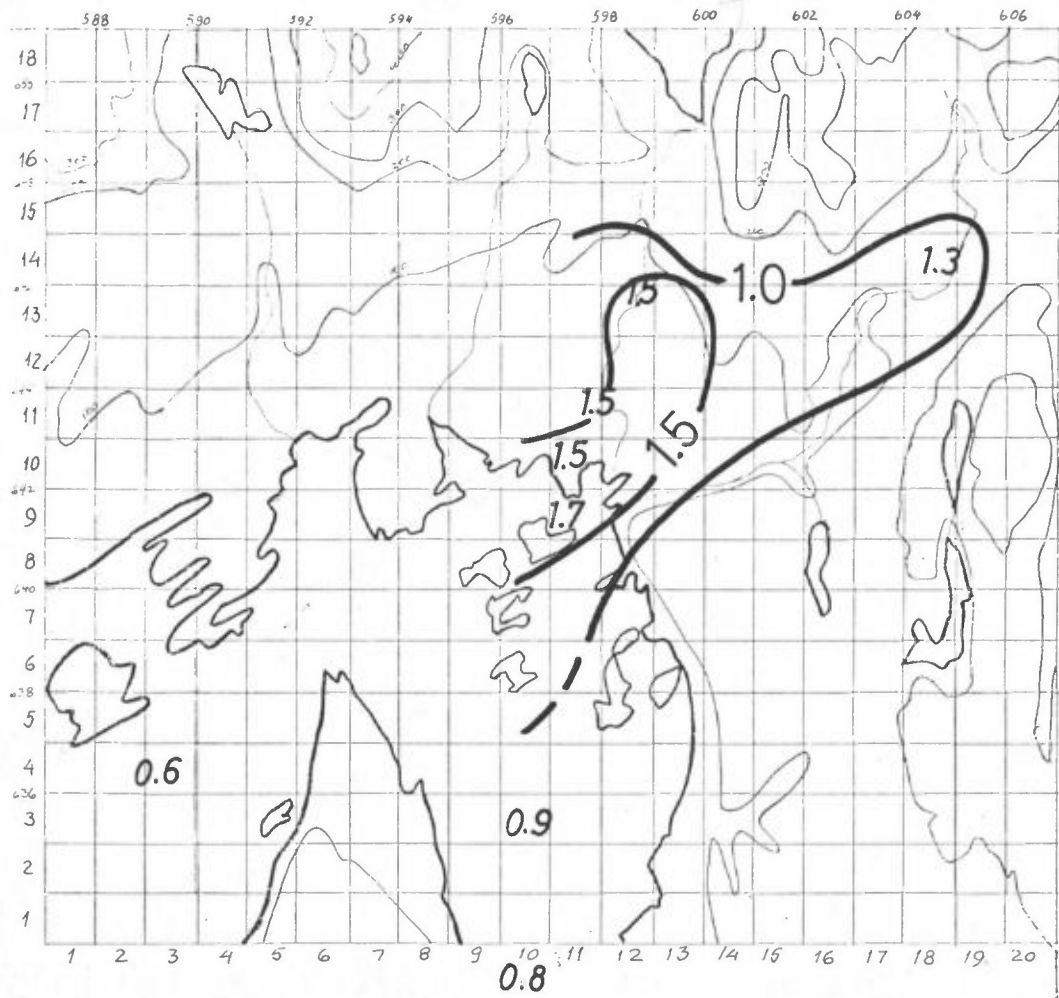
Verdiene som er vist i figurene 3.6 og 3.7 representerer romlige middelveier. Variasjoner omkring disse middelveierne er vist i figur 3.8. Figuren viser at særlig over Nydalen passerte flyet flere områder med en utstrekning på noen hundre meter hvor spredningskoeffisienten var 2.0 og 3.0 10^{-4}m^{-1} . Mellom maksimalområdene målte en verdier 1.0 - 1.5 10^{-4}m^{-1} . Kontinuerlig registrering av vindretningen ved bakken viser at en har typiske variasjoner på $\pm 20^\circ$ med ca $\frac{1}{2}$ times varighet.



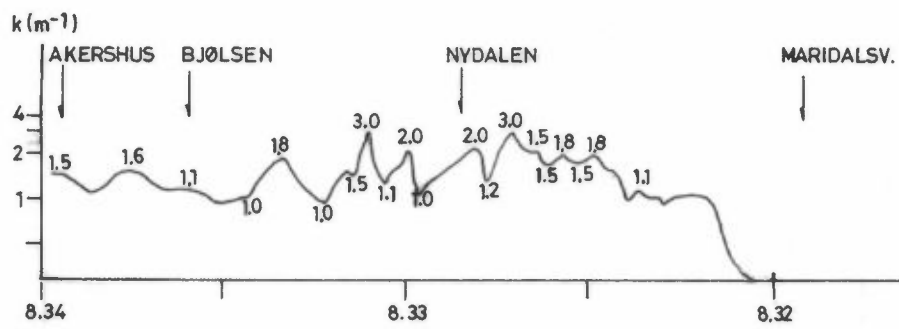
Figur 3.5: Vertikalsnitt av luftens spredningskoeffisient over Oslo den 26. februar 1975.



Figur 3.6 Horisontalsnitt av luftens spredningskoeffisient 180 m over havet.
Enhet: $10^{-4}m^{-1}$.



Figur 3.7: Horisontalsnitt av luftens spredningskoeffisient 280 m over havet.
Enhet: $10^{-4}m^{-1}$.



Figur 3.8: Kontinuerlig registrering av spredningskoeffisienten.

4 DISKUSJON

Målingene viste en fordeling av spredningskoeffisienten over Oslo-området som er i samsvar med det en kan vente ut fra regional spredning av forurensninger over området. Den høye relative fuktigheten som ble målt på Fornebu (97%), og virkningen av denne på atmosfærens spredningskoeffisient fører til at målingene ikke kan benyttes til å estimere absolute forurensningskonsentrasjoner uten å ha samtidige fuktighetsmålinger til korreksjoner.

Det ble observert en betydelig avtagning i relativ fuktighet med høyden. Ved relativ fuktighet over ca 70% vil hygroskopiske partikler kunne øke i diameter. Dette fører til at en variasjon i den relative fuktigheten virker som en interferens på spredningskoeffisienten for partikler. Denne interferens kan være positiv eller negativ, avhengig av partiklenes størrelse ved lav relativ fuktighet. Når de vokser med fuktighet, vil hygroskopiske partikler mindre enn ca 0,5 μm gi positiv interferens, mens partikler større enn ca 0,5 μm vil gi negativ interferens, fordi de, når de vokser, beveger seg ut fra den størrelsesklasse som instrumentet er mest følsom for. Da en ikke kjenner de hygroskopiske partiklers størrelsesfordeling, kan en ikke si i hvilken retning interferensen går i dette tilfelle. Høyere enn ca 100 meter i den fri atmosfære kan en anta at den relative fuktigheten er under 80%, slik at en her tilnærmet kan se bort fra interferensen fra fuktigheten.

Variasjonene i spredningskoeffisienten viste en god sammenheng med områdene med store utslipp av forurensninger og målingene kan dermed brukes til å kartlegge den regionale spredningen over Oslo-området. Målingene kan dessuten benyttes til å kartlegge den romlige strukturen av forurensningene (se figur 3.8). Sammen med kjennskap til vindfluktuasjonene kan disse dataene brukes til å estimere nøyaktigheten ved kilde-

orienterte modellberegninger på kilometerskala når disse sammenlignes med kontinuerlige målinger ved en stasjonær bakkestasjon. Figurene 3.6 - 3.8 viser forurensningsskyens fordeling over Oslo-området under typiske forurensningsepisoder. Skyen strekker seg ut fra kildeområdene og er hevet opp til 100-150 meters høyde over Oslofjorden med renere luft under. Vindmålingene og visuelle observasjoner tyder på en konvergenssone over byens sentrum som er i samsvar med observasjoner av forurensningsskyens posisjon 100-150 m over Oslofjorden. Denne høyden er sannsynligvis avhengig av den termiske stabiliteten i området.

Benytter en formelen for sammenhengen mellom partikkelmassen og spredningskoeffisienten finner en at det er fluktuasjoner i partikkelkonsentrasjonen på $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ med en romlig utstrekning på noen hundre meter. Slike fluktuasjoner kan ikke forklares med en modell med km-oppløsning. Ut fra kjennskapet til vindfluktuasjonene kan en vente at konsentrasjonsfluktuasjonen som ikke beskrives av modellen har en varighet på ca $\frac{1}{2}$ time eller mer ved en fast målestasjon.

5 REFERANSER

- 1) Gram, F
Grønskei, K E
Joranger E
Assessment of Air Quality in Oslo, Norway. Published as appendix D to the NATO/CCMS Air Pollution Document.
- 2) Grønskei, K E
A Three-Dimensional Transport Model for Air Pollution in an Urban Area with Application to SO₂ Concentration in Oslo.
NILU Oppdragsrapport 41/72.
Referanse EO000769
- 3) Buettel, R G et al
J. Sci. Instr., Vol. 26, 357 (1949)
- 4) Ahlquist, N C
Charlson, R J
Measurement of the Wavelength. Dependence of Atmospheric Extinction due to Scatter.
Atmospheric Environment 1969.
- 5) Middleton, W E
Vision Through the Atmosphere, University of Toronto Press. Toronto, Canada (1968).
- 6) Charlson, R J
Ahlquist, N C
Selvidge, H
The use of the integrating nephelometer for monitoring particulate pollution. Presented at the 10th Conference on Methods in Air Pollution and Industrial Hygiene Studies, San Fransisco, 19-21 Februar, 1969.
- 7) Charlson, R J
Ahlquist, N C
Horvath, H
On the generality of correlation of atmospheric aerosol mass concentration and light scatter. Atmos. Environ., Vol 2, 455-464, 1968.