

NILU

Oppdragsrapport nr 15/70

Referanse: 021169 EO U

Dato: Desember 1970

## LUFTFORURENSNINGER I OSLO

VINTEREN 1969/70

NORSK INSTITUTT FOR LUFTFORSKNING

Postboks 15, 2007 Kjeller

## INNHALDSFORTEGNELSE

Forord

Del 1 Luftforurensninger i Oslo vinteren 1969/70  
E Joranger

Del 2 Luftforurensninger i Oslo  
En statistisk bearbeidelse  
O F Skogvold

Del 3 SO<sub>2</sub>-emisjon i Oslo - Oljeforbruksdata  
M J Thyvold og E Joranger

Del 4 Modellberegninger for spredning av luftforurensning  
i Oslo  
K E Grønskei

Konklusjon

## FORORD

Rundt årsskiftet 1969/70 fikk NILU i oppdrag av Oljeselskapenes miljøvernutvalg å ta opp luftforurensningsforholdene i Oslo til fornyet undersøkelse. Formålet med undersøkelsen skulle først og fremst være å finne ut om den reduksjonen av forbruket av tung svovelholdig fyringsolje som hadde funnet sted i Oslo hadde tjent til å bedre luftforurensningsforholdene, når en sammenlignet med de tidligere målinger utført av dr Lindberg i årene 1959/65. Dernest skulle undersøkelsen tjene til å klarlegge mulighetene for utvikling av en atmosfærisk spredningsmodell som kunne gi sammenhengen mellom kilder i området, meteorologiske forhold og målte konsentrasjoner av luftforurensninger. Hovedformålet med modellen er å bli istand til å beregne de forbedringer i forholdet som kan oppnåes ved begrensning av utslippene, samtidig som modellen vil være et nyttig verktøy i den fremtidige områdeplanlegging. Måling av luftforurensninger ble foretatt de første månedene utover i 1970, men for å få noe bedre statistikk ble vindmålingene fortsatt over sommeren.

Nærværende rapport gir en oversikt over bearbeidelsene av dataene fra siste vinter. Rapporten er midlertidig, og undersøkelsen vil etter avtale med Oljeselskapenes miljøvernutvalg fortsette ett år til, da som en vitenskapelig undersøkelse økonomisk støttet av OMU.

Av praktiske og redaksjonelle grunner er denne foreløpige rapport delt opp i 4 deler.

Forsker E Joranger som har vært prosjektets daglige leder, forteller i sin rapport om de målemetoder som har vært benyttet, bearbeidet innsamlede data og sammenlignet disse med tidligere data målt av dr Lindberg.

Forsker O F Skogvold har ved regresjonsanalyse av data fra årene 1959/63 undersøkt sammenhengen mellom  $SO_2$ -konsentrasjonene forskjellige steder i Oslo, og sammenhengen mellom konsentrasjonene og de meteorologiske forhold.

Metoden har vist seg meget nyttig til kontroll av foruren-  
ningsdata. Resultatene er nyttet til en sammenligning av  
forureningsnivåene vinteren 1969/70 med vintrene 1959/63.

Konsulent M J Thyvold og E. Joranger gir en oversikt over ut-  
viklingen av oljeforbruket, forbruket av faste brennstoffer og  
utslippet av svoveldioksyd. Videre gis en oversikt over det arbeid  
som er utført sammen med oljeselskapene for å få istand en  
løpende registrering av oljeforbruket og svoveldioksyd-utslippene  
i Oslo.

Forsker K E Grønskei gir en beskrivelse av arbeidet hittil med  
utvikling av en modell for beregning av hvordan forurenningene  
i Oslo-området spres under forskjellige værforhold. En  
fremstilling av det meteorologiske og matematiske grunnlag for  
modellen og de første beregningsresultater presenteres.

Til slutt gis en felles konklusjon for alle delrapportene.

NILU har til denne første del av undersøkelsen mottatt  
kr 200 000,- fra Oljeselskapenes miljøvernvalg, og ytterligere  
kr 200 000,- er stillet til disposisjon for det fortsatte arbeid.

I forbindelse med undersøkelsen har NILU mottatt hjelp fra en  
rekke institusjoner. Fra Forsvarets forskningsinstitutt har  
en fått låne meteorologisk måleutstyr. Dr Lindberg har vennligst  
stillet forureningsdata fra Oslo årene 1959/63 til disposisjon  
for våre undersøkelser. Oslo Helseråd har stillet sine måledata  
til disposisjon, og fra Meteorologisk institutt har en fått  
meteorologisk statistikk og spesifikke data.

NILU's instrumentlaboratorium ved forsker T C Berg har montert  
og tilsett de meteorologiske instrumenter, NILU's kjemiske  
laboratorium ved forsker Thrane og avdøde forsker L Lund har  
hatt ansvaret for prøvetaking og kjemiske analyser ved NILU.  
Forøvrig har en rekke av NILU's medarbeidere deltatt i kortere  
perioder. Vi vil i denne forbindelse spesielt takke forsker  
J. Nordø for verdifulle diskusjoner.

Figurene er tegnet av forskningsassistent Per Knoph.



B Ottar

Instituttssjef

Del 1

LUFTFORURENSNINGER I OSLO VINTEREN 1969/70

E Joranger

INNHALDSFORTEGNELSE

Side

|       |  |      |
|-------|--|------|
| 1     | <u>INNLEDNING</u> .....  | " 1  |
| 2     | <u>TOPOGRAFI OG KLIMA I OSLO-OMRÅDET</u> .....   | " 2  |
| 2.1   | Topografi .....  | " 2  |
| 2.2   | Klima og lokal-meteorologi .....   | " 2  |
| 3     | <u>EKSPERIMENTELT OPPLEGG</u> .....  | " 8  |
| 3.1   | SO <sub>2</sub> -målinger og måling av støv. Døgnverdier .....   | " 8  |
| 3.1.1 | Plassering og drift av målestasjonene .....  | " 8  |
| 3.1.2 | Prøvetakings- og analysemetoder for bestemmelse av SO <sub>2</sub> .....                                     | " 9  |
| 3.1.3 | Bestemmelse av støv på filter .....  | " 9  |
| 3.2   | Halvtimes målinger av SO <sub>2</sub> i luften - Imcometer .....   | " 10 |
| 3.3   | Måling av vind .....   | " 10 |
| 3.4   | Måling av luftens stabilitet .....   | " 11 |
| 4     | <u>FORURENSNINGENE I OSLO VINTEREN 1969/70</u> .....   | " 12 |
| 4.1   | Normer .....   | " 12 |
| 4.2   | Oversikt over SO <sub>2</sub> - og støvverdier i Oslo vinterhalvåret 1969/70 .....                           | " 22 |
| 4.3   | Månedsmidler .....   | " 22 |
| 4.4   | Døgnmidler .....   | " 24 |
| 4.5   | Halvtimesmidler av SO <sub>2</sub> på St Olavsplass .....  | " 27 |
| 5     | <u>SAMMENLIKNING AV FORURENSNINGENE VINTEREN 1969/70 MED TIDLIGERE</u> .....                                 | " 29 |
|       | <u>ÅRS FORURENSNINGER</u>  |      |
| 5.1   | Inversjonshyppighet og temperatur .....  | " 29 |
| 5.2   | En sammenligning av SO <sub>2</sub> -målingene og støvmålingene i perioden 1959-64 og vinteren 1969/70 ..... | " 32 |
| 5.2.1 | St Olavsplass .....  | " 32 |
| 5.2.2 | De øvrige stasjonene .....   | " 35 |
| 5.3   | En sammenligning av månedsmidlene i fyringssesongene 1968/69 og 1969/70 .....                                | " 38 |
| 6     | <u>PERIODER MED HØYEST FORURENSNING</u> .....  | " 40 |
| 6.1   | Oversikt .....   | " 40 |
| 6.2   | Beskrivelse av den meteorologiske forhold 27 februar 1970 .....  | " 42 |
| 7     | <u>AVSLUTTENDE KOMMENTARER</u> .....   | " 46 |

## LUFTFORURENSNINGER I OSLO VINTEREN 1969/70

### 1 INNLEDNING

Norsk Institutt for Luftforskning (NILU) fikk i slutten av januar 1970 et oppdrag av Oljeselskapenes miljøvernvalg som gikk ut på å undersøke luftforurensningen i Oslo vinteren 1969/70, og innlede studier av muligheten for utarbeidelse av modeller for spredning av svoveldioksyd i Oslo-området.

Undersøkelser av luftforurensningssituasjonen i Oslo ble startet i 1959 av dr Lindberg ved Hygienisk Institutt, Universitetet i Oslo. Resultatene av hans målinger i perioden 1959/65 (1) er lagt til grunn for vurdering av de endringer som har funnet sted frem til 1970.

Undersøkelsen vinteren 1969/70 er vesentlig basert på stasjoner for måling av  $SO_2$ - og støv-døgnmiddelverdier, drevet av oljeselskapene. I tillegg ble det satt opp noen ekstra stasjoner med utstyr lånt fra oljeselskapene. Driften av de fleste  $SO_2$ -stasjonene og analyser av prøvene ble gradvis overtatt av NILU i slutten av fyringssesongen. I tillegg er nyttet alle data fra Oslo Helseråds stasjoner på St Olavs plass og i Groruddalen.

En fullt ut tilfredsstillende bearbeidelse har ikke vært mulig på grunn av mangler ved  $SO_2$ -dataene i fyringssesongen 1969/70. Det har tildels vært hyppige avbrudd og feil i målingene. Dessuten foreligger kun korte måleserier for flere av stasjonene. Endelig har vi en usikkerhetsfaktor på grunn av at det ikke er nyttet samme metode på alle stasjonene for bestemmelse av  $SO_2$ -innholdet i luften.

Særlig med henblikk på modellstudiet ble det ved hjelp av utstyr utlånt fra Forsvarets forskningsinstitutt, iverksatt vindmålinger på 5 utvalgte steder i Oslo, og temperaturregistreringer i forskjellige høyder. Det ble gjennomført noen få spesialundersøkelser av situasjoner med høy forurensning i slutten av fyringssesongen. Den endelige bearbeidelse av de meteorologiske data vil bli utført etter målingenes avslutning i april 1971.

De høyeste  $SO_2$ -forurensninger i Oslo oppstår om vinteren under slike inversjonsperioder. En skulle således kunne vente en nær sammenheng mellom det midlere forurensningsnivå og inversjonshyppigheten. Dette er diskutert i tilknytning til problemstillingen i kap 5.

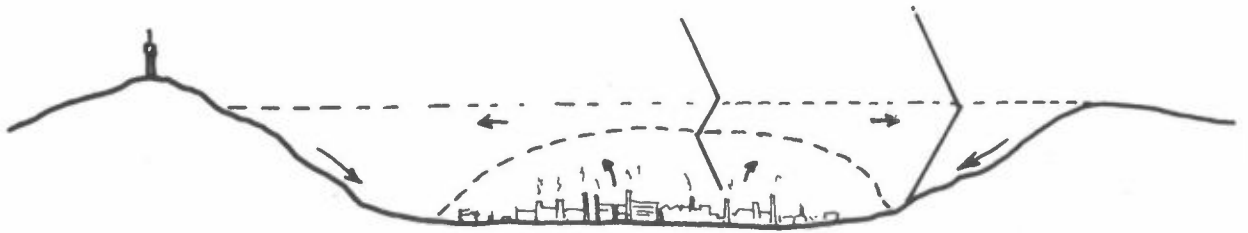
Statistikken viser at for alle vinterdager i 5-års perioden 1962/63 - 1966/67 var det gjennomgående temperaturinversjon (temperaturen kl 0700 lavere på Blindern enn på Tryvann) hver 3. dag. Det var inversjoner om morgenen opp til 10 dager på rad, og ca 1/4 av inversjonsdage ne hørte til inversjonsperioder som varte lengre enn 6 døgn. Inversjonsdage ne fordelte seg ellers omtrent likt med 1/4 av inversjonsdage ne på hver av periodelengdene 1 døgn, 2-3 døgn og 4-5 døgn. Som en kan vente, er lange inversjonsperioder hyppigst midtvinters (desember, januar, februar).

Der hvor inversjon dannes, er vinden svært svak eller det er stille. Vindstatistikken for Blindern meteorologiske stasjon viser at for alle vinterdager i en 5-års periode med temperaturinversjon (temperaturen kl 0700 lavere på Blindern enn på Tryvann) var det vindstille (mindre enn ca 1 m/sek) i 53% av tiden, og vind svakere enn 3 m/sek resten av tiden. I den tiden det var målbar vind (47%) blåste det for det meste fra nord og nordøst (36% av tiden).

De alvorlige forurensninger i Oslo oppstår om vinteren under slike like inversjonsperioder. En skulle således kunne vente en nær sammenheng mellom det midlere forurensningsnivå og inversjonshyppigheten. Dette er diskutert i tilknytning til problemstillingen i kap 5.

I Oslo danner det seg i inversjonsperioder en stor lokal kaldluftsjø ved at stabil luft flyter ned langs alle dalene og fyller opp Oslo-bassenget. Kaldluftsjøen kan sees fordi røyken er begrenset til denne. Om natten bidrar forurensningene til å forsterke det stabile laget i toppen av kaldluftsjøen, fordi den forurensete luften på toppen av kaldluftsjøen taper mer varme mot himmelrommet enn den klare luften ovenfor ved langbølget varmestraling.





*Luftlomme over by under inversjonsforhold*

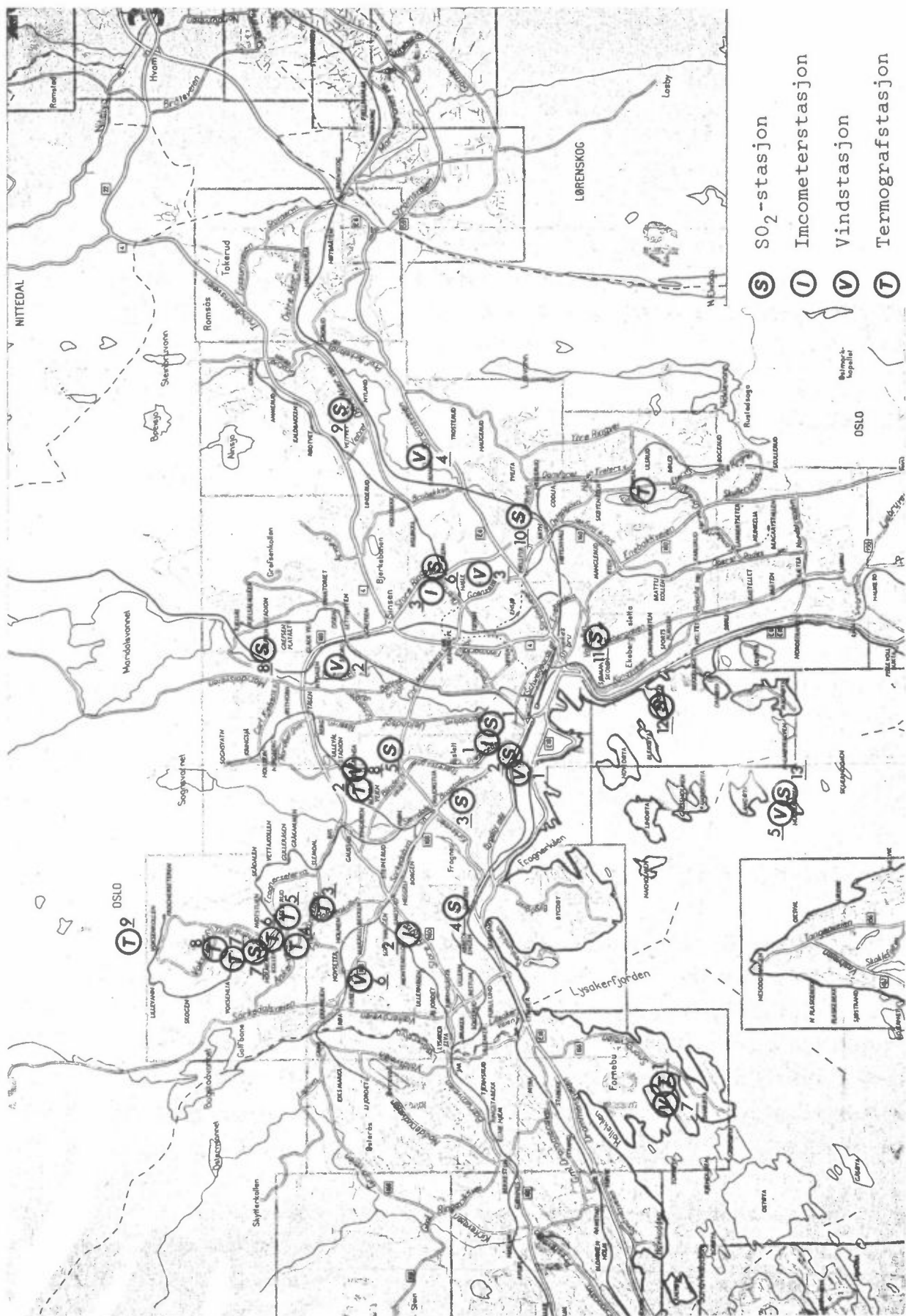
Figur 2.1

Inversjonen på toppen (sperresjiktet) blir derved forsterket. Høyden av kaldluftsjøen er vanligvis 150-250 meter. Byrøyken sprer seg forøvrig lett innenfor kaldluftsjøen, især i bykjernen, på grunn av alle varmekildene (husoppvarming, biler etc). Luften nærmest bakken instabiliseres, og den stiger opp en del samtidig som kald luft kommer inn fra siden (se figur 2.1).

Et spesielt forhold for vinteren 1969/70 som også kan ha betydning i denne sammenheng er at hele Oslofjorden var islagt fra februar og ut vinteren. Normalt er store deler av indre Oslofjord åpen om vinteren. Dette medfører at luften umiddelbart over vannflaten er varm (minimum  $-2^{\circ}\text{C}$ ) i forhold til kaldluften som produseres langs bakken i byområdet, (ned til  $-20^{\circ}\text{C}$  under inversjonsforhold). Dette fører til at kaldluften siger ut mot fjorden hvor den blir sterkt oppvarmet over vannflaten og stiger opp.

Når Oslofjorden er islagt, kan det dannes inversjon langs hele Oslofjorden med laveste temperatur langs isflaten som isolerer godt mot det varme fjordvannet. På grunn av husoppvarming, biltrafikk etc, er luften varmere inne i bykjernen enn over fjordisen. Luften i bykjernen stiger opp og erstattes av luft som kommer inn fra alle kanter. Dette kan føre til at luft kan sige fra fjorden inn mot bykjernen. En slik vind ble også observert i det laveste sjikt opp til 10 meter over bakken siste vinter (februar og mars) ved detaljkartlegging av vindforholdene i Oslo under nattlige inversjoner.

En antar derfor at sirkulasjonsforholdene i Oslo-gryta er forskjellige når fjorden er islagt og når fjorden har åpent vann. At hele Oslofjorden var islagt er stor del av vinteren 1969/70, medfører derfor at denne vinteren alene representerer et noe usikkert grunnlag for vurdering av forurensningsforholdenes utvikling i Oslo siden 1958.



Figur 3.1 Målestasjoner i Oslo vinteren 1969/70

Kartet er med tillatelse fra forlaget hentet fra "Kartbok fra Oslo og omland"

### 3 EKSPERIMENTELT OPPLEGG

Plasseringen av de forskjellige typer målestasjoner fremgår av figur 3.1 (se figurteksten), med separat nummerering for hver stasjonstype. Nummereringen finner en i kapitlene 3.1.1, 3.2, 3.3 og 3.4.

#### 3.1 SO<sub>2</sub>-målinger og måling av støv. Døgnverdier

Stasjonene for måling av døgnlige middelveier av SO<sub>2</sub> og støv har hatt følgende plasseringer vinteren 1969/70:

|                 |               |
|-----------------|---------------|
| 1 St Olavsplass | 8 Grefsen     |
| 2 Haakon VIIgt  | 9 Nyland leir |
| 3 Briskeby      | 10 Bryn skole |
| 4 Skøyen        | 11 Ekeberg    |
| 5 Ullevål       | 12 Sjursøya   |
| 6 Økern         | 13 Husbergøya |
| 7 Holmenkollen  |               |

##### 3.1.1 Plassering og drift av målestasjonene

Det var av kontinuitetshensyn hensiktsmessig å la de fleste stasjoner (Briskeby, Skøyen, Økern, Grefsen, Ekeberg, Sjursøya, Haakon VIIgt, Ullevål sykehus), som ble overtatt fra oljeselskapene, fortsette uendret ut fyringssesongen 1969/70. Stasjonen på Ullevål sykehus ble dog nedlagt i februar 1970 på grunn av instrumentfeil. Nye stasjoner ble opprettet på Husbergøya og Holmenkollen.

For flere av stasjonene foreligger kun korte måleserier. Det har dessuten vært hyppige avbrudd. Oslo Helseråds stasjoner på St Olavsplass, Bryn og Nyland har gått uten vesentlige avbrudd.

Alle stasjoner har hatt automatisk skift av flasker (flerflaske-apparater), unntatt Bryn og Nyland, Sjursøya og Økern (til 17/2). De siste stasjonene opererer med 2 dagers midler omkring helgene. Tiden for skift av flaskene var til å begynne med litt forskjellig. Fra februar ble det på alle stasjonene innført samme skiftetid som på Oslo Helseråds stasjoner (kl 14-15).

Oljeselskapenes stasjoner var inntil februar 1970 ikke drevet med henblikk på systematisk innsamling av støvdata (sot). Dette ble endret ved NILU's overtakelse av stasjonene. Filtrene for en del av stasjonene var dog oppbevart, og er blitt analysert. Støvmålinger er foretatt systematisk på alle stasjonene til Oslo Helseråd.

### 3.1.2 Prøvetakings- og analysemetoder for bestemmelse av SO<sub>2</sub>

SO<sub>2</sub>-prøvene for siste fyringssesong fra Oslo er blitt analysert ved forskjellige laboratorier. Det er også brukt forskjellige metoder for prøvetaking og analyse (sml del 2, side 19).

Norsk Dampkjelforening og NILU (etter 15 mars) har analysert stasjonene Økern, Skøyen, Grefsen, Briskeby, Ullevål sykehus, Haakon VIIgt, Ekeberg og Husbergøya. Prøvene ble analysert ved Thorinmetoden (7).

Oslo Helseråd (St Olavsplass, Nyland og Bryn) og BP (Sjursøya), har i likhet med dr Lindberg fulgt de retningslinjer som er utviklet ved Warren Spring Laboratories i England. Metoden er nærmere beskrevet i "Methods of measuring air pollution", OECD 1964 (5).

Alle stasjonene har brukt filter kontinuerlig, unntatt BP, Sjursøya. Dette kan ha resultert i høyere målte SO<sub>2</sub>-verdier på dette målepunkt på grunn av at svovelsyre-aerosoler også kommer med i vaskeflasken.

### 3.1.3 Bestemmelse av støv på filter

Alle stasjonene har brukt OECD's standardmetode fra 1964 for måling av støv (5). Det er brukt Watman filter nr 1.

Refleksjonen på filteret blir målt,  $\mu\text{g st\ddot{o}v/cm}^2$  avleses på standardkurve og omregnes deretter til  $\mu\text{g st\ddot{o}v/m}^3$ . Det er viktig å være oppmerksom på at metoden forutsetter ensartet partikkelsammensetning.

### 3.2 Halvtimesmålinger av $\text{SO}_2$ i luften - Imcometer

Ved Oslo Helseråds stasjon på St Olavsplass (I 1) ble det hele vinteren foretatt kontinuerlig registrering av  $\text{SO}_2$  halvtimesverdier. NILU hadde to slike stasjoner, på Smestad (I 2) og Økern (I 3), i drift fra 15 mars 1970.

3. Måleinstrumentet er et automatisk gassanalyseinstrument, type Imcometer, fabrikkert av Bran & Lübbe. Imcometeret er et kolorimetrisk instrument som arbeider med pararosanilin som fargereagens etter West-Geake metoden, og gir en integrert verdi for  $\text{SO}_2$ -konsentrasjonen hver halvtime.

Alle instrumentene er kalibrert ved hjelp av gassblandingsapparat fra H Wøsthoff O.H.G., med kjente og kontrollerte  $\text{SO}_2$ -mengder.

### 3.3 Måling av vind

Vindmålingsstasjonene ble opprettet med henblikk på studiet av spredningsforholdene i et område begrenset av høydene omkring Oslo og Oslofjorden til Nesoddlandet. I grove trekk har de topografiske variasjoner en utstrekning på 5-10 km. Det er tatt sikte på å beskrive vindvariasjoner på samme skala. Stasjonsplasseringen er som følger (se figur 3.1):

- 1 Sentrum (Norske Folk i Vika)
- 2 Nydalen
- 3 Valle Hovin
- 4 Alfaset, Groruddalen
- 5 Husbergøya
- 6 Huseby
- 7 Fornebu (Meteorologisk institutt)
- 8 Blindern (Meteorologisk institutt)

Stasjonene (unntatt 7 og 8) ble startet i løpet av februar måned. Unntatt Alfaset har alle stasjonene vært i drift også i sommerhalvåret 1970. Alfaset ble avviklet fordi målingene gikk godt i takt med vindmålingene på Valle Hovin. Det ble brukt mekaniske vindskrivere av typen Lambrecht Woelfle. Utstyret var utlånt fra Forsvarets forskningsinstitutt, Kjeller. Det viste seg at utstyret på Alfaset og i Sentrum var slitt. Dette medførte avbrudd i målingene på disse steder.

Meteorologisk institutts vindmålere er av typen Fuess 90 Z, som er mindre følsom for svak vind enn de øvrige vindmålere. Fuess' starthastighet er ca 1 m/sek, Lambrecht, type Woelfle ca 0.4 - 0.5 m/sek.

#### 3.4 Måling av luftens stabilitet

Temperaturregistreringer ble iverksatt med henblikk på å få et mål for luftens stabilitet i Oslo. I tillegg til Meteorologisk institutt's temperaturregistreringer på Fornebu, Blindern og Tryvann, ble ytterligere 6 termografer plassert opp etter Holmenkollåsen, som følger:

| Stasjon                     | Høyde over havet (meter) |
|-----------------------------|--------------------------|
| 1 Fornebu                   | 10                       |
| 2 Blindern                  | 94                       |
| 3 Gressbanen                | 130                      |
| 4 Brannstasjon Holmenkollen | 195                      |
| 5 Besserud                  | 235                      |
| 6 Holmenkollen              | 295                      |
| 7 Voksenlia                 | 375                      |
| 8 Voksenkollveien           | 415                      |
| 9 Tryvann                   | 512                      |

Stasjonene ble satt i drift i februar 1970, og registreringene ble stoppet 1 april samme år. Det ble brukt termografer av typen Fuess med ukesomløp. Målenøyaktigheten er ca 0.5° C.

#### 4 FORURENSNINGENE I OSLO VINTEREN 1969/70

##### 4.1 Normer

Det er ikke fastsatt bestemte retningslinjer (normer) for luftens innhold av SO<sub>2</sub> og støv i Norge. Det innsamlede materiale av svoveldioksyd-målinger er derfor vurdert på grunnlag av svenske retningslinjer (8). Disse tar sikte på tett bebyggete områder hvor andre forurensninger opptrer samtidig:

|                       |                        |
|-----------------------|------------------------|
| Månedsmiddelverdi     | 0.14 mg/m <sup>3</sup> |
| Døgnmiddelverdi       | 0.28 mg/m <sup>3</sup> |
| Halvtimes middelverdi | 0.72 mg/m <sup>3</sup> |

Månedsmiddelverdien bør ikke overskrides, døgnmiddelverdien kan overskrides en gang pr måned, og halvtimesverdien høyst 1% av tiden. Disse normer har ofte vært lagt til grunn ved bedømmelse av forurensningsforhold også i Norge.

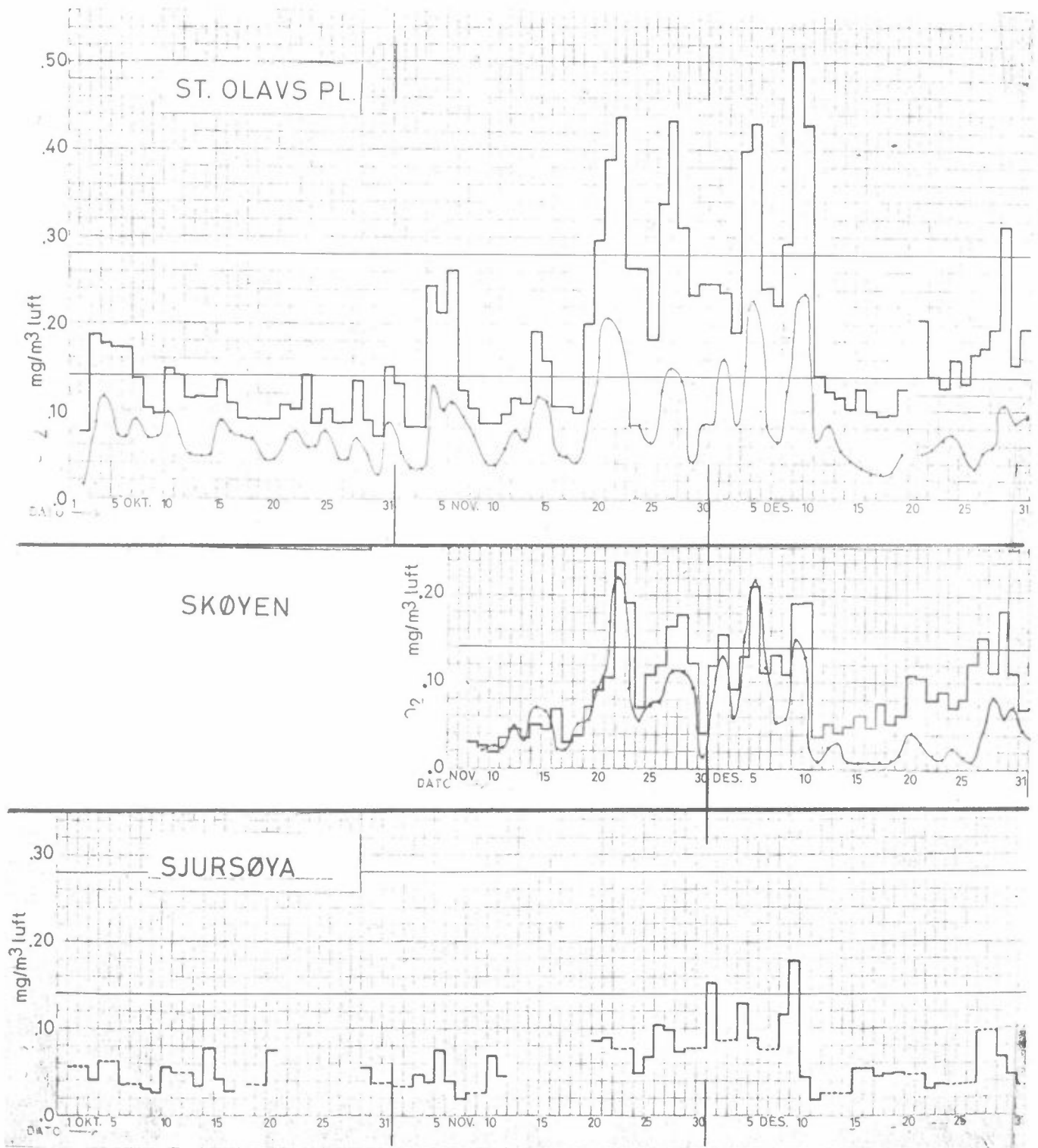
Etter erfaringsdata fra USA for svevestøv (9) klassifiseres døgnverdier på over 200 µg/m<sup>3</sup> støv (ikke giftig) som kraftig forurensning. Forurensningen er akseptabel ved verdier mellom 75 og 100 µg/m<sup>3</sup>.

Stern (2) setter som ønskemål at støvforurensningene som årsmiddel ikke bør overskride 75 µg/m<sup>3</sup>, og at døgnmidlene bare skal kunne overskride 150 µg/m<sup>3</sup> 1% av tiden. De fleste mener at 200 µg/m<sup>3</sup> som døgnmiddel ikke bør overskrides.

Et svensk forslag (6, side 57) går ut på at månedsmiddelverdien ikke skal overskride 100 µg/m<sup>3</sup> støv samtidig som døgnverdier over 200 µg/m<sup>3</sup> ikke skal tillates mer enn en gang pr måned og halvtimesverdier over 500 µg/m<sup>3</sup> ikke skal overskrides mer enn 1% av tiden.



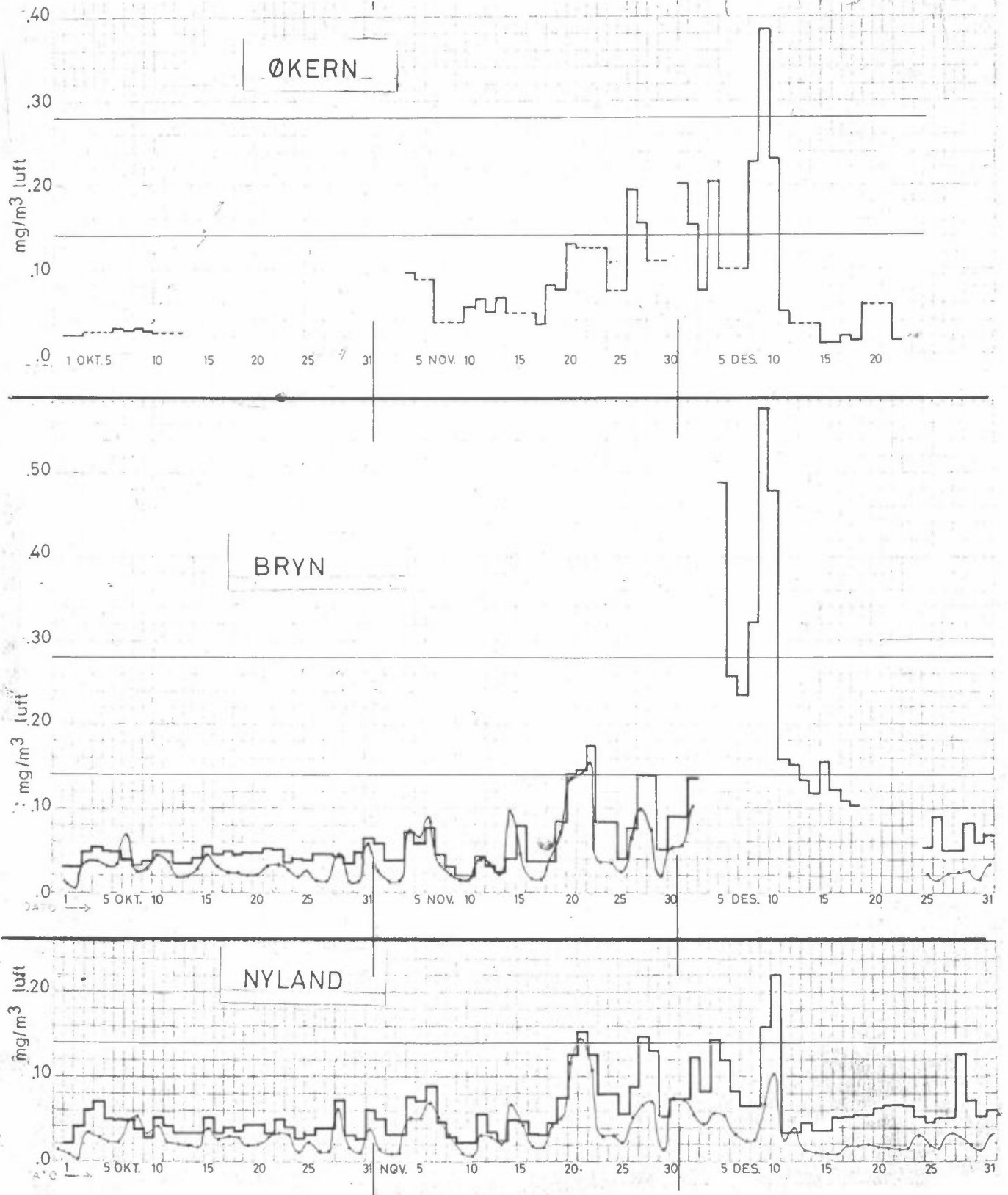
1969



Figur 4.1

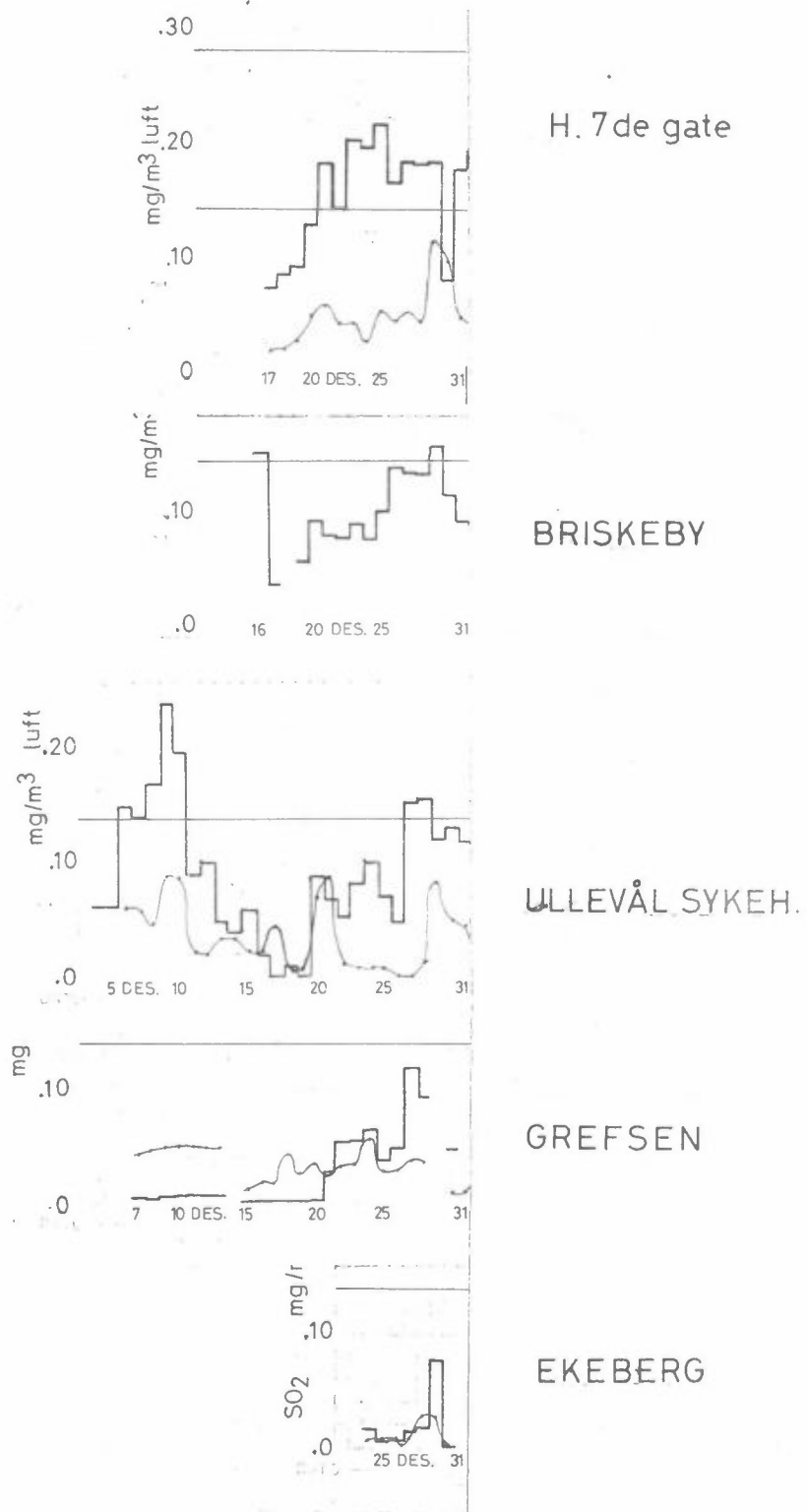
Figurene 4.1 - 4.3: Svoveldioksyd og støv mg/m<sup>3</sup> luft.  
Oktober, november, desember.  
Stolpe: SO<sub>2</sub>      Kurve: Støv

1969

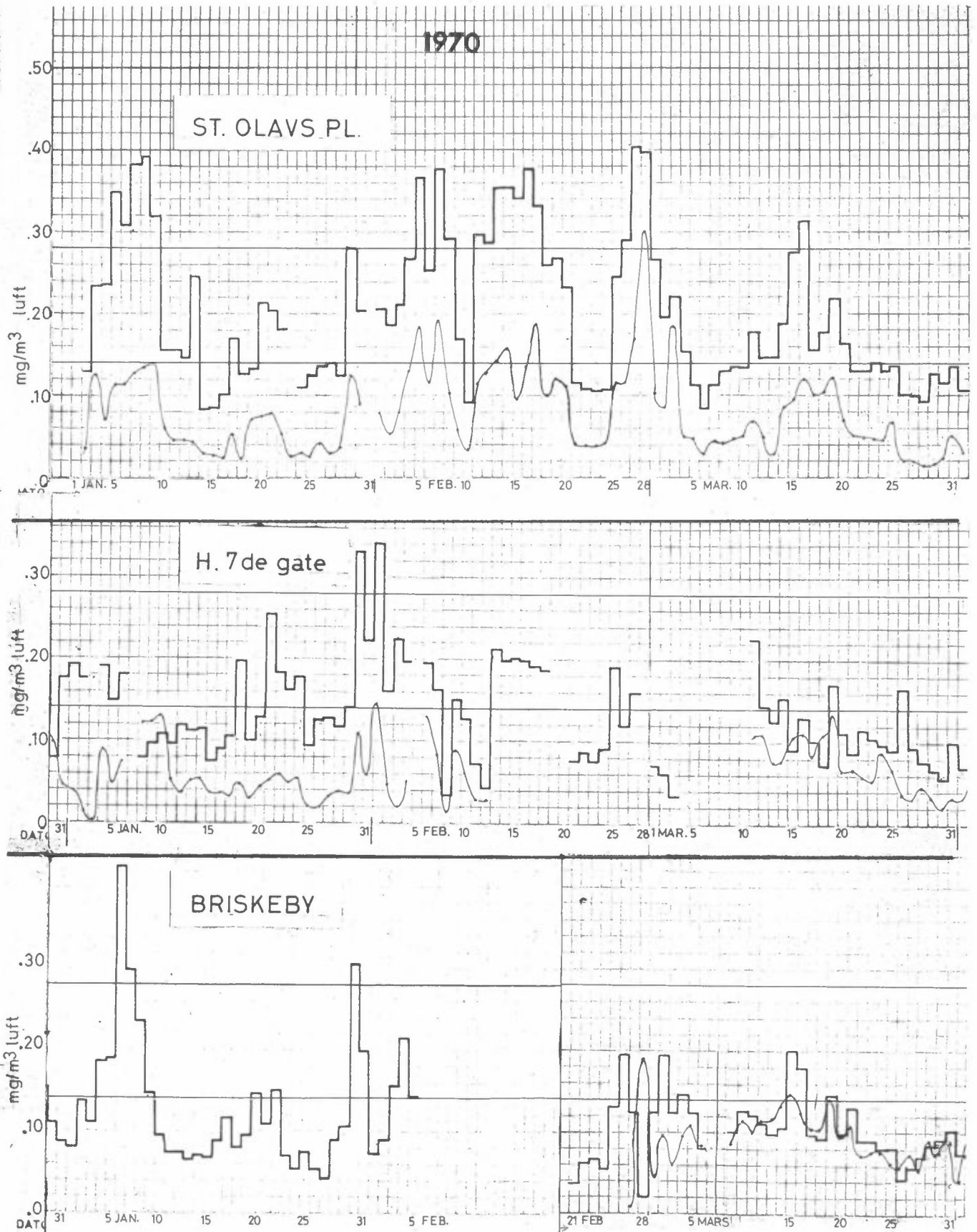


Figur 4.2

1969



Figur 4.3

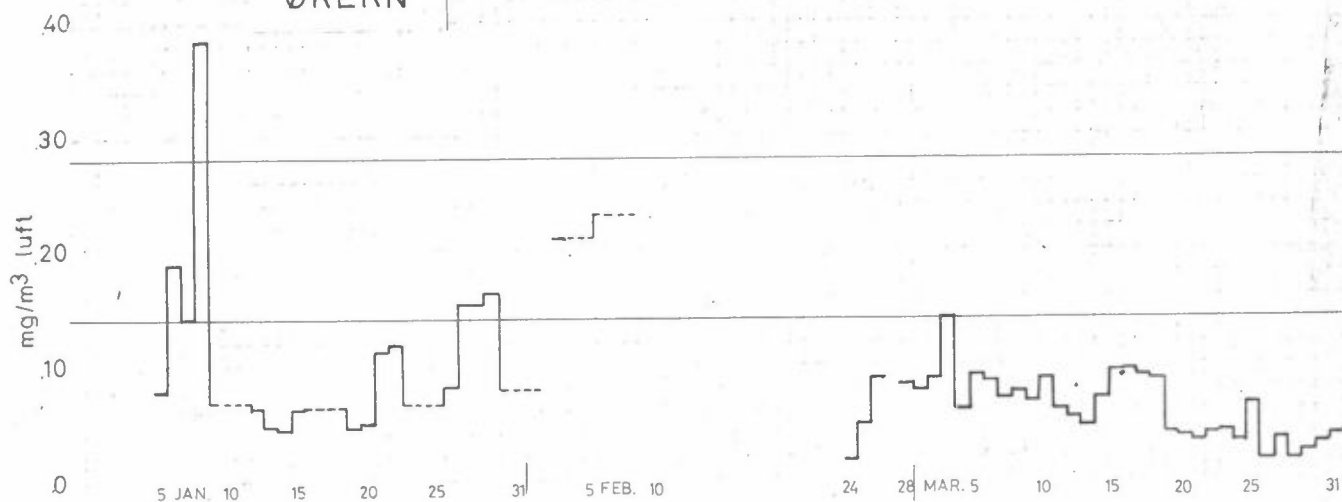


Figur 4.4

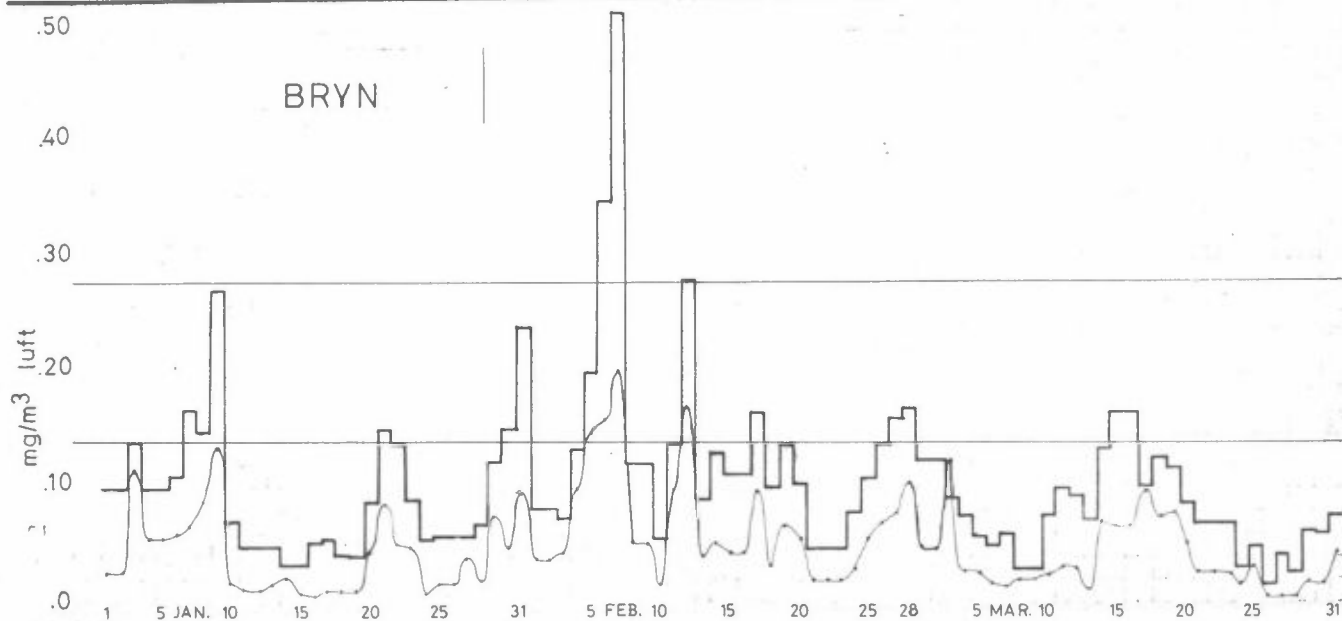
Figurene 4.4 - 4.7: Svoveldioksyd og støv, mg/m<sup>3</sup> luft  
Januar, februar, mars. Stolpe: SO<sub>2</sub> Kurve: Støv

1970

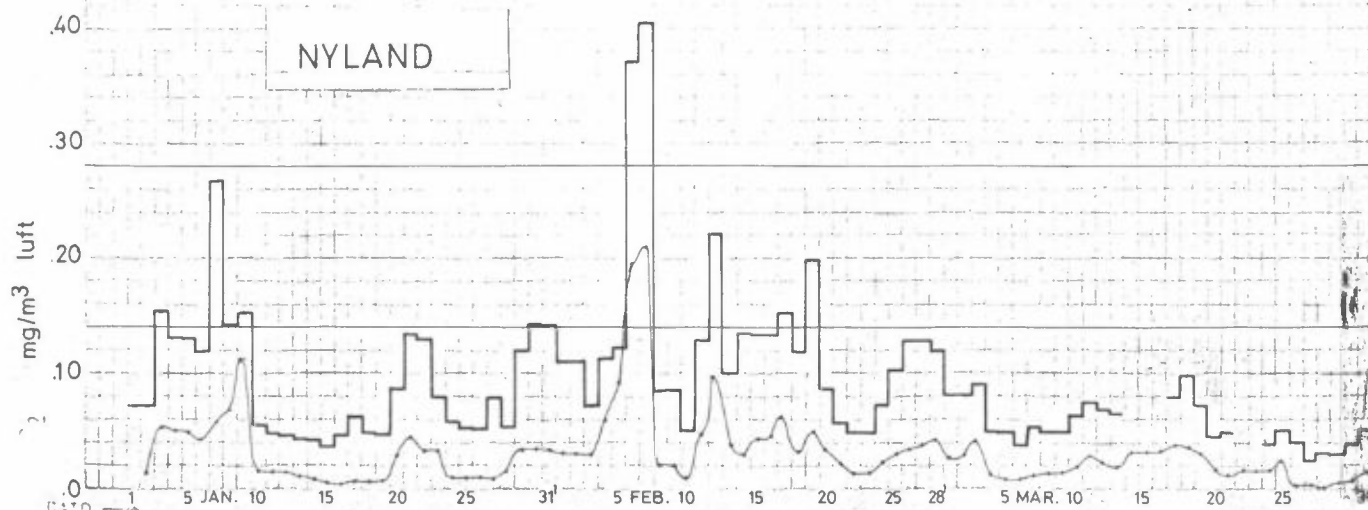
ØKERN



BRYN

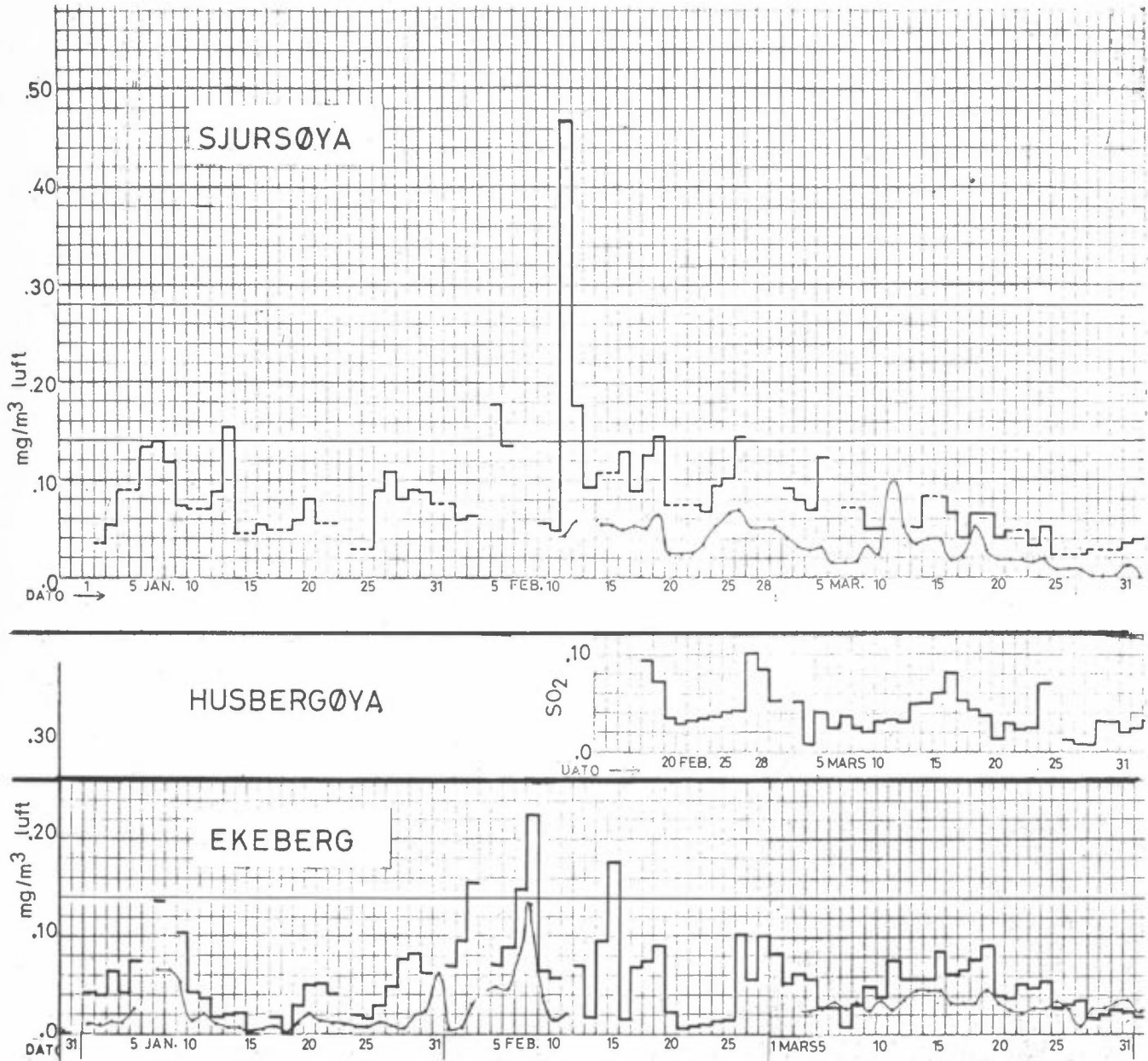


NYLAND



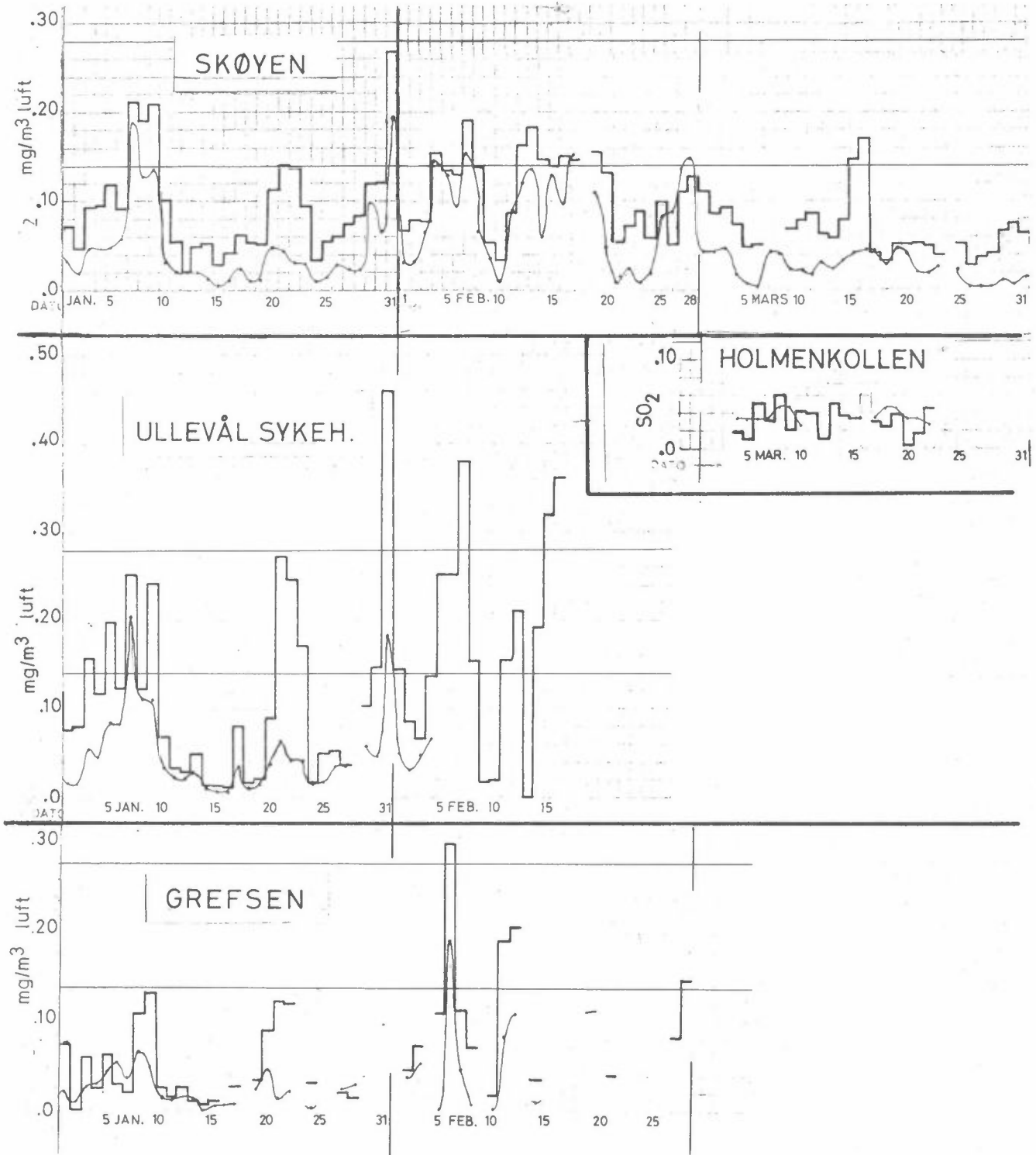
Figur 4.5

1970



Figur 4.6

1970



Figur 4.7

| Stasjon              | Månedsmiddel                       |                        | Maksimal verdier |      | Døgn over grenseverdien 0,28 mgSO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> | Manglende SO <sub>2</sub> observasjoner støv ( ) |
|----------------------|------------------------------------|------------------------|------------------|------|--|--|
|                      | mg SO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> | mg støv/m <sup>3</sup> | SO <sub>2</sub>  | Støv |  |  |
| <b>Oktober 1969</b>  |                                    |                        |                  |      |  |  |
| St Olavs plass       | 0.117                              | 0.064                  | 0.18             | 0.11 | 0  | 0  |
| Sjursøya             | 0.046                              |                        | 0.08             |      | 0  | 9  |
| Økern                | 0.026                              |                        | 0.04             |      | 0  | 18   |
| Nyland leir          | 0.042                              | 0.027                  | 0.07             | 0.06 | 0  | 0  |
| Bryn skole           | 0.045                              | 0.029                  | 0.06             | 0.07 | 0  | 0  |
| <b>November 1969</b> |                                    |                        |                  |      |  |  |
| St Olavs plass       | 0.202                              | 0.091                  | 0.44             | 0.20 | 0  | 0  |
| Skøyen               | 0.083                              | 0.072                  | 0.24             | 0.22 | 0  | 7 (8)  |
| Sjursøya             | 0.059                              |                        | 0.10             |      | 0  | 8  |
| Økern                | 0.083                              |                        | 0.20             |      | 0  | 2  |
| Nyland leir          | 0.067                              | 0.047                  | 0.15             | 0.15 | 0  | 0  |
| Bryn skole           | 0.065                              | 0.054                  | 0.17             | 0.15 | 0  | 0  |
| <b>Desember 1969</b> |                                    |                        |                  |      |  |  |
| St Olavs plass       | 0.201                              | 0.084                  | 0.50             | 0.24 | 0  | 1  |
| Skøyen               | 0.103                              | 0.056                  | 0.21             | 0.22 | 0  | 0  |
| Grefsen              | 0.026                              | 0.034                  | 0.12             | 0.05 | 0  | 9 (9)  |
| Briskeby             | 0.096                              |                        | 0.15             |      | 0  | 16   |
| Sjursøya             | 0.063                              |                        | 0.18             |      | 0  | 1  |
| Ullevål sykehus      | 0.093                              | 0.036                  | 0.24             | 0.11 | 0  | 1 (1)  |
| Økern                | 0.098                              |                        | 0.38             |      | 1  | 9  |
| Nyland leir          | 0.073                              | 0.029                  | 0.22             | 0.10 | 0  | 0  |
| Bryn skole           | 0.176                              | 0.031                  | 0.58             | 0.10 | 4  | 1 (22)   |
| <b>Januar 1970</b>   |                                    |                        |                  |      |  |  |
| St Olavs plass       | 0.196                              | 0.065                  | 0.39             | 0.14 | 5  | 2  |
| Haakon VII'sgt       | 0.144                              | 0.056                  | 0.32             | 0.13 | 1  | 2 (1)  |
| Skøyen               | 0.094                              | 0.048                  | 0.26             | 0.20 | 0  | 0  |
| Ekeberg              | 0.044                              | 0.019                  | 0.14             | 0.06 | 0  | 5 (1)  |
| Grefsen              | 0.073                              | 0.024                  | 0.13             | 0.07 | 0  | 7 (8)  |
| Briskeby             | 0.129                              |                        | 0.42             |      | 3  | 0  |
| Sjursøya             | 0.062                              |                        | 0.15             |      | 0  | 1  |
| Ullevål sykehus      | 0.111                              | 0.050                  | 0.46             | 0.21 | 1  | 1  |
| Økern                | 0.079                              |                        | 0.38             |      | 1  | 4  |
| Nyland leir          | 0.093                              | 0.029                  | 0.27             | 0.11 | 0  | 0  |
| Bryn skole           | 0.096                              | 0.042                  | 0.27             | 0.14 | 0  | 0  |
| <b>Februar 1970</b>  |                                    |                        |                  |      |  |  |
| St Olavs plass       | 0.261                              | 0.114                  | 0.40             | 0.30 | 13   | 0  |
| Haakon VII'sgt       | 0.153                              | 0.064                  | 0.34             | 0.15 | 1  | 4 (17)   |
| Skøyen               | 0.107                              | 0.083                  | 0.19             | 0.16 | 0  | 1  |
| Ekeberg              | 0.074                              | 0.043                  | 0.22             | 0.14 | 0  | 2 (18)   |
| Grefsen              | 0.103                              | 0.050                  | 0.30             | 0.20 | 1  | 13(17)Stopp                                      |
| Briskeby             | 0.089                              |                        | 0.21             |      | 0  | 15   |
| Sjursøya             | 0.105                              | 0.046                  | (0.47)           | 0.07 | (1)  | 5 (10)   |
| Ullevål sykehus      | 0.155                              |                        | 0.38             |      | 3  | 12 (Stopp)                                       |
| Økern                | 0.126                              |                        | 0.23             |      | 0  | 16   |
| Nyland leir          | 0.127                              | 0.049                  | 0.40             | 0.21 | 2  | 0  |
| Bryn skole           | 0.140                              | 0.069                  | 0.52             | 0.20 | 3  | 0  |

Totals:

Tabell 4.1 Månedsmiddelverdier og maksimale døgnverdier av SO<sub>2</sub> og støv i Oslo-området, antall døgnverdier som overskrider den svenske norm (0.28) samt antall dager med manglende data. Stasjonene St Olavs plass, Bryn og Nyland drives av Oslo Helseråd.



| Stasjon        | Månedsmiddel                       |                        | Maksimal verdier |      | Døgn over grenseverdien<br>0,28 mgSO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> | Manglende observasjoner støv( ) |
|----------------|------------------------------------|------------------------|------------------|------|---|---------------------------------|
|                | mg SO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> | mg støv/m <sup>3</sup> | SO <sub>2</sub>  | Støv |   |                                 |
| Mars 1970      |                                    |                        |                  |      |   |                                 |
| St Olavs plass | 0.150                              | 0.062                  | 0.31             | 0.18 | 1   | 0                               |
| Haakon VII'sgt | 0.113                              | 0.070                  | 0.23             | 0.14 | 0   | 7                               |
| Skøyen         | 0.068                              | 0.026                  | 0.17             | 0.05 | 0   | 3 (1)                           |
| Ekeberg        | 0.048                              | 0.031                  | 0.09             | 0.04 | 0   | 0 (3)                           |
| Briskeby       | 0.101                              | 0.093                  | 0.20             | 0.15 | 0   | 2                               |
| Sjursøya       | 0.044                              | 0.026                  | 0.12             | 0.10 | 0   | 4 (0)                           |
| Økern          | 0.061                              |                        | 0.14             |      | 0   | 0                               |
| Holmenkollen   | 0.030                              | 0.036                  | 0.06             | 0.04 | 0   | 13(18)Stopp                     |
| Husbergøya     | 0.032                              |                        | 0.08             |      | 0   | 2                               |
| Nyland leir    | 0.054                              | 0.018                  | 0.10             | 0.04 | 0   | 0                               |
| Bryn skole     | 0.076                              | 0.036                  | 0.16             | 0.12 | 0   | 0                               |

April 1970

|                |       |       |      |      |   |    |
|----------------|-------|-------|------|------|---|----|
| St Olavs plass | 0.097 | 0.043 | 0.16 | 0.09 | 0 | 1  |
| Haakon VII'sgt | 0.090 | 0.093 | 0.16 | 0.15 | 0 | 0  |
| Skøyen         | 0.048 |       | 0.08 |      | 0 | 14 |
| Ekeberg        | 0.032 | 0.023 | 0.07 | 0.04 | 0 | 1  |
| Briskeby       | 0.049 | 0.063 | 0.10 | 0.11 | 0 | 0  |
| Sjursøya       | 0.022 | 0.008 | 0.06 | 0.03 | 0 | 4  |
| Husbergøya     | 0.015 |       | 0.03 |      | 0 | 2  |
| Nyland leir    | 0.042 | 0.013 | 0.10 | 0.03 | 0 | 0  |
| Bryn skole     | 0.054 | 0.025 | 0.09 | 0.06 | 0 | 4  |

#### 4.2 Oversikt over SO<sub>2</sub>- og støv-verdier i Oslo vinterhalvåret 1969/70

I figurene 4.1 til 4.7 er samtlige målinger av SO<sub>2</sub> og støv som er gjort i Oslo vinterhalvåret 1969/70 presentert i henholdsvis stolpediagrammer og kurver. Punktene på kurvene indikerer døgnmiddelverdiene for støv. Målingene fra Oslo Helseråds målepunkter (St Olavsplass, Bryn, Nyland), er inkludert. Diagrammet viser at bare St Olavsplass, Bryn, Nyland, Sjursøya og Skøyen har vært i drift hele vinterhalvåret. Forøvrig foreligger dataene fra de andre stasjonene mest fullstendig i siste halvdel av vinterhalvåret. Det er dog lengere avbrekk på de fleste av stasjonene. Støv er som nevnt ikke målt på alle stasjonene.

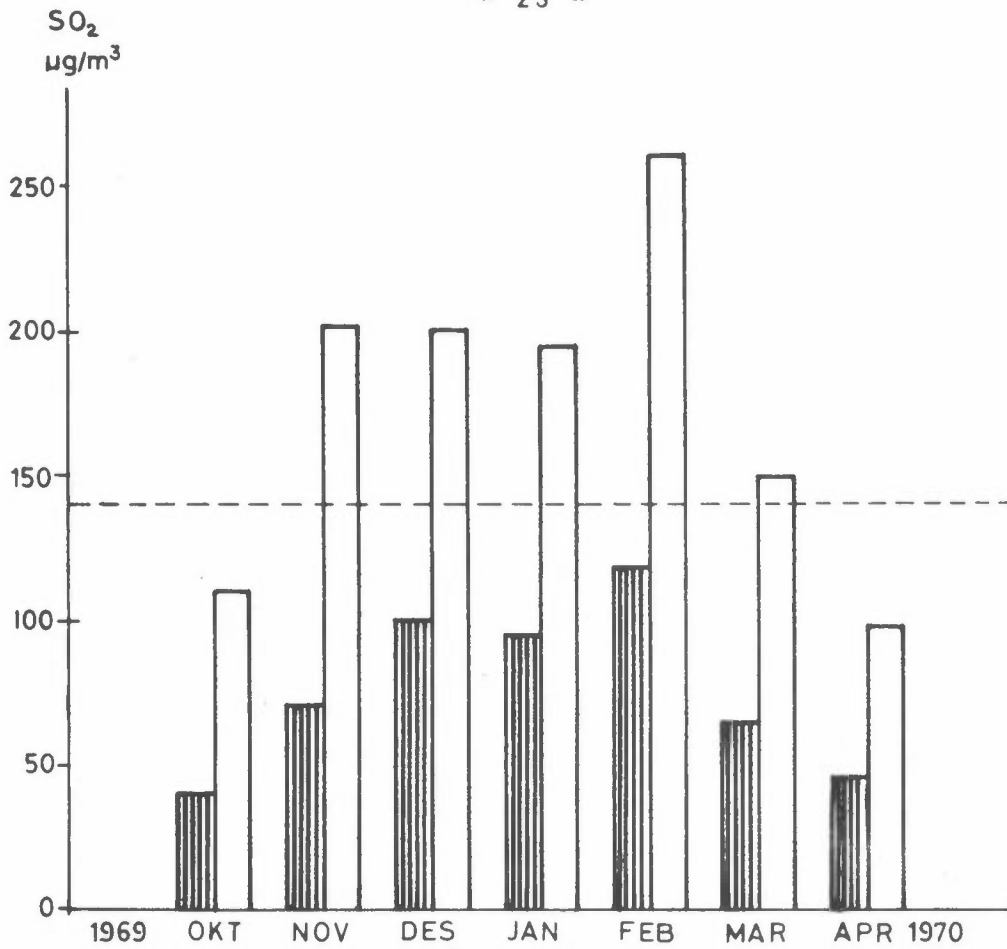
I grove trekk går målingene av SO<sub>2</sub> og støv på de forskjellige stasjonene i takt, men her oppviser også diagrammene store avvik. Verdien for Sjursøya 11 februar er et eksempel som antakelig skyldes målefeil. - SO<sub>2</sub>-verdien for Briskeby 28 februar beror åpenbart på analysefeil, da støv-verdien går godt i takt med St Olavsplass. Haakon VIIgt går gjennomgående dårligere i takt med St Olavsplass enn Briskeby.

6 og 7 februar viser en situasjon med ekstreme maksima på stasjonene Bryn og Nyland i Groruddalen, på Grefsen den 6. og normale maksima på de øvrige stasjonene.

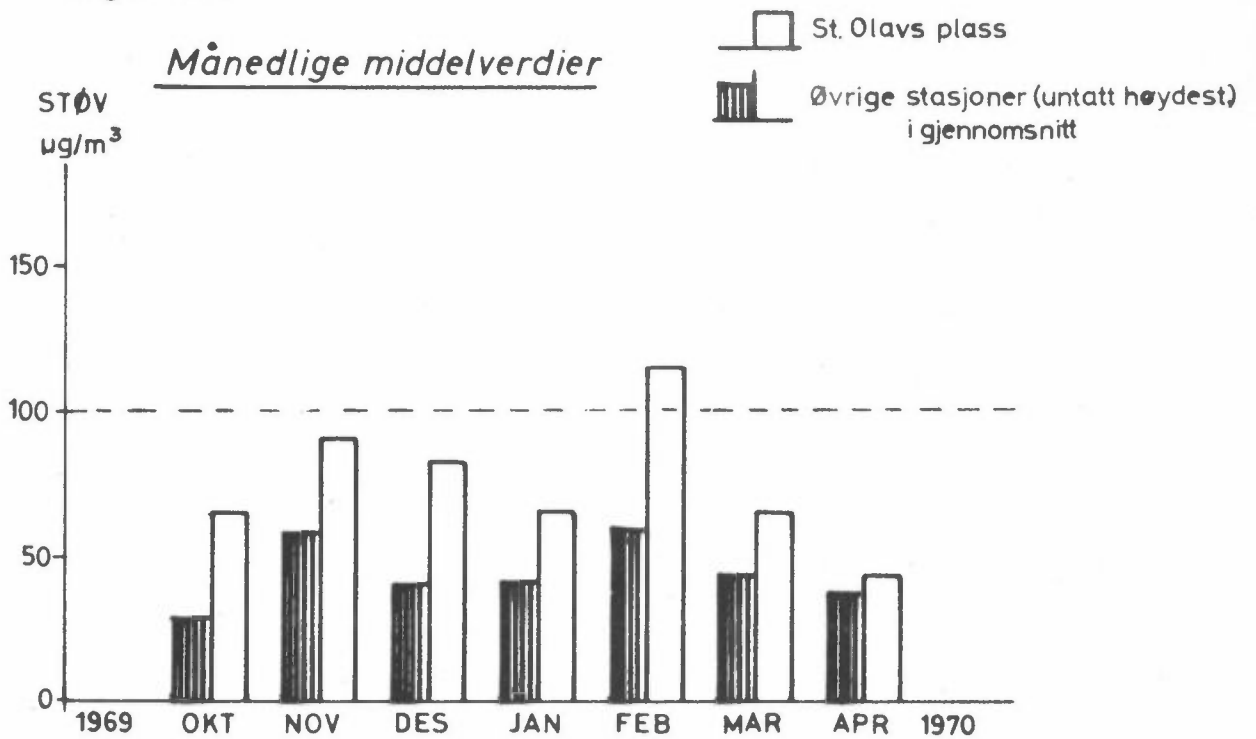
#### 4.3 Månedsmidler

I tabell 4.1 er gitt de beregnete månedsmidlene av SO<sub>2</sub> og støv for månedene oktober 1969 til april 1970, samt månedlige maksimumsverdier, antall døgnverdier som overskrider den svenske norm 0.28 mg SO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> og antall døgn for hver måned hvor data mangler.

I figurene 4.8 og 4.9 er de månedlige middelveidier av henholdsvis SO<sub>2</sub> og støv fremstillet i stolpediagram. Verdiene for sentrumsstasjonen St Olavsplass og gjennomsnittet for de øvrige stasjonene (eksklusiv høydestasjonene Grefsen og Holmenkollen), er gitt separat. Verdiene fra måned til måned er ikke uten videre sammenlignbare, da alle stasjonene ikke er representert hele tiden, og store diskontinuiteter i måleseriene forekommer.



Figur 4.8



Figur 4.9

Figur 4.8 viser at i månedene november, desember, januar og februar lå månedsmidlene for  $\text{SO}_2$  på St Olavsplass markert høyere enn den svenske norm som er  $0.14 \text{ mg SO}_2/\text{m}^3$ , mens månedsmidlet i mars lå omkring normen. Den gjennomsnittlige forurensning for de øvrige stasjonene var for alle vintermånedene under normen. Gjennomsnittsverdien for februar var nær oppunder normen ( $0.12 \text{ mg SO}_2/\text{m}^3$ ), og tabell 4.1 viser at i denne måneden lå også  $\text{SO}_2$ -middelverdiene for Haakon VIIgt og Ullevål sykehus over normen. De øvrige målestasjoner, unntatt Briskeby (få data) og Ekeberg, lå omkring normen. På Bryn var forurensningsnivået over normen i desember, og omkring normen i gjennomsnitt for desember, januar og februar.

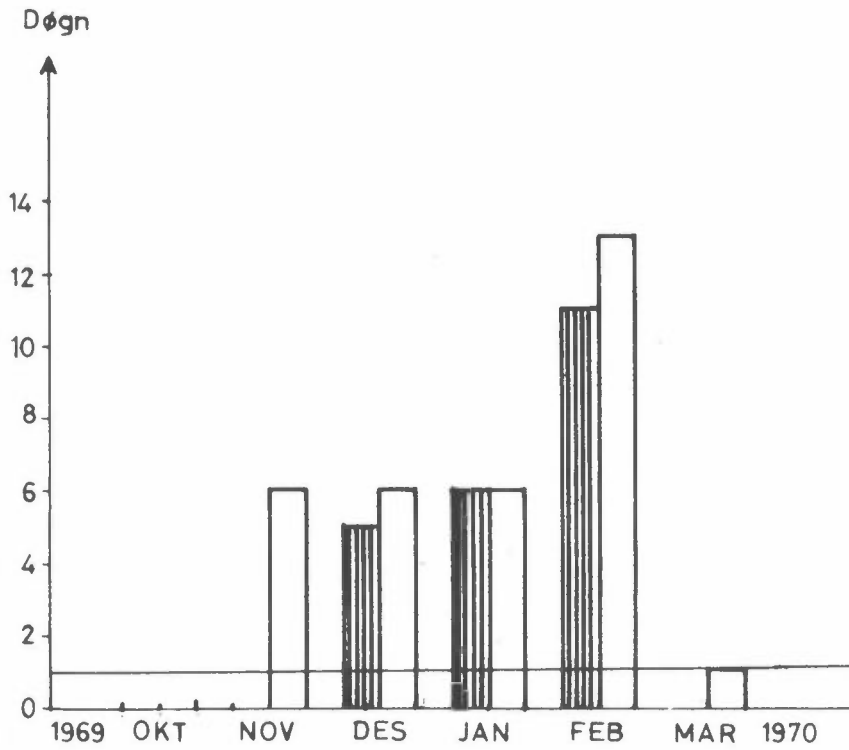
Figur 4.9 viser at på St Olavsplass varierer månedsmidlene for støvinnholdet i luften i takt med  $\text{SO}_2$ -innholdet i luften. For de øvrige stasjonene varierer det gjennomsnittlige støvinnhold i luften dårligere i takt med det midlere  $\text{SO}_2$ -innholdet i luften, og støvmengden er forholdsvis konstant gjennom vinterhalvåret. Ut på vårparten (mars og april) er forskjellen i luftens støvinnhold mellom St Olavsplass og de øvrige stasjonene sterkt avtakende.

Holder vi oss til det svenske forslag til grenseverdi for støv-månedsmidler ( $100 \text{ } \mu\text{g}/\text{m}^3$  eller  $0.1 \text{ mg}/\text{m}^3$ ), så ligger St Olavsplass i februar over denne verdi. For de øvrige stasjonene finner vi ingen middelverdier over  $100 \text{ } \mu\text{g}/\text{m}^3$  (tabell 4.1). Månedsmidlet for Skøyen i februar, for Briskeby i mars og Haakon VIIgt i april ligger dog nær oppunder grenseverdien.

#### 4.4 Døgnmidler

Figur 4.10 viser at døgnverdier over grenseverdien  $0.28 \text{ mg SO}_2/\text{m}^3$  forekommer i de fire midtvintermånedene, og hyppigst i februar (13 dager).

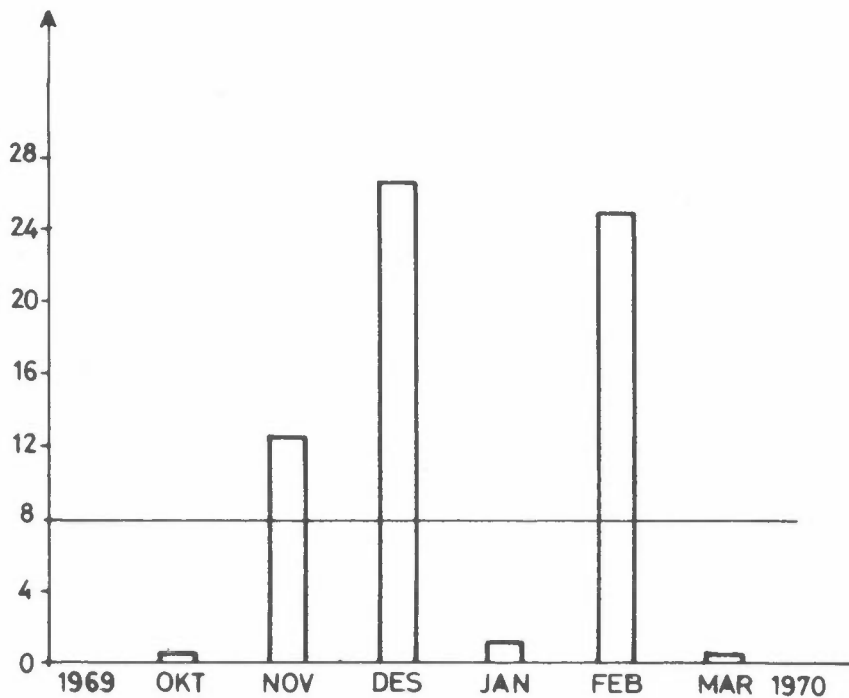
Det samlede antall dager for de øvrige stasjonene med verdier over grenseverdien er tatt med for sammenligningens skyld, men verdiene fra måned til måned er ikke sammenlignbare av årsaker nevnt tidligere (kap 4.3). Dersom vi lar stasjonene



Figur 4.10 Antall døgn pr måned med  $\text{SO}_2$ -døgnmidler over grenseverdien  $0.28 \text{ mg SO}_2/\text{m}^3$ .

 St. Olavs plass  
 Øvrige stasjoner

Timer pr måned



Figur 4.11 Antall timer pr måned med  $\text{SO}_2$ -halvtimesverdier over grenseverdien  $0.72 \text{ mg}/\text{m}^3$  på St Olavs plass

Økern, Bryn, Nyland representerer østre bydel, Skøyen vestre og Ullevål sykehus nordre bydel, finner vi av figurene 4.1 - 4.7 at Skøyen (vestre del) hadde ingen døgn med SO<sub>2</sub>-forurensning høyere enn grenseverdien, mens østre del hadde 4 døgn hvor normen ble overskredet på en eller flere stasjoner samtidig. Ullevål sykehus hadde 4 overskridelser, selv om stasjonen ikke var i drift under forurensningsperiodene i siste halvdel av februar. Foruten byens sentrum synes derfor nordre og østre bydel å være mest utsatt for SO<sub>2</sub>-forurensninger.

Det er bemerkelsesverdig at Grefsen er representert med en overskridelse (6 februar). Dette kan delvis skyldes ugunstig vindretning relativt til industrien i Nydalen, samtidig med at det var sterke forurensninger generelt i de nordlige og østlige bydeler denne dagen (se 4.2).

Brukes erfaringstallene fra USA (se 4.1), var det 5 døgn med "kraftig støvforurensning" (mer enn 200 µg/m<sup>3</sup>) på St Olavs plass i vintermånedene 1969/70 (tabell 4.2).

|                               |                    | okt | nov | des | jan | febr | mars |
|-------------------------------|--------------------|-----|-----|-----|-----|------|------|
| Over<br>200 µg/m <sup>3</sup> | St Olavs-<br>plass | 0   | 1   | 3   | 0   | 1    | 0    |
|                               | Skøyen             | -   | 1   | 1   | 0   | 0    | 0    |
|                               | Bryn               | 0   | 0   | -   | 1   | 0    | 0    |
| 100-200<br>µg/m <sup>3</sup>  | St Olavs-<br>plass | 1   | 11  | 4   | 7   | 17   | 6    |
|                               | Skøyen             | -   | 3   | 5   | 4   | 11   | 0    |
|                               | Bryn               | 0   | 3   | -   | 1   | 5    | 1    |

Tabell 4.2 Antall døgn pr måned med døgnmidler av svevestøv-  
konsentrasjoner over 200 µg/m<sup>3</sup> og 100-200 µg/m<sup>3</sup>  
på St Olavs plass, Skøyen og Bryn vinteren 1969/70

På Bryn og Skøyen, hvor støvkonsentrasjoner ble målt noenlunde kontinuerlig gjennom vinteren, og som representerer industri-sentra på hver side av bykjernen, inntraff dette ialt 3 døgn. Høyeste døgnmiddel var  $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , målt på St Olavs plass 28.2.70.

Verdier mellom  $100$  og  $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$  forekom meget hyppig i november og februar på St Olavs plass, og i februar på Skøyen.

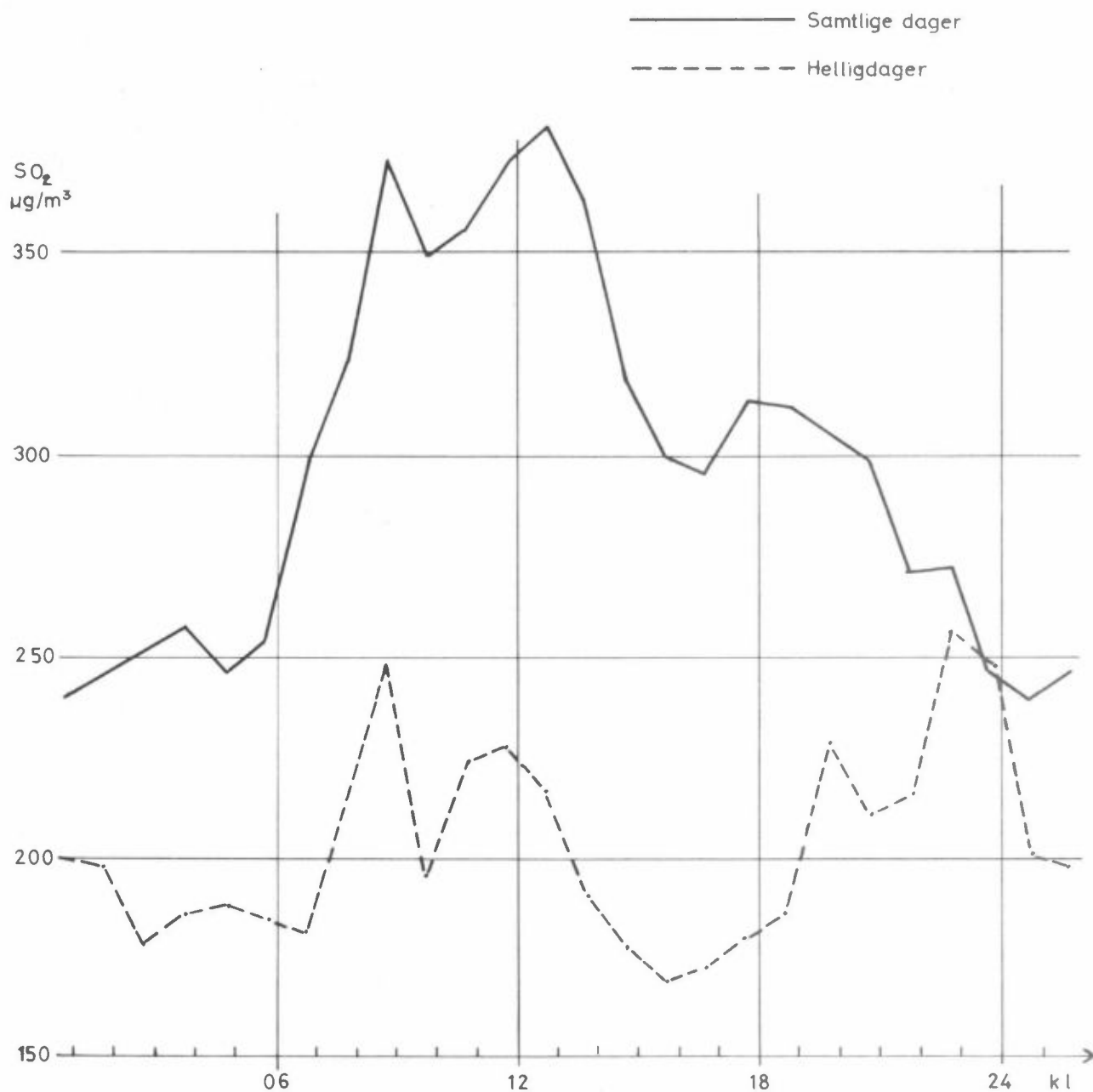
Av de øvrige stasjoner med korte måleserier hadde Briskeby høyeste frekvens av samtlige stasjoner i mars hvor 12 døgn hadde verdier mellom  $100$  og  $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (figur 4.4).

Det må videre bemerkes at høydestasjonen Grefsen hadde 2 døgn med verdier mellom  $100$ - $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$  denne vinteren.

#### 4.5 Halvtimesmidler av $\text{SO}_2$ på St Olavs plass

På St Olavs plass ble halvtimesmidler av  $\text{SO}_2$ -konsentrasjoner større enn  $0.72 \text{ mg}/\text{m}^3$  registrert mer enn 1% av tiden (8 timer) i månedene november, desember og februar, mens januar bare hadde 1 time med så høye korttidsverdier (figur 4.11). Imidlertid er overskridelsene tildels så små, at målefeil kan ha innvirkning på resultatet.

De høyeste verdiene forekommer normalt midt på dagen. Dette er vist i figur 4.12, som fremstiller den midlere døgnlige variasjon for februar 1970. Den store døgnlige variasjon antas vesentlig å skyldes den døgnlige syklus av byens energiforbruk, men meteorologiske forhold kan også medvirke. Den tilsvarende kurve for desember 1969 (ikke vist) viser det samme forløp, men den midlere døgnlige variasjon er mindre i desember ( $115 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) enn i januar ( $142 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Kurven for de 4 helligdagene i februar viser et annet forløp med ett maksimum om dagen og ett sent om kvelden.



Figur 4.12 Midlere døgnlige variasjoner av SO<sub>2</sub>-luftforurensningen i Oslo sentrum februar 1970



5 SAMMENLIKNING AV FORURENSNINGENE VINTEREN 1969/70 MED  
TIDLIGERE ÅRS FORURENSNINGER

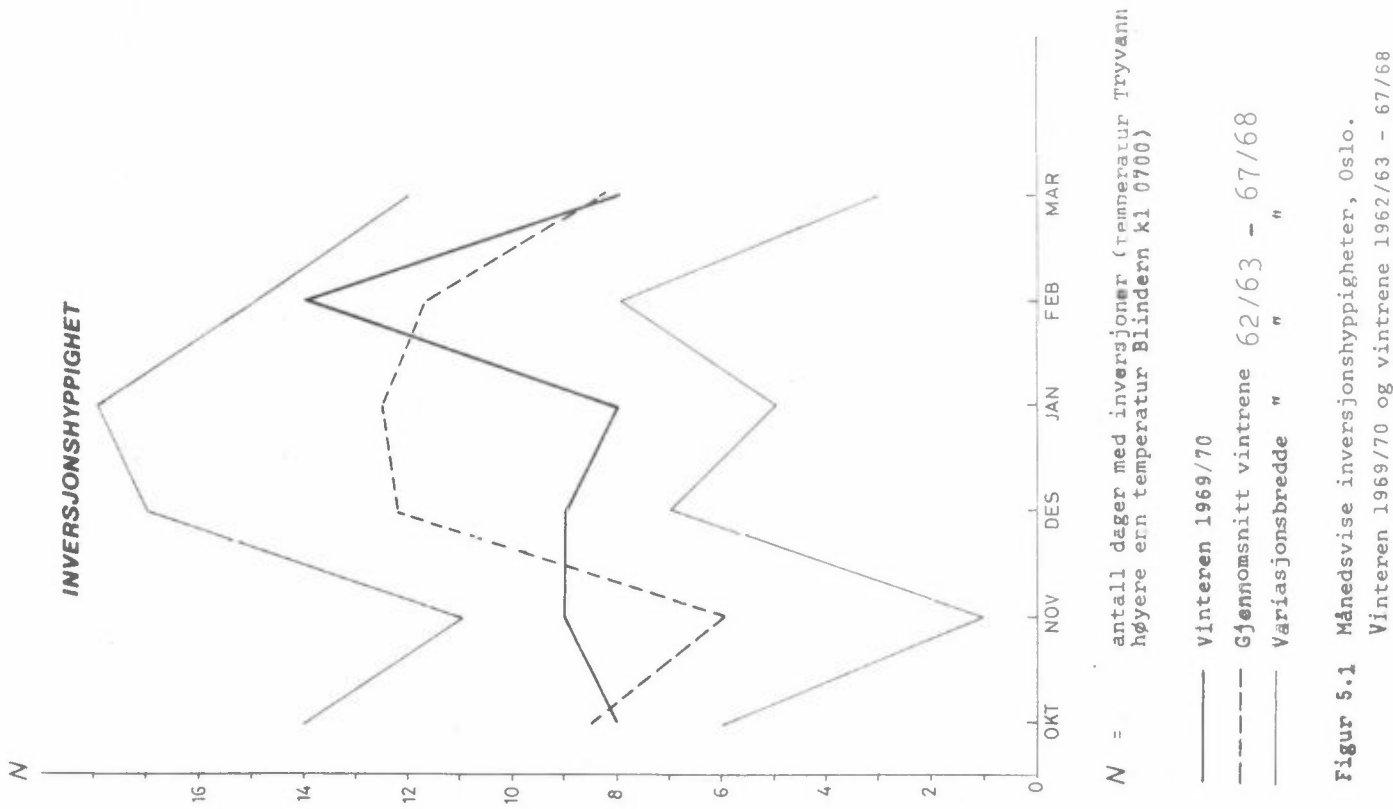
I løpet av 60-årene har det foregått en kontinuerlig endring i bruken av brennstoff til oppvarming, fra fast brensel til lettoljer for boligoppvarming, og i den siste tiden fra tunge oljer til lettere oljer for varmesentraler. Dette har medført mindre svovelutslipp fra de enkelte fyringssteder, men samtidig har forbruket av brensel økt. En ukjent faktor er utslipp forårsaket av fast brensel og søppel.

Det er i denne sammenheng av interesse å vurdere den parallelle utvikling mellom utslipp av SO<sub>2</sub> og støv på den ene side og forurensningen av Oslo-luften på den annen side. Mengden av forurensningene fra år til år er, foruten av utslippene, også avhengig av variasjonen i de meteorologiske forhold.

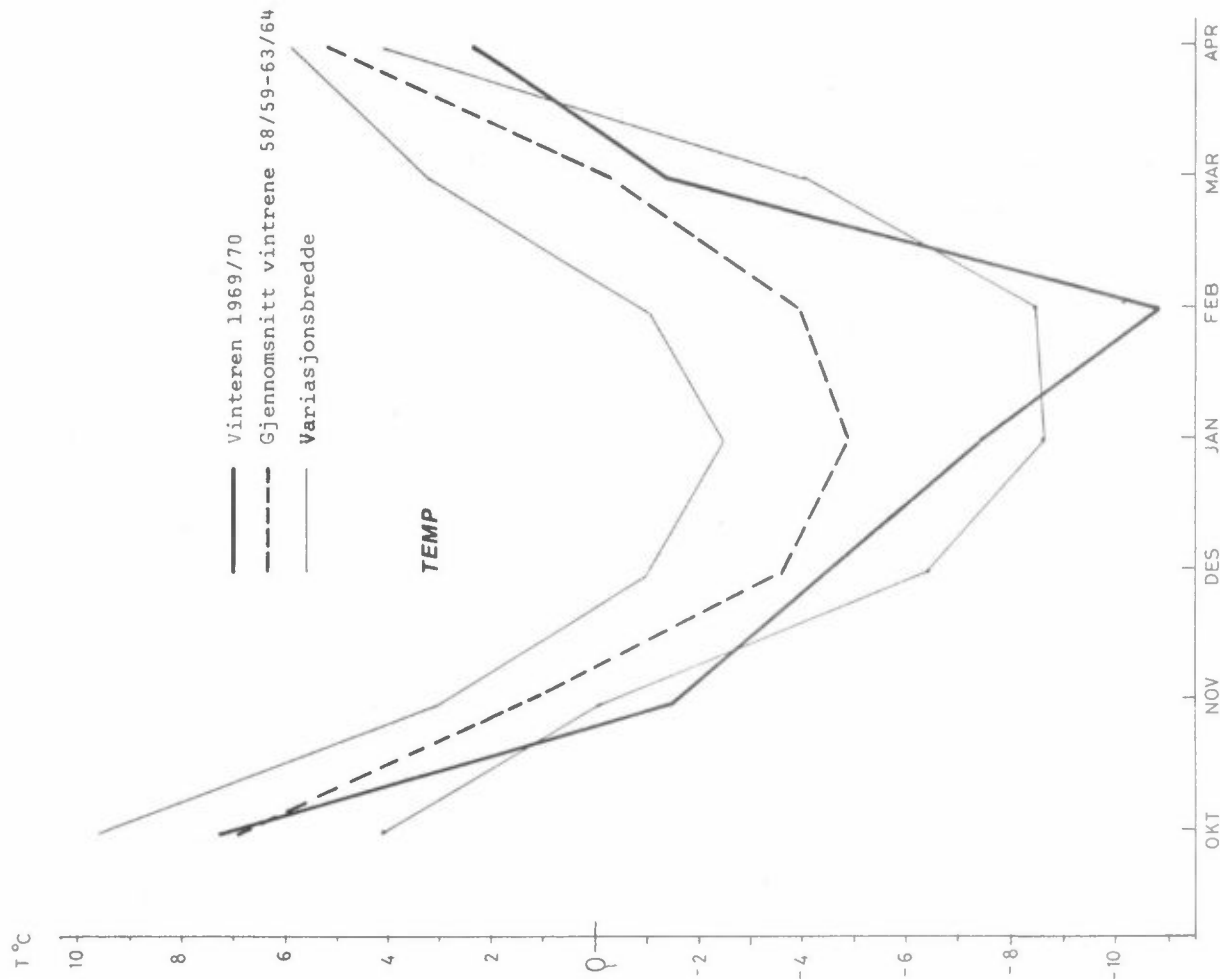
5.1 Inversjonshyppighet og temperatur

De meteorologiske forholds betydning for forurensningsnivået søkes her belyst ved sammenligning med inversjonshyppigheten og middeltemperaturen (fyringsaktiviteten) for hver måned. I stedet for inversjonshyppighet kan stabiliteten brukes som parameter som i kap 5.3 og i Del 2. (I Del 2 har dette ført frem til lignende konklusjoner som her).

Det er foretatt en undersøkelse av inversjonshyppigheten om vinteren i Oslo over en 6-års periode fra vinteren 1962/63 til og med vinteren 1967/68, basert på observasjoner av temperaturdifferansen Tryvann-Blindern kl 0700 hver morgen. (Inversjon når temperaturen på Tryvann er høyere enn på Blindern). Dette er ingen fullgod parameter, da en del av temperaturinversjonene ikke blir registrert på grunn av den store høydeforskjellen mellom Blindern og Tryvann. Dessuten kan mange av inversjonene, spesielt i begynnelsen og slutten av vinterhalvåret, være typiske morgeninversjoner som kan løses opp raskt på formiddagen. Med disse reservasjoner vil



**Figur 5.1** Månedsvise inversjonshyppigheter, Oslo. Vinteren 1969/70 og vintrene 1962/63 - 67/68



**Figur 5.2** Månedsmiddelverdier av temperaturen på Blindern. Vinteren 1969/70 og vintrene 1958/59 - 1963/64.

en likevel få et bilde av en vinters representativitet, når denne sammenlignes med den midlere inversjonshyppigheten for en rekke år.

I figur 5.1 er hyppigheten av antall inversjonsdager i hver måned vinteren 1969/70 sammenlignet med de tilsvarende midlere hyppigheter i perioden 1962/63 til 1967/68 og variasjonsbredden for hver måned. Variasjonsbredden viser en bemerkelsesverdig forskjell mellom januar og februar. De midlere antall inversjonsdager er omlag det samme, men variasjonsbredden i antall inversjoner fra år til år har sitt maksimum for vinterhalvåret i januar og sitt minimum i februar. I de andre vintermånedene er variasjonsbredden omtrent den samme.

Figuren viser for vinteren 1969/70 at i oktober og mars var antall inversjonsdager nær midlet 1962-68. I november var antallet inversjonsdager over midlet, i februar betydelig over midlet, sett i relasjon til at variasjonsbredden for denne måned er relativt liten. I desember og januar er inversjonshyppigheten under midlet. For vinteren 1969/70 var det 56 inversjonsdøgn. Dette er nær midlet for perioden 1962-68 (58.5 inversjonsdøgn).

I figur 5.2 kan gjennomsnittene og variasjonsbreddene for månedmiddelverdiene av temperaturen på Blindern i vinterhalvåret 1958/59 - 1963/64 sammenlignes med månedsmidlene vinteren 1969/70. Den siste vinteren var kaldere, for februar langt kaldere, enn i årene 1958-64. Middelttemperaturen for siste vinter (oktober til april) er  $-2.3^{\circ}\text{C}$  mot  $0.0^{\circ}\text{C}$  for årene 1958/59 - 1963/64. Dette indikerer at fyringsaktiviteten og dermed det totale energiforbruket i alle fall ikke skulle være mindre enn "normalt" siste vinter.

Når vurderingen baseres på inversjonshyppigheten, mener en at forurensningsmidlet for hele vinterhalvåret 1969/70 er noenlunde representativt for bedømmelse av utviklingen. Den relativt lave middeltemperaturen siste vinter tilsier dog at fyringsaktiviteten har vært høyere enn normalt siste vinter.

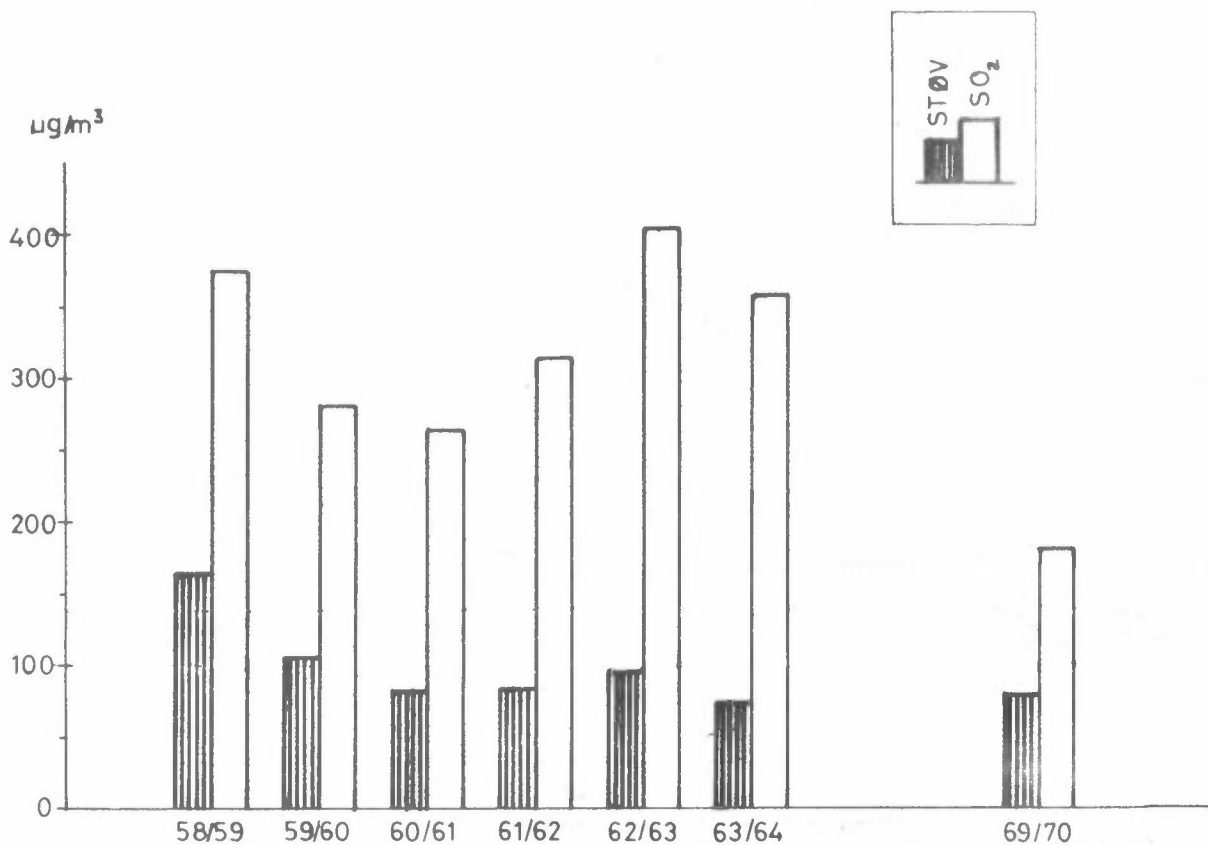
## 5.2 En sammenligning mellom SO<sub>2</sub>-målingene og støvmålingene i perioden 1959-65 og vinteren 1969/70

En pålitelig sammenligning av SO<sub>2</sub>- og støvmålingene fra perioden 1959/65 (1) med tilsvarende målinger vinteren 1969/70 er vanskeliggjort ved at ingen av målepunktene fra perioden 1959/65 er brukt vinteren 1969/70. Vi går ut fra at det nåværende målepunkt på St Olavsplass kan identifiseres med målepunktet samme sted i perioden 1959/64, selv om områdets karakter er blitt vesentlig endret de siste år.

### 5.2.1 St Olavsplass

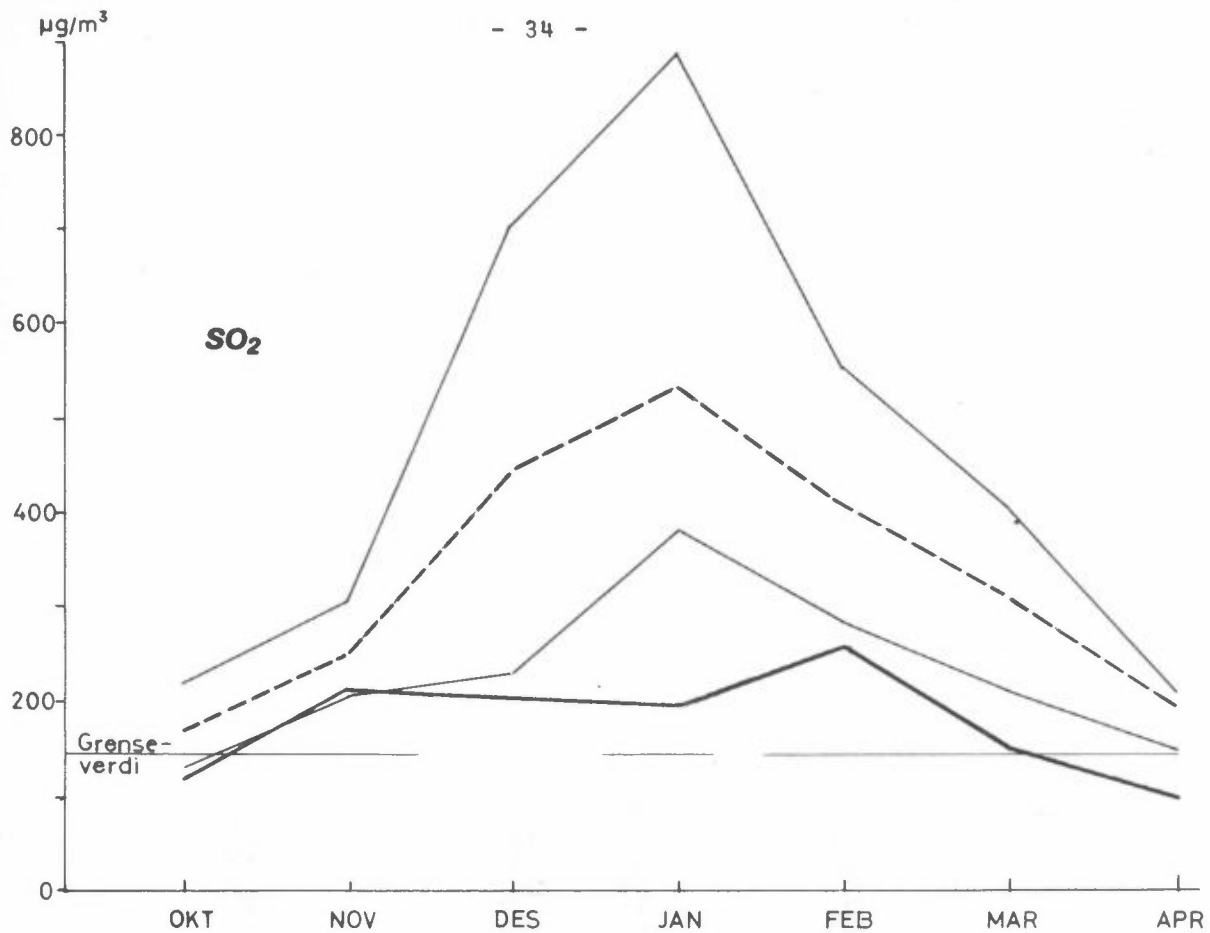
En sammenligning av gjennomsnittsverdiene av SO<sub>2</sub> og støv fra 41. til 16. uke i vintersesongene 1958/59 til 1963/64 (fra (1)) og 1969/70 på St Olavsplass (figur 5.3) viser en markert nedgang i SO<sub>2</sub>-innholdet i Oslo-luften fra den tidligere måleperiode til siste vinter, men at gjennomsnittet er høyere enn den svenske norm 0.14 mg/m<sup>3</sup> for månedsmidler.

Siste vinters målinger av støvinnholdet i luften og dr Lindbergs målinger fra 1960/64 tyder på at det midlere støvinnhold i Oslo-luften har holdt seg noenlunde konstant de siste 10 år. Forutsetningen for denne konklusjon er at partikkelsammensetningen er den samme. Det er dog grunn til å tro at støvforurensningens art har endret seg i de senere år. Sotforurensningen fra faste brennstoffer ved husoppvarming er redusert, mens sotutslipp ved forbrenning fra bilmotorer og oppvirvling av støv og partikler fra veier og gater er økende på grunn av økende biltrafikk.



Figur 5.3 Gjennomsnittsverdien av SO<sub>2</sub> og støv i vinter-  
sesongene 1958/59 - 1963/64 og 1969/70 på  
St Olavs plass (41 - 16 uke).

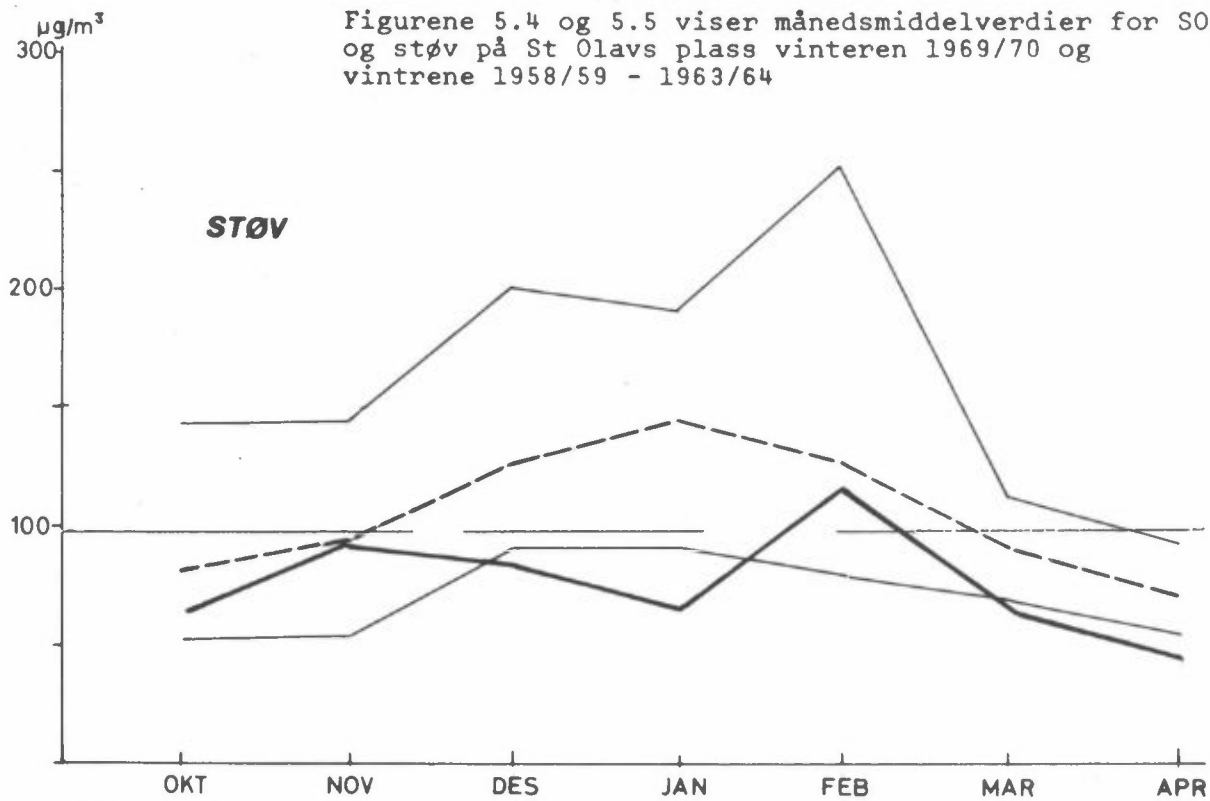
Som nevnt tidligere (kap 5.1) antyder det tilnærmet "normale" antall inversjoner og middeltemperaturen i vinterhalvåret 1969/70 at middelverdiene ovenfor er et representativt uttrykk for utviklingen av forurensningssituasjonen. I enkelte måneder avvek dog værforholdene tildels vesentlig fra midlet (særlig februar 1970). Det er derfor av interesse å sammenligne månedsmidlene for SO<sub>2</sub> og støv vinteren 1969/70 med den midlere variasjon og variasjonsbredden i vintrene 1958/59 - 1963/64. I figurene 5.4 og 5.5 for henholdsvis SO<sub>2</sub> og støv er det nyttet 4-ukers middelverdier for årene 1959/64 (fra (1)), som tilnærmet skulle svare til våre månedsmidler.



Figur 5.4

— Vinteren 1969/70  
 - - - Gjennomsnitt for vintrene 1958/59 - 63/64  
 — Variasjonsbredde

Figurene 5.4 og 5.5 viser månedsmiddelverdier for SO<sub>2</sub> og støv på St Olavs plass vinteren 1969/70 og vintrene 1958/59 - 1963/64



Figur 5.5

Figur 5.4 for  $\text{SO}_2$  på St Olavsplass viser at variasjonsbredden i årene 1959/64 var liten i månedene oktober, november og april, og at den tiltar meget mot midtvinters.

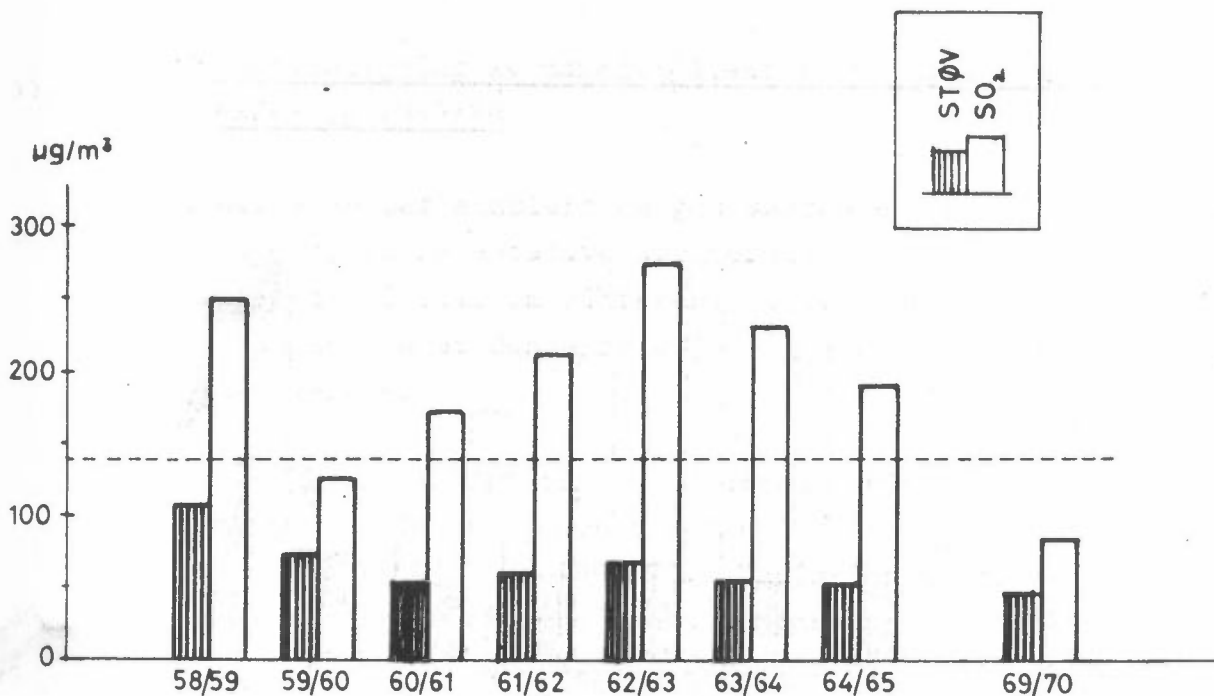
Variasjonen av månedsmiddelverdiene vinteren 1969/70 gjenspeiler til en viss grad variasjonen av inversjonshyppigheten for denne vinteren, vist i figur 5.1. Det er av særlig interesse å merke seg at selv med den ekstreme frekvens av inversjoner og den relativt lave middeltemperaturen i februar 1970, så når ikke månedsmidlet opp til laveste tilsvarende 4-ukers middel i årene 1959/64.

Dette er en indikasjon på en reell forbedring av forurensningssituasjonen for  $\text{SO}_2$ . Det kan innvendes at Oslofjorden var islagt denne måneden. Virkningen av dette på luftutvekslingsforholdene i Oslo er usikker. Imidlertid viser januar 1970 en meget lav verdi, selv om inversjonshyppigheten ikke avvek vesentlig fra midlet og middeltemperaturen var lav. Januar, februar og mars sett i sammenheng, indikerer derfor at en reell forbedring i  $\text{SO}_2$ -forurensningene har funnet sted. Dette gjelder også, men i mindre grad, for månedene oktober, november og desember.

Utviklingen av forurensningssituasjonen for støv fra 1959/65 til 1970 (figur 5.5), indikerer også en forbedring, især midt- og senvinters, når en tar hensyn til meteorologiske faktorer og variasjonsbredde, men den er ikke så tydelig som for  $\text{SO}_2$ . Oktober og november viser ingen klar forbedring.

#### 5.2.2 De øvrige stasjonene

De tilsvarende gjennomsnittsverdier for de øvrige stasjonene samlet (figur 5.6) indikerer at forurensningssituasjonen i resten av byen har endret seg i takt med St Olavsplass. Gjennomsnittsverdiene for vinteren 1969/70 er dog ikke direkte sammenlignbare med de øvrige, fordi målepunktene ikke har samme plasseringer.



Figur 5.6 Gjennomsnittsverdier av SO<sub>2</sub> og støv i vintersesongene 1958/59 til 1964/65 og 1969/70 på alle stasjoner unntatt St Olavs plass og høydestasjoner.

De stasjonsparene, foruten St Olavsplass, som kan antas å være sammenlignbare fra periodene 1959/65 og 1969/70, er Hegdehaugen/Briskeby og Grefsen brannstasjon/Grefsen (i "Hesteskoen"). En sammenligning av de respektive forholdstall i % mellom de midlere SO<sub>2</sub>-konsentrasjoner på de nevnte stasjoner og St Olavsplass (tabellene 5.2 og 5.3] i årene 1959/63 (2-10 uke) og 1970 (januar, februar, mars) indikerer at forholdet mellom Briskeby og St Olavsplass (69%) avviker lite fra det midlere forholdet mellom Hegdehaugen - St Olavsplass (73%) og at prosenten ligger godt innenfor variasjonsbredden i årene 1959/63 (60% til 82%). Det midlere forhold mellom Grefsen og St Olavsplass i 1970 (38%) er 9% høyere enn i årene 1959/63. Dette kan delvis bero på at målepunktet Grefsen i 1970 ligger 50 meter lavere enn i årene 1959/63. Dessuten kan den forskjellige beliggenhet i forhold til industriområdet langs Akerselva ha betydning.



| Stasjonspar                          | 1959 | 1960 | 1961 | 1962 | 1963 | Middel % |
|--------------------------------------|------|------|------|------|------|----------|
| Hegdehaugen/<br>St. Olavs plass      | 82%  | 72%  | 69%  | 60%  | 81%  | 73       |
| Grefsen, 200 moh/<br>St. Olavs plass | 33%  | 24%  | 31%  | 27%  | 27%  | 29       |

Tabell 5.1 Forholdene mellom SO<sub>2</sub>-konsentrasjonene på St. Olavs plass og de øvrige stasjonene i % i årene 1959/63 fra 2 til 10 uke.

| Stasjonspar                          | Januar | Februar | Mars | Middel % |
|--------------------------------------|--------|---------|------|----------|
| Briskeby/<br>St. Olavs plass         | 66%    |         | 72%  | 69       |
| Grefsen, 150 moh/<br>St. Olavs plass | 37%    | 39%     |      | 38       |

Tabell 5.2 Forholdene mellom månedsmiddelverdien av SO<sub>2</sub>-konsentrasjonen på St. Olavs plass og øvrige stasjoner i 1970, gitt i %.

På Briskeby ble det ikke målt støv, mens det foreligger støvmålinger fra Grefsen i månedene desember, januar og februar 1970. Midlere målt støvmengde fra disse månedene var 36 µg/m<sup>3</sup>. Midlere støvmengde for vinterhalvårene 1958/59 til 1964/65 var 32 µg/m<sup>3</sup> på Grefsen brannstasjon. Den høyere verdien i 1969/70 kan dels bero på at det bare ble målt tre måneder midtvinters og dels den ovenfor nevnte høydeforskjell.—Ser en SO<sub>2</sub>- og støvforurensningene i Oslo i sammenheng, så kan den beskjedne endring av støvforurensningene fra 1965 til 1970 i forhold til endringen av SO<sub>2</sub>-forurensningen tyde på at den reduserte støvforurensning ved boligoppvarming nær innpå oppveies av økte forurensninger fra industri, avfallsforbrenning etc. De månedsvise middelverdier for årene 1958/64 for støv varierte forholdsvis langt mindre enn for SO<sub>2</sub>, samtidig som variasjonsbredden for støv var mer konstant enn for SO<sub>2</sub> (figurene 5.4 og 5.5). Dette tyder på at også i disse årene skyldtes støvforurensningene for en stor del industri og søppelforbrenning, idet boligoppvarmingen har en langt større årlig variasjon.

### 5.3 En sammenligning av månedsmidlene i fyringssesongene 1968/69 og 1969/70

I del 2 er det etablert en god sammenheng mellom døgnverdier av  $SO_2$  og representative døgnverdier for temperatur og stabilitet i Oslo om vinteren. Dette kapittel bygger på den antakelse at denne relasjon også gjelder for månedsmiddelverdier.

I tabell 5.3 er det foretatt sammenligninger av  $SO_2$ -månedsmidlene for de stasjoner som var i drift i begge fyringssesongene 1968/69 og 1969/70. Variasjonene er sett i relasjon til de midlere månedstemperaturene på Blindern og til de midlere temperaturdifferanser mellom Blindern og Fornebu og mellom Tryvann og Blindern (estimat for midlere stabilitet). De midlere  $SO_2$ -konsentrasjoner øker med avtagende middeltemperatur (et uttrykk for fyringsintensiteten) og øker med stabiliteten.

Briskeby viser for januar en bedring av forurensnings-situasjonen fra 1969 til 1970, idet januar 1970 har en lavere midlere  $SO_2$ -konsentrasjon enn i 1969, selv om middeltemperaturen er lavest i 1970, og det også var mest stabile forhold i 1970. Mars måneden viser dog ingen markert bedring vurdert ut fra de meteorologiske forhold.

Dataene for Sjursøya i desember indikerer en bedring av forurensningsforholdene fra 1968 til 1969 når  $SO_2$ -verdiene sees i relasjon til de midlere stabiliteter mellom Blindern og Fornebu. De andre månedene viser ingen markert forskjell. Den høye  $SO_2$ -verdien på Sjursøya i mars 1969 relativt til mars 1970 kan bero på forskjellen i midlere stabilitet. Det omvendte forhold gjør seg gjeldende fra februar månedene, men sammenhengen med middeltemperaturen på Blindern er her tydeligere.

Dataene for Økern indikerer en svak forverring i månedene november og mars, sett i relasjon til både middeltemperatur og stabiliteter. De andre månedene viser ingen markert endring.

Denne undersøkelse indikerer altså en bedring av forurensings-situasjonen fra vinteren 1968/69 til 1969/70 for Briskeby og Sjursøya, og en forverring for Økern. Sammenligning av februar og mars i de to årene, med Oslofjorden islagt i 1970, antyder ikke noen dominerende innvirkning på foruren-sningsnivået på grunn av endrete luftutvekslingsforhold for-årsaket av fjordisen.

| Måned  | Stasjoner                   |                             |                          | Tempera-<br>turer<br>Blindern | Tempera-<br>turdiff.<br>Bl/Fbu | Tempera-<br>turdiff.<br>Tryv/Bl |
|--------|-----------------------------|-----------------------------|--------------------------|-------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|
|        | Briskeby<br>SO <sub>2</sub> | Sjursøya<br>SO <sub>2</sub> | Økern<br>SO <sub>2</sub> |                               |                                |                                 |
| Nov-68 |                             |                             | 0.078                    | -2.1                          | +0.4                           | -1.3                            |
| Nov-69 |                             |                             | 0.083                    | -1.5                          | +0.2                           | -1.8                            |
| Des-68 |                             | 0.109                       | 0.082                    | -4.3                          | -0.1                           | -0.4                            |
| Des-69 |                             | 0.063                       | 0.098                    | -4.5                          | +0.5                           | -1.6                            |
| Jan-69 | 0.140                       | 0.050                       | 0.059                    | -3.1                          | -0.2                           | -2.6                            |
| Jan-70 | 0.129                       | 0.062                       | 0.079                    | -7.5                          | +0.6                           | -1.6                            |
| Feb-69 |                             | 0.047                       |                          | -7.5                          | +0.3                           | -2.6                            |
| Feb-70 |                             | 0.105                       |                          | -10.8                         | +1.6                           | -0.4                            |
| Mar-69 | 0.152                       | 0.098                       | 0.055                    | -3.2                          | +1.1                           | -1.1                            |
| Mar-70 | 0.108                       | 0.044                       | 0.061                    | -1.4                          | +0.4                           | -2.5                            |

Tabell 5.3 Sammenligninger av månedsmiddelverdier (mg/m<sup>3</sup>) for SO<sub>2</sub> i relasjon til midlene av temperatur og stabilitet

6 PERIODER MED HØYEST FORURENSNING

6.1 Oversikt

Siste vinter var det i alt 9 perioder hvor det på St Olavsplass ble målt høyere døgnlig middelkonsentrasjon, enn grenseverdien  $0.28 \text{ mg SO}_2/\text{m}^3$ . Disse perioder er definert som forurensningsperioder (mer enn 1 døgns varighet).

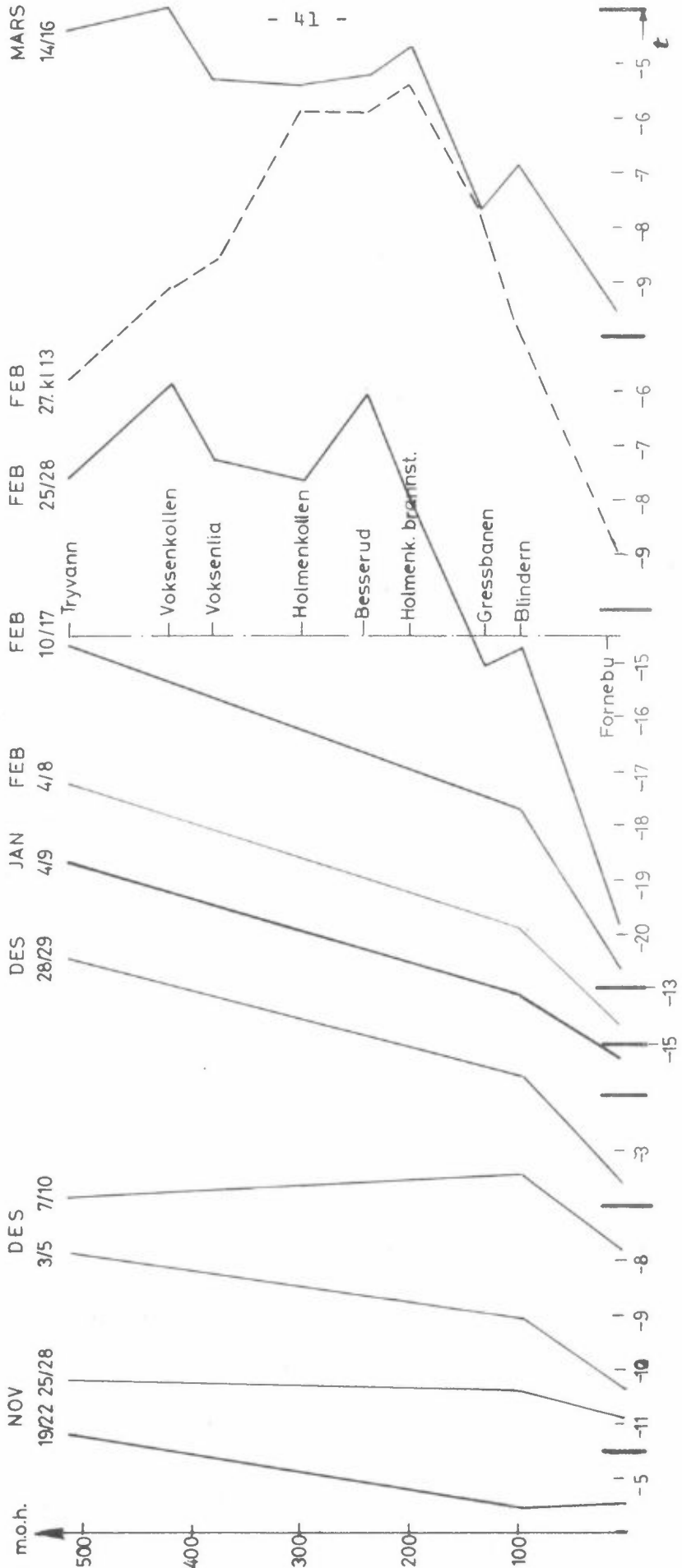
| Periode        | Middelverdier $\text{mg}/\text{m}^3$<br>på St Olavsplass |       | Max $\frac{1}{2}$ times<br>$\text{SO}_2$ -verdi,<br>St Olavspl.<br>$\text{mg}/\text{m}^3$ | Midlere<br>stabilitet kl 0700 |                      | Midl<br>temp<br>Blind-<br>ern |
|----------------|--|-------|---|-------------------------------|----------------------|-------------------------------|
|                | $\text{SO}_2$  | Støv  |   | Blindern/<br>Fornebu          | Tryvann/<br>Blindern |                               |
| 19-22 november | 0.373  | 0.184 | 0.89  | -0.06                         | +0.3                 | -4.6                          |
| 25-28 "        | 0.361  | 0.137 | 0.86  | +0.6                          | 0.0                  | -9.5                          |
| 3- 5 desember  | 0.415  | 0.192 | 0.94  | +1.6                          | +0.3                 | -8.1                          |
| 7-10 "         | 0.404  | 0.193 | 1.16  | +1.7                          | -0.1                 | -5.3                          |
| 28-29 "        | 0.312  | 0.104 | 0.58  | +2.3                          | +0.5                 | -1.0                          |
| 4- 9 januar    | 0.348  | 0.126 | 0.86  | +1.4                          | +0.6                 | -13.3                         |
| 4- 8 februar   | 0.321  | 0.147 | 0.97  | +2.1                          | +0.7                 | -10.3                         |
| 10-17 "        | 0.333  | 0.137 | 0.94  | +3.4                          | +0.7                 | -15.2                         |
| 25-28 "        | 0.363  | 0.195 | 1.32  | +6.0                          | +0.8                 | -10.1                         |
| 14-16 mars     | 0.293  | 0.109 | 0.70  | +3.2                          | +0.6                 | -0.4                          |

Tabell 6.1 Forurensningsperioder vinteren  
1969/70

I tabell 6.1 er periodene ført opp med middelverdier for  $\text{SO}_2$  og støv (av døgnmidlene), største halvtimes-verdier på St Olavsplass, midlere temperaturgradienter kl 0700 mellom Blindern-Fornebu og Tryvann-Blindern, og endelig middeltemperaturen på Blindern. Temperaturgradientene mellom Blindern-Fornebu og Tryvann-Blindern er definert som temperaturforskjellen mellom stasjonene pr 100 meter høydeforskjell. I figur 6.1 er disse midlere temperaturgradientene fremstillet for alle periodene. I de tre siste kurvene er det også brukt data fra 6 termografstasjoner som ble opprettet i februar 1970 i Holmenkollåsen (se kap 3.4).

— Midlere temperaturrendring med høyden  
 { kl 0700 under perioder med sterk  
 forurensning i 1969/70

- - - - - Temperaturrens endring med høyden 27.2



Figur 6.1

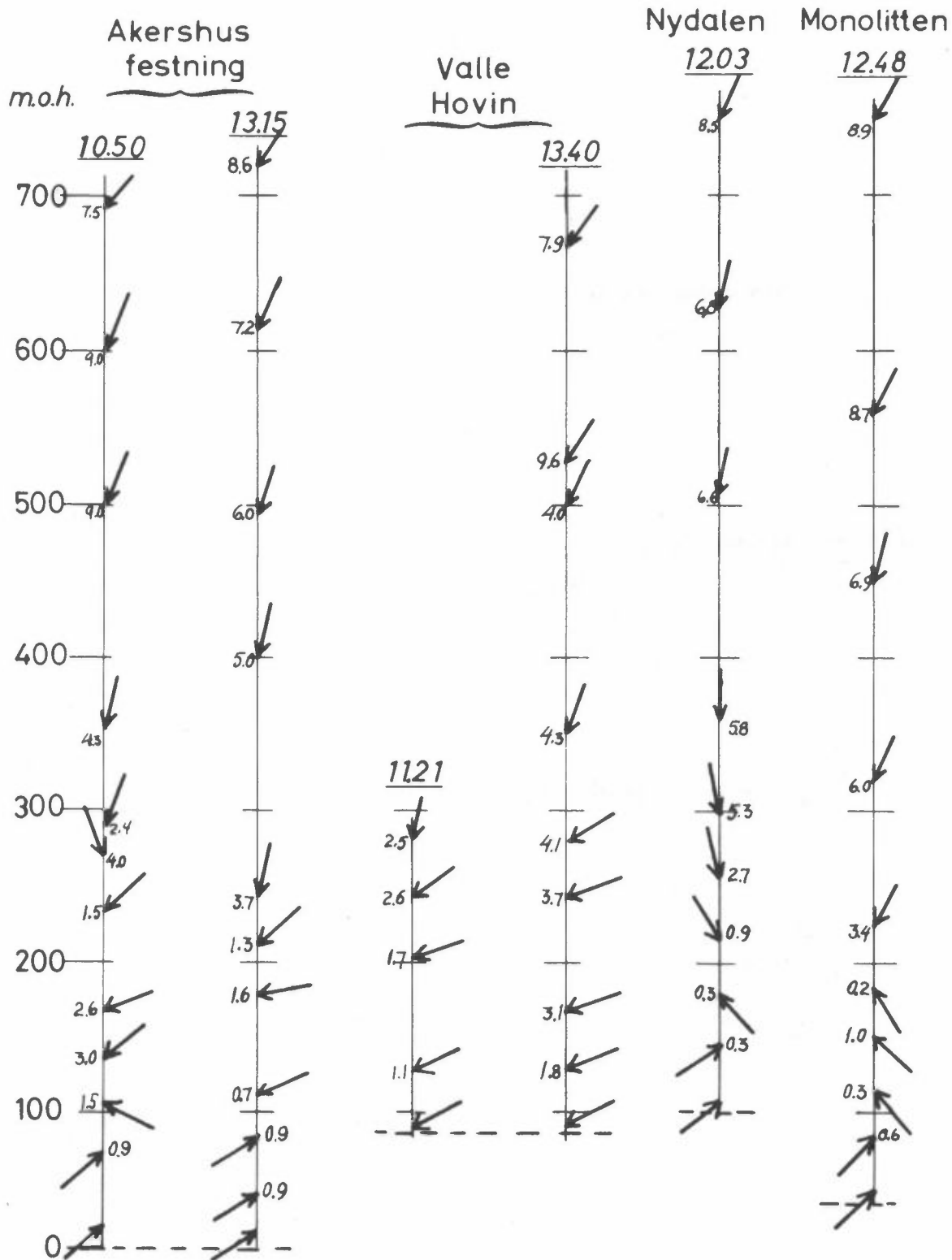
Kurven for 27.2. kl 1300 beskriver stabilitetsforholdene ved det tidspunkt da de sterkeste forurensninger for hele vinteren ble målt. De meteorologiske forhold denne dagen er nærmere beskrevet nedenfor på grunnlag av en rekke tilleggsmålinger. En spredningsmodell er brukt til å studere forurensningsutviklingen denne dagen. (Se Del 4 ).

Stabilitetskurvene fra 25-28 februar og 27 februar kl 1300 viser at Meteorologisk institutts temperaturmålinger på Fornebu, Blindern og Tryvann ofte ikke gir et representativt bilde av stabilitetsforholdene over Oslo. Av tabell 6.1 ser en at det heller ikke er en entydig sammenheng mellom stabilitetene mellom Blindern/Fornebu og Tryvann/Blindern.

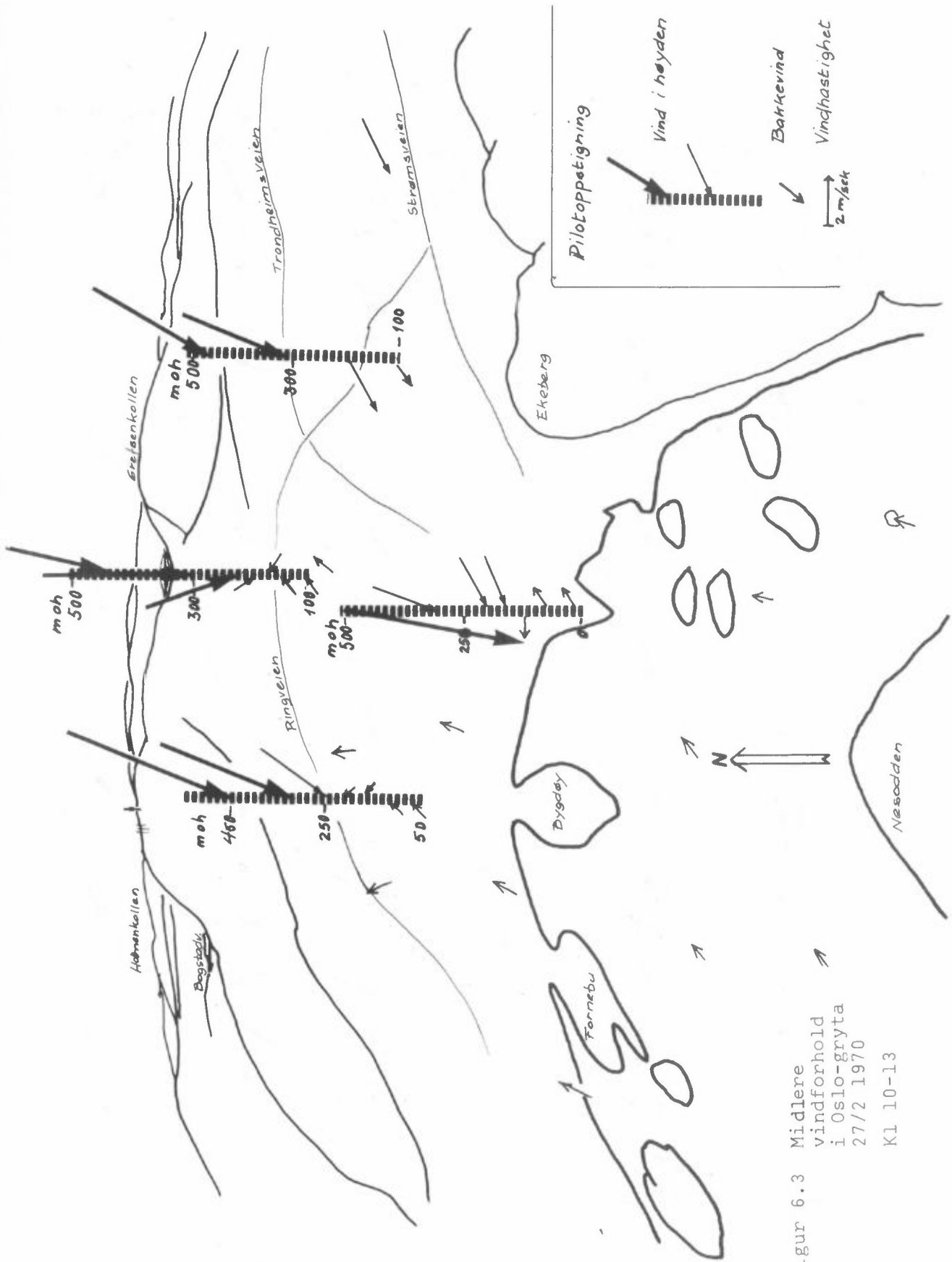
De midlere SO<sub>2</sub>- og støvkonsentrasjoner varierer stort sett i takt med stabilitet og temperatur sett i sammenheng. Men enkelte perioder som eksempelvis 19-22 november, hvor stabiliteten er liten og middeltemperaturen ikke er særlig lav, og 28-29 desember, hvor middeltemperaturen er relativt høy, viser at andre værparametre også har betydning for forurensningsnivået i en periode. En studie av relasjonen mellom forurensningsperioder og de storstilte værforhold (synoptiske situasjoner), tyder på karakteristiske forskjeller i forurensningsnivået under forskjellige synoptiske situasjoner. Dette viser også tidligere studier av lignende art, (3) og (4). Værsituasjonens betydning vil senere bli forsøkt nærmere belyst med basis i data fra 1969/70 og 1970/71.

## 6.2 Beskrivelse av de meteorologiske forhold 27 februar 1970

27/2 om dagen (ca kl 1100) nådde forurensningen sin høyeste halvtimesverdi for vinteren (1.32 mg SO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>). I denne situasjonen ble det gjennomført et utvidet måleprogram i Oslo. Forurensningståken ble fotografert fra fly og fra høydene omkring Oslo. Fra fire posisjoner (Akershus festning, Valle Hovin, Nydalen, Monolitten (i Vigelandsparken) ble den vertikale vindvariasjon observert ved hjelp av pilotballonger.



Figur 6.2 Vindmålinger med ballong 4 steder i Oslo 27.2 1970.



Figur 6.3 Midlere vindforhold i Oslo-gryta 27/2 1970 K1 10-13



Den midlere stabilitetskurven for hele perioden 25-28 februar (figur 6.1) indikerer at temperaturinversjonen nådde opp til ca 230 moh. Inversjonshøyden for 27 februar kl 1300 var ca 200 meter .

Den kontinuerlige vindregistreringen i forurensningsperioden 25-28 januar viser en regulær døgnlig gang med vind ned alle daler om natten fra ca kl 1600 til ca kl 1000 om dagen. I Bunnefjorden går dreneringsvinden mot nord. Midt på dagen snudde vinden på grunn av soloppvarmingen, og det blåste svakt inn over byen og opp dalene.

Ballongoppstigningene for 27/2 om dagen (figur 6.2) viser sørvestlig svak vind inn over bykjernen (Akershus festning) opp til ca 100 moh. Det samme viser observasjonene på Monolitten, mens observasjonene i Nydalen viser at sjiktet med sørvestlig vind her hevet seg til ca 160 moh (30 meter over bakken).

I Groruddalen blåste det nordøstlig vind helt til bakken (fig 6.3). Denne var dominerende helt til Tøyen-terskelen (se ballongmålingene på Valle Hovin), og antakelig også et stykke ned langs Loelva mot Loenga. Visuelle observasjoner viste at den tykke forurensningståken over bykjernen hadde i retning nordøst sin vertikale begrensning på høyde med Tøyen-terskelen. Østover fra Tøyen-terskelen var luften mer klar på grunn av forholdsvis sterk vind fra nordøst.

Opp til ca 115 meter over sentrum og 150-200 moh i nordlige og nordvestlige bydeler (Nydalen og Monolitten) er det sørlige vinder. Den siste høyden harmonerer også med inversjonshøyden målt langs Holmenkollåsen. Over 200 moh er det økende nordøstlig vind med høyden, som er sterkere enn geostrofvinden skulle tilsi. Denn forsterkning av vindfeltet henger antakelig sammen med et kraftig kaldluftutsig fra Østlandsdalene. I figur 6.3 er vinden på bakken og i høyden fremstillet i et fugleperspektiv av Oslo-bassenget.

Forurensningene hadde en markert øvre begrensning som mot Holmenkollside og Grefsenåsen var ca 200 moh. Over de øvrige deler av byen var det vanskelig å observere høyden, men vindmålingene og temperaturmålinger med fly antyder at sperresjiktets høyde over sentrum og mot øst var ca 150 moh.

Figur 5 i Del 4 viser at forurensningene i Oslo sentrum når sin topp ca kl 1100. Det ekstreme dagmaksimum skyldes sannsynligvis den svake luftstrømmen langs bakken inn i Oslo-gryta. Dette fører til akkumulering av forurensninger i Oslo. Foto og film viste en sterk dannelse av dis over Oslo som for en stor del skyldes forurensningene.

#### AVSLUTTENDE KOMMENTAR

Målinger vinteren 1969/70 viser at månedsmidlene for  $SO_2$  i Oslo sentrum var høyere enn den svenske normen ( $0.14 \text{ mg/m}^3$ ). I februar lå forurensningsnivået omkring den svenske normen i hele byområdet unntatt Briskeby (få data) og Ekeberg. På Bryn var forurensningsnivået over normen i desember.

Den svenske normen for  $SO_2$ -døgnmiddelverdien ble i februar på St Olavsplass overskredet nesten halve måneden og 11 dager tilsammen for de øvrige stasjonene. Overskridelser forekom hyppigst i de nordlige og østlige bydeler, mens Skøyen i vest hadde ingen overskridelser.

Målinger av  $SO_2$ -halvtimesverdier på St Olavsplass viser også at grenseverdien  $0.72 \text{ mg/m}^3$  kan være overskredet opp til det tredobbelte av den tiden den svenske normen tilsier

(8 timer pr måned). Imidlertid er overskridelsene tildels små og målefeil kan derfor påvirke resultatet.

Sammenligning av svertningsmålingene av svevestøv med det refererte forslag til svensk norm viser at forurensningsnivået siste vinter var for høyt i sentrum (St Olavs plass) i februar. Døgnverdier over  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (etter erfaringsdata fra USA ansett å være grense for akseptabel forurensning) kan forekomme over halvparten av tiden i sentrum og relativt hyppig også i andre deler av byen (februar).

Sammenligningen av siste vinters målinger med tilsvarende målinger av  $\text{SO}_2$  og støv i årene 1958/65 indikerer at luftforurensningsforholdene om vinteren i Oslo sannsynligvis har undergått en forbedring når det gjelder innholdet av  $\text{SO}_2$  i luften. Målingene av støv tyder på at ingen vesentlig endring av støvforurensningene har funnet sted i de siste 10 årene, under forutsetning av at svertningsmålingene gir et riktig bilde av utviklingen.

Med hensyn til meteorologiske forhold av særlig betydning så skiller ikke inversjonshyppigheten siste vinter seg vesentlig fra perioden 1963/68, mens middeltemperaturen for vinteren 1969/70 var lavere enn for vintrene 1958/65. Det inntraff dog det uvanlige at hele Oslofjorden var islagt fra månedsskiftet januar-februar. Dette kan ha forårsaket spesielle utluftningsforhold under inversjonssituasjoner denne vinteren, men synes ikke å ha hatt noen særlig innvirkning på middelverdiene.

Litteratur

- (1) Lindberg, W - Den alminnelige luftforurensning i Norge, Røykskaderådet (1968)
- (2) Stern, A C - Air Pollution, III, (1968) Academic Press, New York, London.
- (3) Sivertsen, B - En meteorologisk undersøkelse av luftforurensningen i Oslo vinteren 1967-68, Institutt for Geofysikk, Universitetet i Oslo, september (1969)
- (4) Tandberg, M - Occurrence and Forecasting of Local Mist, Fog and Low Stratus at Oslo Airport (Fornebu) and in the Oslo Area, Meteorologiske Annaler, Bd 4, No 11 (1958)
- (5) OECD - Methods of measuring air pollution, OECD (1964)
- (6) Akademiet for de Tekniske Videnskaper - Rapport om luftforurensningsmålinger 1965-67 i København, Aalborg-Nørresundby, Odense, Vejle og Maribo, Røgutvalget 62.
- (7) Persson, Gøsta - Automatic colorimetric determination of low concentrations of sulphate for measuring sulphur dioxide in ambient air, Air and Water Poll. Int J Pergamon Press (1966) vol 10.
- (8) Statens Luftvårdsnämnd - Rekommendationer rörande riktvärden för svaveldioxidhalt i utomhusluft. Meddelande 6601, Stockholm 1967.
- (9) US Department of Health, Education and Welfare. - Effects of Air Pollution, Air Pollution Center, Washington D.C. December 1966.

DEL 2

LUFTFORURENSNINGEN I OSLO  
En statistisk bearbeidelse

Odd F Skogvold



|     | <u>INNHALDSFORTEGNELSE</u>  | Side |
|-----|---|------|
| 1   | <u>INNLEDNING</u> .....   | " 2  |
| 2   | <u>BESKRIVELSE AV KORRELASJONSPROGRAMMET</u> .....                | " 3  |
| 3   | <u>KORRELASJONSANALYSE UTFØRT PÅ DATA FRA HYGIENISK INSTITUTT</u> | " 5  |
| 4   | <u>RESULTATER</u> .....   | " 7  |
| 4.1 | Første korrelasjonsanalyse .....                                  | " 7  |
| 4.2 | Andre korrelasjonsanalyse .....                                   | " 11 |
| 4.3 | Tredje korrelasjonsanalyse .....                                  | " 14 |
| 5   | <u>KORRELASJONSANALYSE UTFØRT PÅ DATA FRA VINTEREN 1969/70</u> .. | " 17 |
| 5.1 | Resultater .....  | " 17 |
| 6   | <u>SAMMENLIGNING AV DATAENE</u> .....                             | " 20 |
| 7   | <u>SAMMENFATNING</u> .....  | " 21 |

1 INNLEDNING

Dr Walter Lindberg ved Hygienisk Institutt, Oslo, fant at luftforurensningen i Oslo var betydelig høyere om vinteren enn om sommeren. Han mente at dette skyldtes de meteorologiske og topografiske forhold. Ut fra dette har formålet med denne undersøkelsen vært følgende:

- 1) å forsøke å finne en enkel sammenheng mellom meteorologiske parametre og  $SO_2$ -konsentrasjonen på forskjellige steder i Oslo.
- 2) å finne ut hvordan  $SO_2$ -konsentrasjonen varierer fra sted til sted og likeledes hvor godt de forskjellige stasjonene går i takt.
- 3) å finne et utsagn, ut fra korrelasjonsanalysen, om hvor pålitelige dataene må regnes å være.
- 4) ved å nytte gamle og nye data, å finne om  $SO_2$ -forurensningen har endret seg, og i tilfelle i hvilken retning.

Dataene som er nyttet fra den første periode, er hentet fra dr Lindberg's målinger. Disse er sammenlignet med målinger foretatt vinteren 1969/70. For å gjøre dette, har vi benyttet et avansert korrelasjonsprogram utarbeidet av forsker Jack Nordø. Den elektroniske regnemaskin som er brukt er Facit EDB 3 ved Det norske meteorologiske institutt i Oslo.



2 BESKRIVELSE AV KORRELASJONSPROGRAMMET

Metoden går ut på følgende:

En avhengig variabel, prediktor (x<sub>0</sub>), beskrives ved hjelp av en rekke uavhengig variable, prediktorer (x<sub>i</sub>), hvor 1 ≤ i ≤ n .

Først dannes de statistiske hjelpestørrelser; middel, standardavvik og samtlige korrelasjonskoeffisienter.

Definisjoner:

Middelverdi: 
$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{i=n} x_i$$

De mest brukte mål for spredningen er standard avvik (S) og varians, definert ved

$$S^2 = \text{varians (x)} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{i=n} (x_i - \bar{x})^2$$

Standard avvik er et mål for spredningen av dataene omkring middelverdien. Ved den mest vanlige fordeling av data, normal fordeling, vil 2/3 av dataene være innenfor ± ett standard avvik fra midlet og ca 95% innenfor ± to standard avvik fra midlet .

Korrelasjonskoeffisient: 
$$r_{x,y} = \frac{\sum(x-\bar{x})(y-\bar{y})}{\sqrt{\sum(x-\bar{x})^2 \sum(y-\bar{y})^2}}$$

Korrelasjonskoeffisienten gir et uttrykk for samvariasjonen mellom to kvantitative variable (x og y). Den kan variere mellom -1 og +1. Hvis r<sub>x,y</sub> = 1 vil de variable gå helt i takt.

Disse størrelser listes alltid ut, da de kan være av stor interesse ved en senere vurdering av de oppnådde resultater. Dessuten gir størrelsene en del verdifulle opplysninger av klimatisk interesse.

Neste skritt er så å plukke ut de variable som gir maksimal informasjon om  $x_0$ , det vil si at vi plukker ut de fem variable som er høyest korrelert med  $x_0$ . Nummeret for disse optimale størrelser trykkes ut, likeså de tilhørende verdier for vektallet  $b_{oi}$  i relasjonen

$$x_0 - \bar{x}_0 = b_{oi} (x_i - \bar{x}_i) + e \quad (1)$$

hvor  $e$  er residuet eller den del av  $x_0$  som ikke kan forklares. Vi har følgende relasjon for de data vi har utledet (1) av:

$$\text{var } e = \text{var } x_0 (1 - r_{oi}^2) \quad (2)$$

Hittil har programmet bare utført konvensjonelt arbeide. Men neste arbeidsinstruks er å finne de variable  $x_i$  og  $x_j$  som gir det beste utsagn for  $x_0$ . Det vil her si at vi undersøker alle mulige kombinasjoner av to variable og plukker ut de fem settene som gir maksimal  $R_{o.ij}^2$ , hvor  $R_{o.ij}$  er den multiple korrelasjonskoeffisient.

Deretter plukker programmet ut de 5 beste sett av alle mulige kombinasjoner av 3 prediktorer. Til slutt plukkes ut de 5 beste sett av alle mulige kombinasjoner av 4 prediktorer.

Som variable kan vi enten nytte observasjonene i sin opprinnelige form, eller vi kan, ved hjelp av tilleggsprogram, transformere våre variable.  $x$  kan for eksempel overføres til  $\log x$  eller til  $(x)^{-\frac{1}{2}}$ . Vi kan også få dannet alle

produktledd av de variable. Derved vil maskinen også undersøke om ikke-linjære ledd er av betydning.  $dd$  (vindretning) og  $ff$  (vindstyrke) kan transformeres til  $u$  og  $v$ , hvor  $u$  og  $v$  er vektorkomponenter i et koordinatsystem som godt kan være skjevinklet.

### 3 KORRELASJONSANALYSE UTFØRT PÅ DATA FRA HYGIENISK INSTITUTT

De nevnte observasjonene av svoveldioksyd ( $SO_2$ ) er fra årene 1959-60-61-62 og 1963 og omfatter 2. til og med 10. uke fra 10 stasjoner jevnt fordelt over sentrale deler av Oslo. For stasjonsplassering se figur 1.

- Stasjonene er:
- 1) Kingosgt
  - 2) Bislet
  - 3) Hegdehaugen (politist)
  - 4) Solli plass (Lysverket)
  - 5) St Olavs plass (Helserådet)
  - 6) Heimdalsgt
  - 7) Grünerløkka (brannst)
  - 8) Sagene "
  - 9) Grefsen "
  - 10) Blindern (Universitetet)

$SO_2$ -verdiene, ( $x_0$ ), er korrelert med en rekke meteorologiske parametre. Analysen er blitt foretatt 3 ganger. Første gang med følgende parametre:

- |   |                                |           |
|---|--------------------------------|-----------|
| 1 | Temp kl 1300 ( $T_{13}$ )      | } Fornebu |
| 2 | Luftrykk kl 1300 ( $p_{13}$ )  |           |
| 3 | Temp kl 1900 ( $T_{19}$ )      |           |
| 4 | Maks temp ( $T_{max}$ )        |           |
| 5 | Vindretn kl 1900 ( $dd_{19}$ ) |           |
| 6 | Vindstyrke " ( $ff_{19}$ )     |           |
| 7 | Skydekke " ( $N_{19}$ )        |           |

|    |            |   |    |            |   |           |
|----|------------|---|----|------------|---|-----------|
| 8  | Dagnr      |   | 16 | $T_{13}$   |   |           |
| 9  | $T_{13}$   |   | 17 | $P_{13}$   |   |           |
| 10 | $P_{13}$   | } | 18 | $T_{19}$   | } |           |
| 11 | $T_{19}$   |   | 19 | $T_{\max}$ |   |           |
| 12 | $T_{\max}$ |   | 20 | $dd_{19}$  |   | } Tryvann |
| 13 | $dd_{19}$  |   | 21 | $ff_{19}$  |   |           |
| 14 | $ff_{19}$  |   | 22 | $N_{19}$   |   |           |
| 15 | $N_{19}$   |   |    |            |   |           |

Ved 2. gangs kjøring ble det, i tillegg til de fleste parametre ved 1. gangs kjøring, nyttet følgende:

|                           |   |         |
|---------------------------|---|---------|
| $\sin (dd_{19})$          | } | Fornebu |
| $\cos (dd_{19})$          |   |         |
| VV (synsvidde)            |   |         |
| $ff \cdot \sin (dd_{19})$ |   |         |
| $ff \cdot \cos (dd_{19})$ |   |         |
| $N_{19}^2$                |   |         |

|                           |   |          |                           |   |         |
|---------------------------|---|----------|---------------------------|---|---------|
| $\sin (dd_{19})$          | } | Blindern | $\sin (dd_{19})$          | } | Tryvann |
| $\cos (dd_{19})$          |   |          | $\cos (dd_{19})$          |   |         |
| VV                        |   |          | VV                        |   |         |
| $ff \cdot \sin (dd_{19})$ |   |          | $ff \cdot \sin (dd_{19})$ |   |         |
| $ff \cdot \cos (dd_{19})$ |   |          | $ff \cdot \cos (dd_{19})$ |   |         |
| $N_{19}^2$                |   |          | $N_{19}^2$                |   |         |

I alt 22 meteorologiske parametre og funksjoner av disse ble benyttet.

Ved 3. gangs kjøring ble hver enkelt stasjon korrelert med hver av de andre stasjonene.

#### 4 RESULTATER

##### 4.1 Første korrelasjonsanalyse

Figur 2 gir middelveidene av  $SO_2$  for 2. til og med 10. uke for årene 1959 til og med 1963 for samtlige 10 stasjoner. Som vi ser har st 5, St Olavs plass, de høyeste middelveidier og st 9, Grefsen brannstasjon, de laveste. Vi får en fordobling av middelveidene fra Grefsen til Sagene og nær en fordobling fra Sagene til St Olavs plass. St 6, Heimdalsgt, har relativt lav verdi til å ligge så nær sentrum. Grunnen til dette er vanskelig å si, men det er ting som tyder på at den lave verdien ved Heimdalsgt kan skyldes de meteorologiske og topografiske forhold. Dette skal vi komme tilbake til senere.

Figur 2 viser at vi har et sekundært maksimum mot NE ved Grünerløkka (7). Dette trekk ville vi vente å finne igjen i fig 3, som gir standard avvik for samtlige stasjoner, men dette er ikke tilfelle.

Figur 3 derimot, gir et sekundært maksimum mot NW ved Hegdehaugen. Altså til tross for at stasjon 7 har høyere middel enn stasjon 3, har den førstnevnte betraktelig lavere standard avvik. Dette tyder på at stasjonene på vestsiden av byen varierer mer og er antagelig mer influert av de meteorologiske forhold, enn på østsiden.

Som tidligere nevnt, vil korrelasjonsprogrammet plukke ut den parameter som er best korrelert med  $SO_2$ -verdiene. Deretter den nest beste osv.

I vårt tilfelle har programmet plukket ut temp kl 1300 på Fornebu ( $T_{13 Fb}$ ) som den beste for samtlige stasjoner, bortsett

fra st 8 (Sagene) og st 9 (Grefsen). For de to sistnevnte har programmet valgt vindstyrken kl 1900 på Blindern ( $T_{Bl}$ ). I alle tilfeller er korrelasjonen negativ, d v s at jo lavere temperaturen (eller til svakere vinden, st 8 og 9) er, dess høyere er  $SO_2$ -konsentrasjonen. Korrelasjonskoeffisientene varierer mellom 0,40 (Grefsen) og 0,58 (Solli plass), i middel 0,51.

At temperaturen er valgt, er noe en kunne vente, fordi fyringen øker med fallende temperatur, d v s at  $SO_2$ -emisjonen øker. Det er også rimelig at det er temperaturen kl 1300 som er valgt. For dersom  $T_{13}$  er lav, indikerer det at temperaturen har holdt seg lav hele døgnet og at en eventuell inversjon ikke er blitt brutt opp. At vindstyrken er valgt, er kanskje noe overraskende. Det forteller sannsynligvis noe om stasjonenes plassering (eksponering).

Når vi går videre i korrelasjonsanalysen, får vi frem et meget interessant trekk. Når programmet plukker ut kombinasjonen av de to beste prediktorer, viser det seg at korrelasjonen øker betraktelig og at samtlige stasjoner velger temp kl 1900 på Tryvann og temp kl 1900 på Blindern, altså ( $T_T$  og  $T_{Bl}$ )<sub>19</sub>. Se tabell I. For de høyere liggende stasjonene er vekt-tallene for temperaturen nær like (men positive for  $T_T$  og negative for  $T_{Bl}$ ), d v s at det er den vertikale temperaturfordelingen (statisk stabilitet; for dens del) som er den viktigste faktor. Etter hvert som vi kommer ned mot de sentrale delene av Oslo, endrer vekt-tallene seg, slik at vi må ta med et temperatur-ledd i tillegg for å få et godt utsagn for  $SO_2$ -konsentrasjonen.

Vekt-tallet for stabiliteten blir fordoblet fra Grefsen til sentrum, det samme gjør standard avvikene (fig 4). Vekt-tallet for temp.leddet derimot blir 10-doblet. (Fig 5)

Vi har i dette valgt Blindern og Tryvann som referansestasjoner, men fyringen vil avhenge av den lokale temperaturen som i visse områder kan være systematisk lavere, i andre systematisk høyere. Dette kan være en mulig forklaring på den tilsynelatende store variasjonen av vektallet for temp.-leddet. Kommende vinters måleprogram vil gi oss informasjon om de lokale temperaturforhold i Oslo-området.

Vi ser at programmet i de fleste tilfeller velger  $T_{13}$  på Fornebu. Denne gir et uttrykk for temperaturen i det laveste sjikt. Som tabell 1 viser, får vi ingen merkbar forbedring av korrelasjonskoeffisienten når vi går fra to til tre parametre. (Forbedringen er enda mindre når vi går fra tre til fire). De to sentrum-stasjonene velger skydekke kl 1900 på Blindern som 3. parameter, d v s til mindre skyer til mer forurensning. (Dette er et uttrykk for strålingsforholdene.)

Av det som er sagt ovenfor, kan vi trekke den konklusjon at vi får en meget bedre formel når vi bruker to parametere (altså at vi får et uttrykk for stabiliteten) enn om vi bare nytter en. Videre ser vi at vi vinner svært lite om vi øker antall parametre ut over to. Vi fant videre at for de høyereliggende stasjonene (st 8 og 9) var stabiliteten helt dominerende, mens for stasjonene i sentrum spilte temperaturen kl 1900 en viktig rolle. (Se figur 5). Forklaringen til det sistnevnte, håper vi å finne ved kommende vinters målinger.

Formelen vi kommer frem til er av denne form:

$$x_o = A \cdot (T_{Tr} - T_{Bl})_{19} - B \cdot T_{Bl.19} + C$$

Tabell 1

| Stasjon | 1 parameter               | R <sup>2</sup> | 2 parametre                             | R <sup>2</sup> | 3 parametre  | R <sup>2</sup> |
|---------|---------------------------|----------------|---|----------------|--|----------------|
| 1       | T <sub>13</sub> Fornebu   | 0,23           | T <sub>19</sub> Bl. T <sub>19</sub> Tr. | 0,66           | T <sub>13</sub> F.bu T <sub>19</sub> Bl. T <sub>19</sub> Tr. | 0,69           |
| 2       | T <sub>13</sub> F.bu      | 0,26           | T <sub>19</sub> Bl. T <sub>19</sub> Tr. | 0,69           | T <sub>13</sub> F.bu T <sub>19</sub> Bl. T <sub>19</sub> Tr. | 0,70           |
| 3       | T <sub>13</sub> F.bu      | 0,26           | T <sub>19</sub> Bl. T <sub>19</sub> Tr. | 0,71           | T <sub>13</sub> F.bu T <sub>19</sub> Bl. T <sub>19</sub> Tr. | 0,72           |
| 4       | T <sub>13</sub> F.bu      | 0,34           | T <sub>19</sub> Bl. T <sub>19</sub> Tr. | 0,72           | N <sub>19</sub> Bl. T <sub>19</sub> Bl. T <sub>19</sub> Tr.  | 0,72           |
| 5       | T <sub>13</sub> F.bu      | 0,28           | T <sub>19</sub> Bl. T <sub>19</sub> Tr. | 0,52           | N <sub>19</sub> Bl. T <sub>19</sub> Bl. T <sub>19</sub> Tr.  | 0,63           |
| 6       | T <sub>13</sub> F.bu      | 0,32           | T <sub>19</sub> Bl. T <sub>19</sub> Tr. | 0,58           | dd <sub>19</sub> Tr. T <sub>19</sub> Bl. T <sub>19</sub> Tr. | 0,59           |
| 7       | T <sub>13</sub> F.bu      | 0,32           | T <sub>19</sub> Bl. T <sub>19</sub> Tr. | 0,69           | T <sub>19</sub> F.bu T <sub>19</sub> Bl. T <sub>19</sub> Tr. | 0,70           |
| 8       | ff <sub>19</sub> Blindern | 0,22           | T <sub>19</sub> Bl. T <sub>19</sub> Tr. | 0,61           | T <sub>13</sub> F.bu T <sub>19</sub> Bl. T <sub>19</sub> Tr. | 0,64           |
| 9       | ff <sub>19</sub> Bl.      | 0,26           | T <sub>19</sub> Bl. T <sub>19</sub> Tr. | 0,64           | T <sub>13</sub> F.bu T <sub>19</sub> Bl. T <sub>19</sub> Tr. | 0,69           |
| 10      | T <sub>13</sub> F.bu      | 0,22           | T <sub>19</sub> Bl. T <sub>19</sub> Tr. | 0,64           | T <sub>13</sub> F.bu T <sub>19</sub> Bl. T <sub>19</sub> Tr. | 0,66           |

T betyr temperatur

ff " vindstyrke

dd " vindretning

N " skydekke

R<sup>2</sup> er kvadratet av korrelasjonskoeffisienten

Tallene etter symbolene betegner observasjonstiden og bokstavene etter er forkortelse for Fornebu, Blindern og Tryvann.



Forklaring:

$x_o$  er  $SO_2$ -konsentrasjonen  
A,B,C er konstanter  
 $T_{Tr.19}$  er temp kl 1900 på Tryvann  
 $T_{Bl.19}$  er temp kl 1900 på Blindern

Formelen ser slik ut for de forskjellige stasjonene:

- 1) Kingosgt:  $x_o = 55,42 (T_{Tr.} - T_{Bl.})_{19} - 1,89 T_{Bl.19} + 350,70$
- 2) Bislet:  $x_o = 65,13 (T_{Tr.} - T_{Bl.})_{19} - 4,69 T_{Bl.19} + 378,20$
- 3) Hegdehaugen:  $x_o = 71,65 (T_{Tr.} - T_{Bl.})_{19} - 5,19 T_{Bl.19} + 384,73$
- 4) Solli plass:  $x_o = 62,72 (T_{Tr.} - T_{Bl.})_{19} - 12,82 T_{Bl.19} + 355,58$
- 5) St Olavs plass:  $x_o = 61,53 (T_{Tr.} - T_{Bl.})_{19} - 11,63 T_{Bl.19} + 471,95$
- 6) Heimdalsgt:  $x_o = 30,81 (T_{Tr.} - T_{Bl.})_{19} - 8,04 T_{Bl.19} + 274,58$
- 7) Grünerløkka:  $x_o = 49,15 (T_{Tr.} - T_{Bl.})_{19} - 8,33 T_{Bl.19} + 209,41$
- 8) Sagene:  $x_o = 47,71 (T_{Tr.} - T_{Bl.})_{19} - 1,44 T_{Bl.19} + 314,00$
- 9) Grefsen:  $x_o = 30,96 (T_{Tr.} - T_{Bl.})_{19} - 1,04 T_{Bl.19} + 162,82$
- 10) Blindern:  $x_o = 50,33 (T_{Tr.} - T_{Bl.})_{19} - 1,73 T_{Bl.19} + 267,28$

Når temp. gis i  $^{\circ}C$  fås  $x_o$  ( $SO_2$ -konsentrasjonen) i antall  $\mu gr/m^3$ .

#### 4.2 Andre korrelasjonsanalysen

Denne analysen er en videreføring av den første og det nye er at der er innført ikke-lineære parametre, slik som

kvadratet av skydekket,  $N^2$ , som er en indikasjon på strålingen. Men hovedhensikten med denne del var i første rekke å studere vindens virkning på  $SO_2$ -konsentrasjonen. Vi har her innført sinus og cosinus til vindretning som nye parametre og dessuten har vi dannet produktene av henholdsvis sin og cos til retningen (dd), med den tilhørende styrke (ff). Vi får altså nye prediktorer som f eks  $\sin(dd)$ ,  $\cos(dd)$ ,  $ff \cdot \sin(dd)$  og  $ff \cdot \cos(dd)$ . Vi har med andre ord spaltet opp vinden i vektorkomponenter med en komponent i øst-vest retning og en i nord-syd retning. Dette er gjort for observasjonene for Fornebu, Blindern og Tryvann.

Det fremgår av tabell II at temp og stabilitet kommer inn med så stor styrke at vindens virkning blir helt undertrykt. Det er først i 3. parameter at vindkomponenten kommer inn, og da først i 3. beste kombinasjon.

Vi hadde håpet at vi fra analysen skulle kunne angi hvilke retning de forskjellige forurensningskildene lå i forhold til de respektive målestasjoner, men dette var ikke mulig. Grunnen kan være følgende: I perioder med forurensning av betydning er vinden sannsynligvis så svak (se del I) at vindmålerne enten ikke starter, eller at retningen på vindskriveren blir udefinerbar. (Det kan bemerkes at NILU til sine målinger nytter vindmålere med lavere starthastighet enn de som vanligvis nyttes). En annen grunn kan være at plasseringen av de tre nevnte målestasjonene (Blindern, Tryvann, Fornebu) ikke er særlig gunstig for vårt formål. Sammenligner vi tabell I og II, ser vi at programmet velger ut  $N^2$  før N, men forbedringen ved å bruke  $N^2$  i stedet for N er ubetydelig.

Tabell II

| Stasjon | 1 parameter  | R <sup>2</sup>       | 2 parametre  | R <sup>2</sup>       | 3 parametre  | R <sup>2</sup>          |
|---------|--|----------------------|--|----------------------|--|-------------------------|
| 1       | T <sub>13F</sub> .bu<br>ff <sub>19Bl</sub> .<br>VV <sub>Fv</sub> .bu | 0,23<br>0,22<br>0,18 | T <sub>19Tr</sub> , T <sub>19Bl</sub><br>T <sub>19Tr</sub> , T <sub>13F</sub> .bu<br>T <sub>19Tr</sub> , T <sub>maxF</sub> .bu | 0,66<br>0,55<br>0,55 | T <sub>19Tr</sub> , T <sub>19Bl</sub> , T <sub>13F</sub> .bu<br>T <sub>19Tr</sub> , T <sub>19Bl</sub> , T <sub>maxF</sub> .bu<br>T <sub>19Tr</sub> , T <sub>19Bl</sub> , sin <sub>dd</sub> .bl | 0,689<br>0,680<br>0,674 |
| 2       | T <sub>13F</sub> .bu<br>T <sub>19Bl</sub><br>T <sub>maxF</sub> .bu   | 0,34<br>0,34<br>0,30 | T <sub>19Tr</sub> , T <sub>19Bl</sub><br>T <sub>19Tr</sub> , T <sub>maxF</sub> .bu<br>T <sub>19Tr</sub> , T <sub>13F</sub> .bu | 0,72<br>0,51<br>0,50 | T <sub>19Tr</sub> , T <sub>19Bl</sub> , N <sub>2</sub><br>T <sub>19Tr</sub> , T <sub>19Bl</sub> , N <sub>1</sub><br>T <sub>19Tr</sub> , T <sub>19Bl</sub> , ff <sub>cos</sub> .dd              | 0,724<br>0,723<br>0,720 |
| 3       | T <sub>13F</sub> .bu<br>T <sub>19Bl</sub><br>T <sub>maxF</sub> .bu   | 0,28<br>0,26<br>0,26 | T <sub>19Tr</sub> , T <sub>19Bl</sub><br>T <sub>19Tr</sub> , T <sub>maxF</sub> .bu<br>T <sub>19Tr</sub> , T <sub>13F</sub> .bu | 0,62<br>0,5<br>0,2   | T <sub>19Tr</sub> , T <sub>19Bl</sub> , N <sub>2</sub><br>T <sub>19Tr</sub> , T <sub>19Bl</sub> , N <sub>1</sub><br>T <sub>19Tr</sub> , T <sub>19Bl</sub> , ff <sub>cos</sub> .dd              | 0,629<br>0,628<br>0,627 |
| 4       | T <sub>13F</sub> .bu<br>ff <sub>19Bl</sub> .bu<br>T <sub>19Bl</sub>  | 0,22<br>0,17<br>0,17 | T <sub>19Tr</sub> , T <sub>19Bl</sub><br>T <sub>19Tr</sub> , T <sub>13F</sub> .bu<br>T <sub>19Tr</sub> , T <sub>maxF</sub> .bu | 0,51<br>0,53<br>0,51 | T <sub>19Tr</sub> , T <sub>19Bl</sub> , T <sub>13F</sub> .bu<br>T <sub>19Tr</sub> , T <sub>19Bl</sub> , T <sub>maxF</sub> .bu<br>T <sub>19Tr</sub> , T <sub>19Bl</sub> , sin <sub>dd</sub> .bl | 0,62<br>0,619<br>0,61   |

Korrelasjon mellom stasjon 1 og 2

#### 4.3 Tredje korrelasjonsanalysen

Dette er korrelasjoner mellom stasjonene innbyrdes og resultatene er meget interessante (se tabell III). For det første ser vi (se også figurene 6 til 15) at stasjonene er meget godt interkorrelerte! Korrelasjonene er sjelden under 0,75 og enkelte er helt oppe i 0,97. Ser vi på korrelasjonene mellom f eks Blindern (st 10) og de andre (fig 15) ser vi at den er korrelert 0,90 eller mer, med det meste av den vestlige bydel. Det samme gjør seg gjeldende for Hegdehaugen (st 3), se fig 8, og Bislet (st 2), se fig 7. Det samme ser vi også for Kingosgt (st 1), men her er også et annet interessant trekk som gjør seg gjeldende. Vi ser nemlig at korrelasjonen faller raskt mot øst. Det samme gjør seg gjeldende på fig 11, hvor Heimdalsgt (st 6) er valgt som utgangspunkt. Dette indikerer at stasjonene på østsiden er influert av andre strømminger enn de på vestsiden. Dette synspunkt støttes av det som tidligere er sagt, under kommentarene til fig 2 og 3, likeledes av vindundersøkelser foretatt av forsker Joranger (del I).

St Olavs plass (st 5) er noe lavere korrelert med de andre enn en kunne vente (se fig 10). Dette kan skyldes at stasjonen er noe uheldig plassert eller at "støynivået" i denne delen av sentrum er høyere enn utenfor.

Grefsen (st 9) er også relativt lavt korrelert med de andre. Dette har sikkert den forklaring at stasjonen ligger så vidt høyt, at den i noen tilfeller ligger over inversjonen og i andre tilfeller ligger under.

Alle stasjonene er korrelert med 0,90 eller høyere med en nærliggende stasjon, bortsett fra Grefsen (st 9), som har høyeste korrelasjon på 0,82 (med Sagene).

Korrelasjoner mellom stasjonene

Tabell III

|               | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   |
|---------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1 Kingosgt    | 1    | 0.94 | 0.95 | 0.88 | 0.80 | 0.76 | 0.85 | 0.96 | 0.78 | 0.95 |
| 2 Bislet      | 0.94 | 1    | 0.96 | 0.93 | 0.85 | 0.82 | 0.96 | 0.89 | 0.73 | 0.94 |
| 3 Hegdehaugen | 0.95 | 0.96 | 1    | 0.93 | 0.86 | 0.81 | 0.88 | 0.91 | 0.77 | 0.97 |
| 4 Solli plass | 0.88 | 0.93 | 0.93 | 1    | 0.90 | 0.87 | 0.90 | 0.82 | 0.72 | 0.90 |
| 5 St Olavs pl | 0.80 | 0.85 | 0.86 | 0.90 | 1    | 0.86 | 0.87 | 0.76 | 0.63 | 0.82 |
| 6 Heimdalsgt  | 0.76 | 0.81 | 0.81 | 0.87 | 0.86 | 1    | 0.91 | 0.75 | 0.66 | 0.78 |
| 7 Grünerløkka | 0.85 | 0.86 | 0.88 | 0.90 | 0.87 | 0.91 | 1    | 0.84 | 0.77 | 0.83 |
| 8 Sagene      | 0.96 | 0.89 | 0.91 | 0.82 | 0.76 | 0.75 | 0.84 | 1    | 0.82 | 0.92 |
| 9 Grefsen     | 0.78 | 0.73 | 0.77 | 0.72 | 0.63 | 0.66 | 0.77 | 0.82 | 1    | 0.74 |
| 10 Blindern   | 0.95 | 0.94 | 0.97 | 0.90 | 0.82 | 0.78 | 0.83 | 0.92 | 0.74 | 1    |

| Stasjon | 1 parameter | R <sup>2</sup> | 2 parametre             | R <sup>2</sup> | 3 parametre                          | R <sup>2</sup> |
|---------|-------------|----------------|-------------------------|----------------|--------------------------------------|----------------|
| 1       | stasjon 8   | 0.92           | stasjon 8<br>stasjon 3  | 0.96           | stasjon 8<br>stasjon 3<br>stasjon 2  | 0.96           |
| 2       | stasjon 3   | 0.92           | stasjon 1<br>stasjon 4  | 0.94           | stasjon 1<br>stasjon 4<br>stasjon 3  | 0.94           |
| 3       | stasjon 10  | 0.93           | stasjon 10<br>stasjon 4 | 0.96           | stasjon 10<br>stasjon 4<br>stasjon 1 | 0.96           |
| 4       | stasjon 2   | 0.87           | stasjon 2<br>stasjon 5  | 0.92           | stasjon 2<br>stasjon 5<br>stasjon 7  | 0.93           |
| 5       | stasjon 4   | 0.82           | stasjon 4<br>stasjon 6  | 0.91           | stasjon 4<br>stasjon 6<br>stasjon 7  | 0.84           |
| 6       | stasjon 7   | 0.82           | stasjon 7<br>stasjon 5  | 0.84           | stasjon 7<br>stasjon 1<br>stasjon 4  | 0.85           |
| 7       | stasjon 6   | 0.82           | stasjon 6<br>stasjon 3  | 0.88           | stasjon 6<br>stasjon 3<br>stasjon 9  | 0.90           |
| 8       | stasjon 1   | 0.92           | stasjon 1<br>stasjon 9  | 0.93           | stasjon 1<br>stasjon 9<br>stasjon 4  | 0.94           |
| 9       | stasjon 8   | 0.67           | stasjon 8<br>stasjon 7  | 0.69           | stasjon 8<br>stasjon 7<br>stasjon 5  | 0.70           |
| 10      | stasjon 3   | 0.93           | stasjon 3<br>stasjon 8  | 0.94           | stasjon 3<br>stasjon 8<br>stasjon 7  | 0.95           |

Tabell IV

Korrelasjonen mellom hver av stasjonene med henholdsvis en, to og tre andre stasjoner.

Ser vi på korrelasjonen mellom en stasjon og kombinasjonen av to andre, har vi i noen tilfeller en liten forbedring, i andre, ingen forbedring. Vi ser også at en stasjon velger som regel de to nærliggende stasjonene, og da helst en på hver side (tabell IV).

Når vi går til kombinasjon av 3 prediktorer, ser vi av samme tabell at forbedringen er meget liten eller helt uteblir.

## 5 KORRELASJONSANALYSE UTFØRT PÅ DATA FRA VINTEREN 1969/70

Fra denne perioden valgte vi å korrelere to stasjoner, nemlig St Olavs plass og Skøyen, med temperaturen kl 1900 på Blindern og temperaturdifferansen  $T_{Tr.} - T_{Bl.}$  (kl 1900). Vi valgte disse meteorologiske parametre ut fra den erfaring vi fant fra den forutgående analyse. Vi valgte tidsrommet desember - februar fordi våre formler var laget på data fra omtrent samme periode i årene 1959-63. Grunnen til at bare to stasjoner ble brukt, var at det var så vidt mange "huller" i dataene fra de andre stasjonene at de var vanskelig å bruke.

I januar var det få "huller" i dataene, slik at vi for denne måned har kunnet interkorrelere 5 stasjoner, nemlig Haakon VII'sgt, St Olavs plass, Skøyen, Briskeby og Grefsen.

### 5.1 Resultater

Ser vi på resultatene av disse to analysene må vi si at de er noe skuffende, Korrelasjonene er for lave i forhold til det vi kunne vente.

Ser vi på korrelasjonene mellom temperaturen kl 1900 og stasjonene Skøyen og St Olavs plass, er disse henholdsvis -0,37 og -0,52. Dette er lavere enn en kunne vente, men ikke så meget.

Korrelasjonen mellom ( $T_{Tr.} - T_{Bl.}$ )<sub>19</sub> og de samme stasjonene er henholdsvis 0,69 og 0,47. Her ville en vente mellom 0,75 og 0,80.

Den annen del av analysen som gjaldt korrelasjonene mellom stasjonene innbyrdes, er til dels meget lavere enn en kunne vente. Dette gjelder i første rekke korrelasjonen mellom Haakon VII'sgt og St Olavs plass (nær null). Korrelasjonene mellom stasjonene fremgår av tabell V.

Tabell V

|                | H.VIIgt | St Olav | Skøyen | Briskeby | Grefsen |
|----------------|---------|---------|--------|----------|---------|
| Haakon VII gt  | 1       | 0,03    | 0,30   | 0,43     | 0,32    |
| St Olavs plass | 0,03    | 1       | 0,56   | 0,51     | 0,56    |
| Skøyen         | 0,30    | 0,56    | 1      | 0,47     | 0,78    |
| Briskeby       | 0,43    | 0,51    | 0,47   | 1        | 0,30    |
| Grefsen        | 0,32    | 0,56    | 0,78   | 0,30     | 1       |

Sammenligner vi denne tabell med tabell III, fremgår den store forskjellen helt klart.

Grunnene til den markante forskjell i korrelasjoner fra dataene fra perioden 1959-63 til dataene fra sist vinter kan være flere.

For det første var siste vinter nokså forskjellig fra en "vanlig" vinter, fordi Oslofjorden var frosset fra månedskiftet jan-feb. Da to tredjedeler av dataene er fra tiden før fjorden frøs, er det lite rimelig at dette er årsaken. En mer nærliggende årsak er trolig å finne i feil i selve måledataene.

I jan/feb overtok NILU en del av stasjonene og overtok



etter hvert innsamlingen av samtlige prøver. Det kom for dagen at flere av apparatene fungerte dårlig, bl a ved at mekanismen for skifting fra flaske til flaske sviktet. Dessuten viste det seg at det ble brukt forskjellige analysemetoder, f eks ble noen analysert på "total surhet" og andre på sulfatinnholdet. Enkelte apparater gikk også uten filter, slik at både  $\text{SO}_2$  og  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ble absorbert i vaskeflasker.  $\text{H}_2\text{SO}_4$  blir, som kjent, ellers absorbert på filteret. Det viser seg også i praksis at det som regel er uheldig at det er ikke de samme som har ansvaret for innsamling av prøver og analysene av disse. Fra midten av mars overtok NILU ansvaret både for innsamlingen og analysen av prøvene.

For å se hvilken innflytelse dette hadde, korrelerte vi stasjonene Briskeby, Haakon VII'sgt og Økern for september 1970 innbyrdes og fikk følgende resultat:

Tabell VI

|              | Br.by | H.VII | Økern |
|--------------|-------|-------|-------|
| Briskeby     | 1     | 0,94  | 0,85  |
| Haakon VIIgt | 0,94  | 1     | 0,83  |
| Økern        | 0,85  | 0,83  | 1     |

Som vi ser av tabell VI har vi kommet opp i verdier vi skulle vente ut fra analysen foretatt på dataene fra 1959-63. Vi har også korrelert de samme stasjonene pluss St Olavs plass for juli og august.  $\text{SO}_2$ -verdiene for disse måneder var meget lave, og sannsynligvis helt nede i "støynivået". Denne analysen ble foretatt for, om mulig, å få kontroll av dataene og få et estimat for analysenøyaktigheten. Fremgangsmåten vil bli beskrevet i neste rapport.

### SAMMENLIGNING AV DATAENE

Hovedhensikten med Oslo-undersøkelsen 1969/70 har vært å prøve å få bragt på det rene om forurensningsnivået har endret seg siden perioden 1959-63, og i hvilken retning en eventuell endring har gått.

Som vi har sett, var ikke dataene av den kvalitet vi hadde håpet. Dataene egnet seg derfor ikke særlig godt for sammenligning på døgnbasis.

Vi har i fig 16 nyttet formlene for St Olavs plass. Dette er den eneste stasjon som idag har samme plassering som i 1959-63. Men også på dette sted har det skjedd store endringer lokalt, ved at bl. a. Helserådet's gamle hus er revet og et nytt er bygget.

I fig 17 har vi nyttet formelen for Hegdehaugen (1959-63) på stasjonen på Briskeby (1969/70). Disse stedene er så nære hverandre at de skulle være sammenlignbare.

I begge figurene er sammenhørende verdier for observerte og beregnede verdier markert med prikker for perioden 1959-63. De tilsvarende verdier for vinteren 1969/70 er markert med kryss.

Det går frem av figurene 16 og 17 at de observerte verdiene ligger betydelig under de verdier vi har beregnet ut fra de tidligere funne formler. Dette gjelder for samtlige punkter.

Grunnen til dette kan være:

- 1) Systematiske feil i det ene sett av data.
- 2) De meteorologiske forhold for vinteren 1969/70 er vesentlig forskjellige fra perioden 1959-63, slik at de funne formler ikke kan nyttes. Dette er dog lite sannsynlig.
- 3) Forurensningssituasjonen har bedret seg siden første måleperiode.

Vi tror at punkt 3 er den vesentligste grunnen. Dette støttes delvis også av det som er funnet i del 3 ang svovelutslippet i Oslo.

Vi håper å bringe klarhet i dette ut fra målinger som vil bli foretatt i løpet av vinteren 1970/71.

#### SAMMENFATNING

I innledningen ga vi i fire punkter, formålet med undersøkelsen i denne del av rapporten.

#### Punkt 1 (perioden 1959-63)

Vi mener å ha funnet en enkel sammenheng mellom meteorologiske parametre og SO<sub>2</sub>-konsentrasjonen, uttrykt ved formelen

$$x_o = A \cdot (T_{Tr.} - T_{Bl. 19}) - B \cdot T_{Bl. 19} + C \quad (\text{Se avsnitt 4.1 og 4.2})$$

Vi fant at med 1 parameter var temperaturen kl 1300 på Fornebu den beste prediktor for de aller fleste stasjonene (tabell I).

For 2 parametre var temperaturdifferansen kl 1900 mellom Tryvann og Blindern den beste prediktor (tabell I).

For 3 parametre var en kombinasjon av disse det beste (tabell I).

#### Punkt 2 (perioden 1959-63)

SO<sub>2</sub>-konsentrasjonen synes i middel å avta jevnt fra sentrum og utover til Grefsen. St Olavs plass har høyeste middel, omtrent dobbelt så høyt som Sagene. Sagene har omtrent dobbelt så høyt middel som Grefsen (se figur 2).

Vi fant videre at stasjonene gikk meget godt i takt. Alle stasjonene, bortsett fra Grefsen, var korrelert med nærliggende stasjon med 0,90 eller mer (høyeste 0,97). Dette er nærmere omtalt i avsnitt 4.2. (Se også tabell III og figurene 6 til 15).

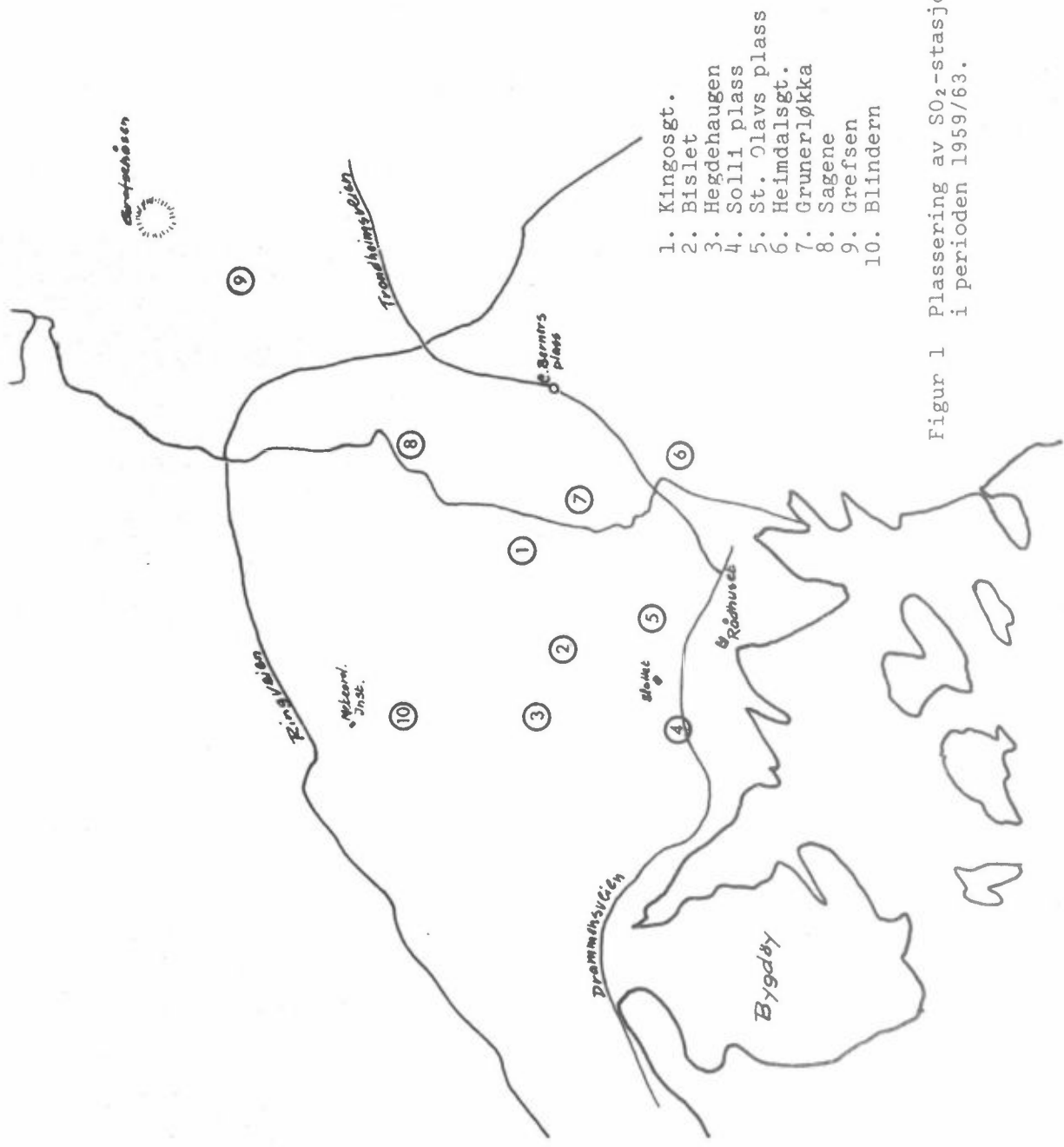
Et viktig resultat som synes å gå fram av korrelasjonsanalysen er at korrelasjonene forteller en del om hvilke strømminger som påvirker de forskjellige områder av byen. Dette er særlig tydelig i forskjellen i korrelasjonene mellom stasjonene på vest- og øst-siden av byen (se figurene 6 til 15).

#### Punkt 3 (Vesentlig perioden 1959-63)

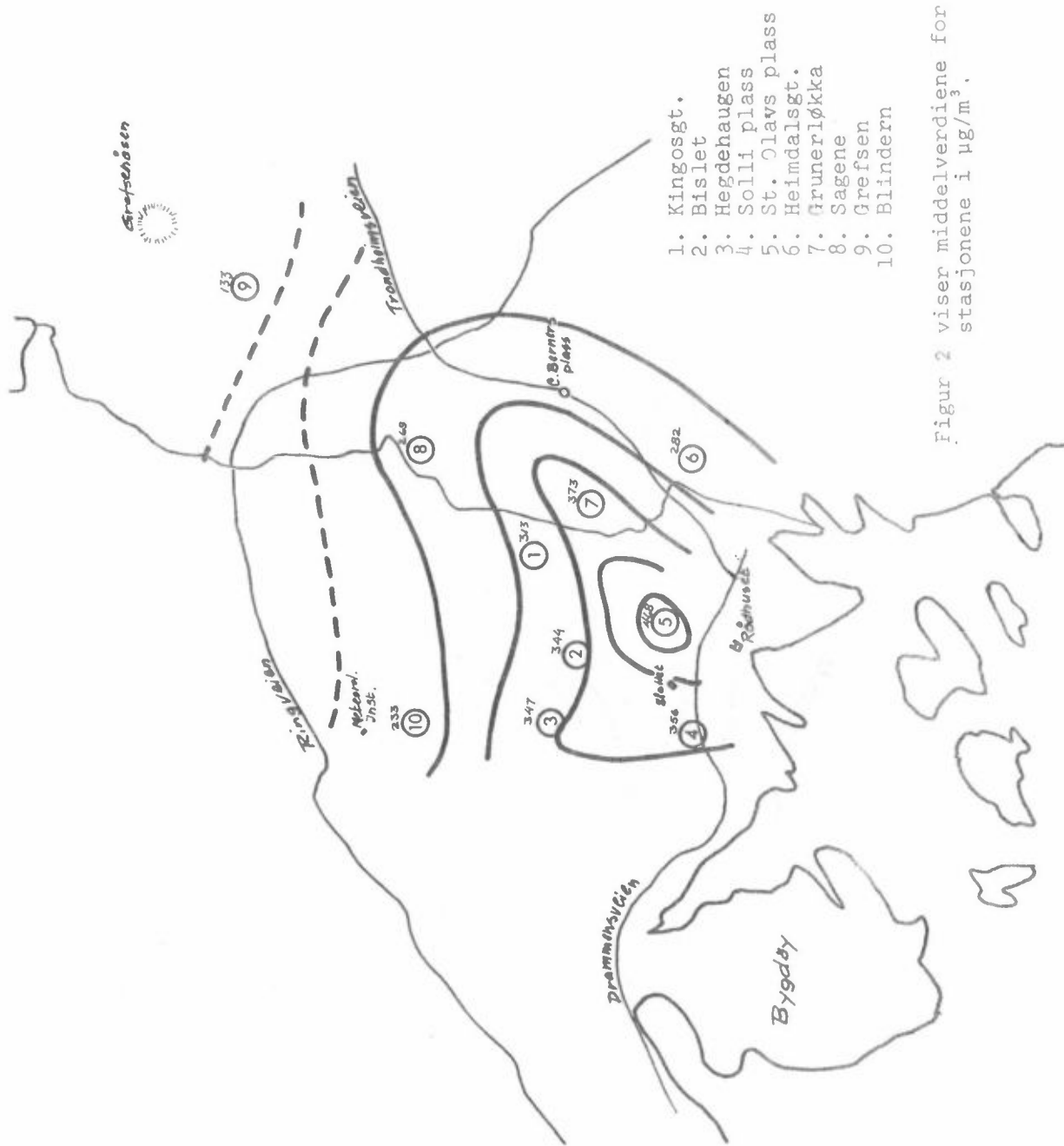
De høye korrelasjonene som nevnt under punkt 2, indikerer en god del om påliteligheten av dataene. Det er også gjort videre undersøkelser over dette og hvor vi også har forsøkt å få et estimat for analysenøyaktigheten (se 5.1). Dette vil bli nærmere vurdert i neste rapport.

Punkt 4 (perioden 1959-63 og 1969/70)

Ved å sammenligne dataene fra perioden 1959-63 med vinteren 1969/70, mener vi å ha funnet en god indikasjon på at forurensningssituasjonen i Oslo har bedret seg (se avsnitt 6). Grunnlaget for denne antagelse er noe svak, men vi håper at kommende vinters målinger vil gi et sikrere grunnlag.



Figur 1 Plassering av SO<sub>2</sub>-stasjoner i perioden 1959/63.



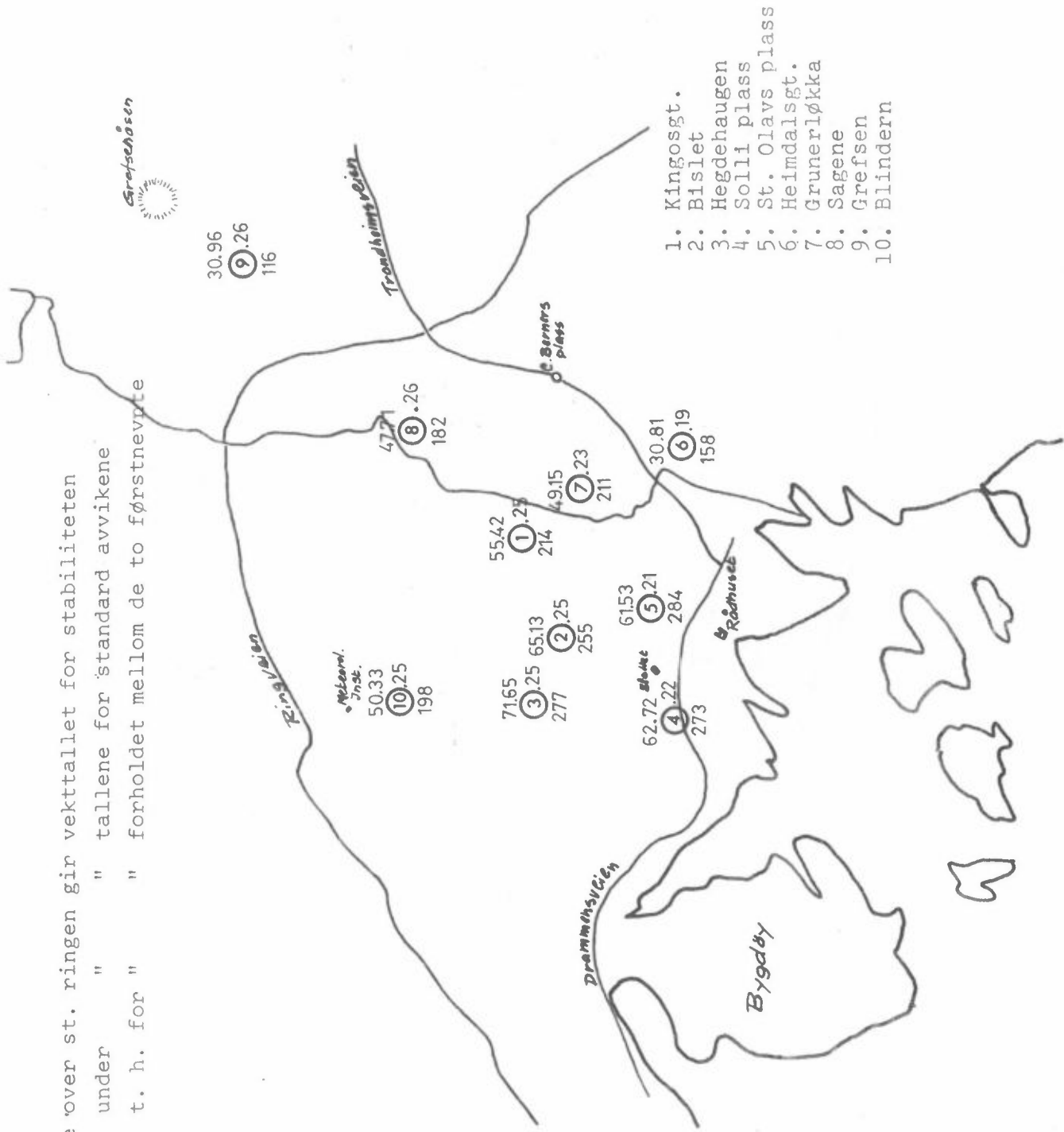
Figur 2 viser middelverdiene for stasjonene i  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

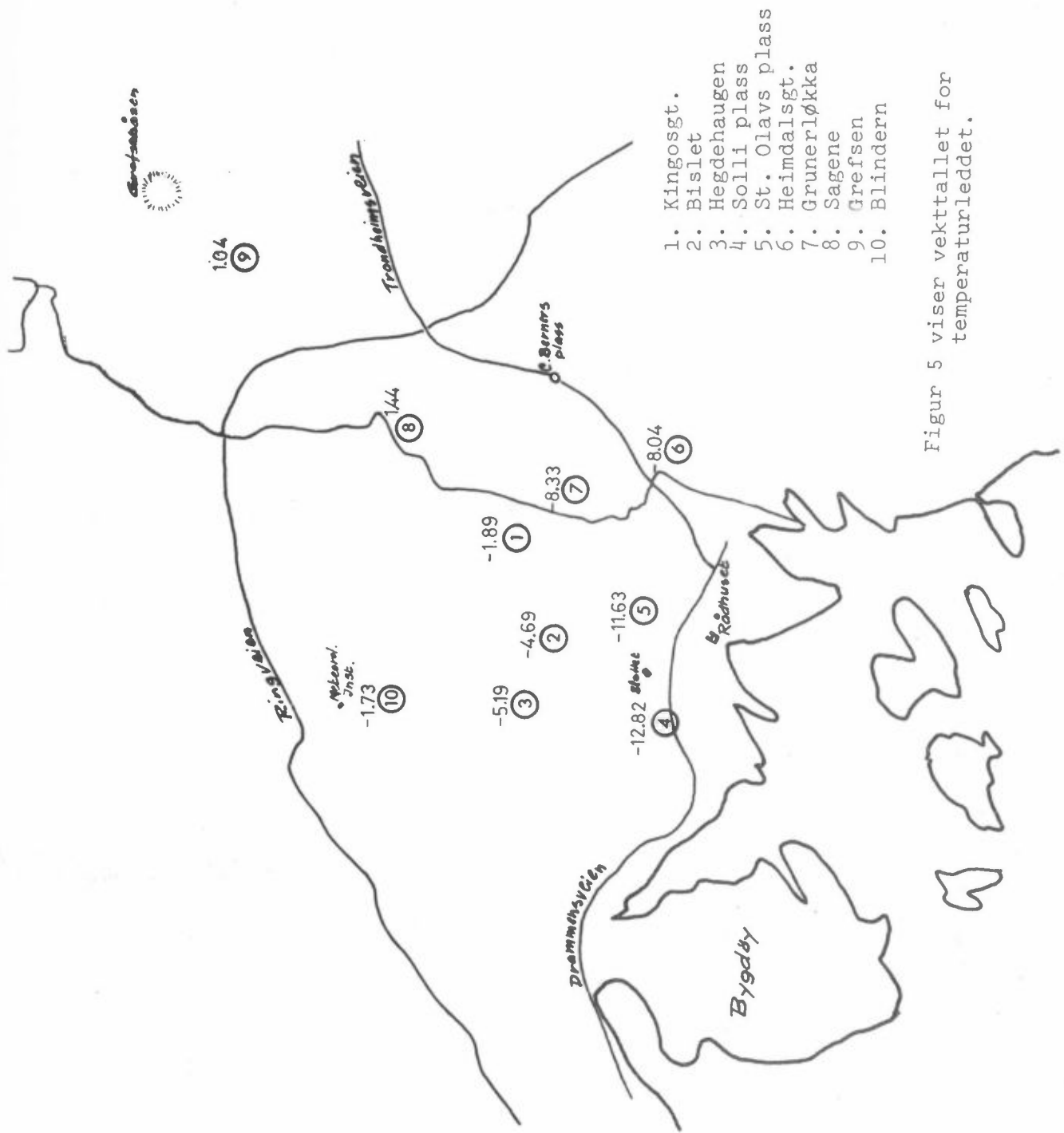


Figur 3 viser stasjonenes standardavvik i  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

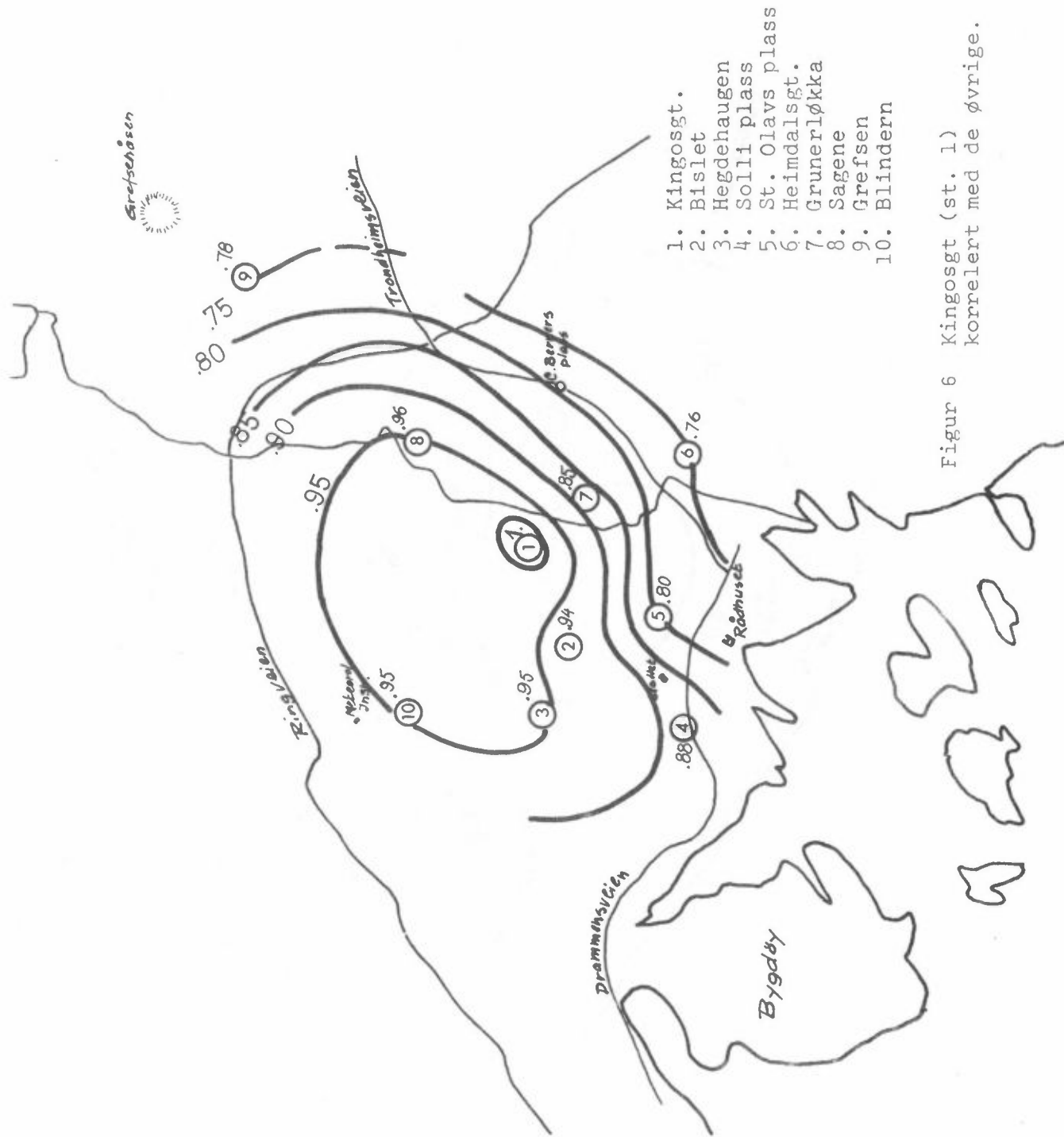


Figur 4 Tallene over st. ringen gir vektallet for stabiliteten  
 " " " " " " tallene for standard avvikene  
 " " " " " " forholdet mellom de to førstnevnte

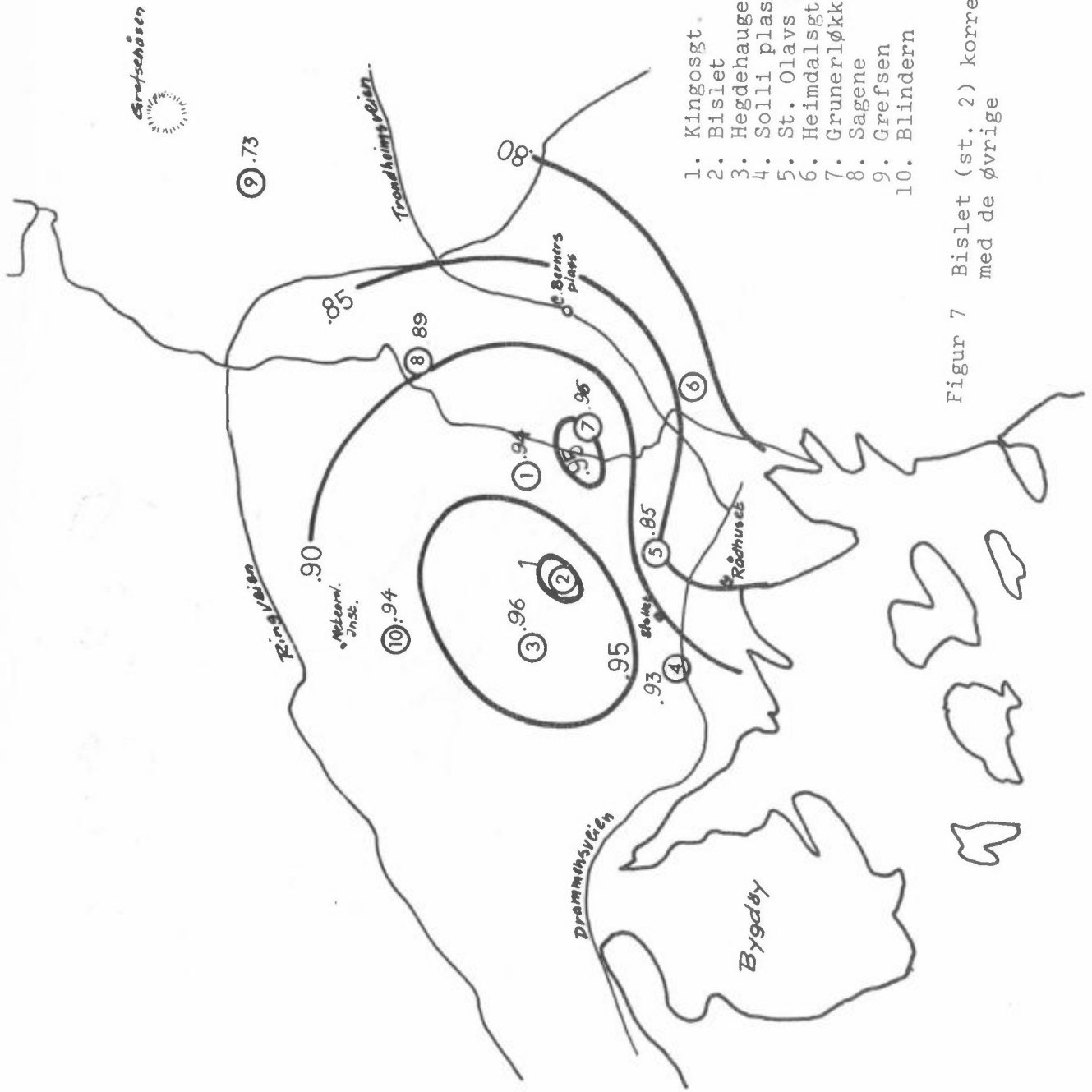




Figur 5 viser vektallet for temperaturleddet.

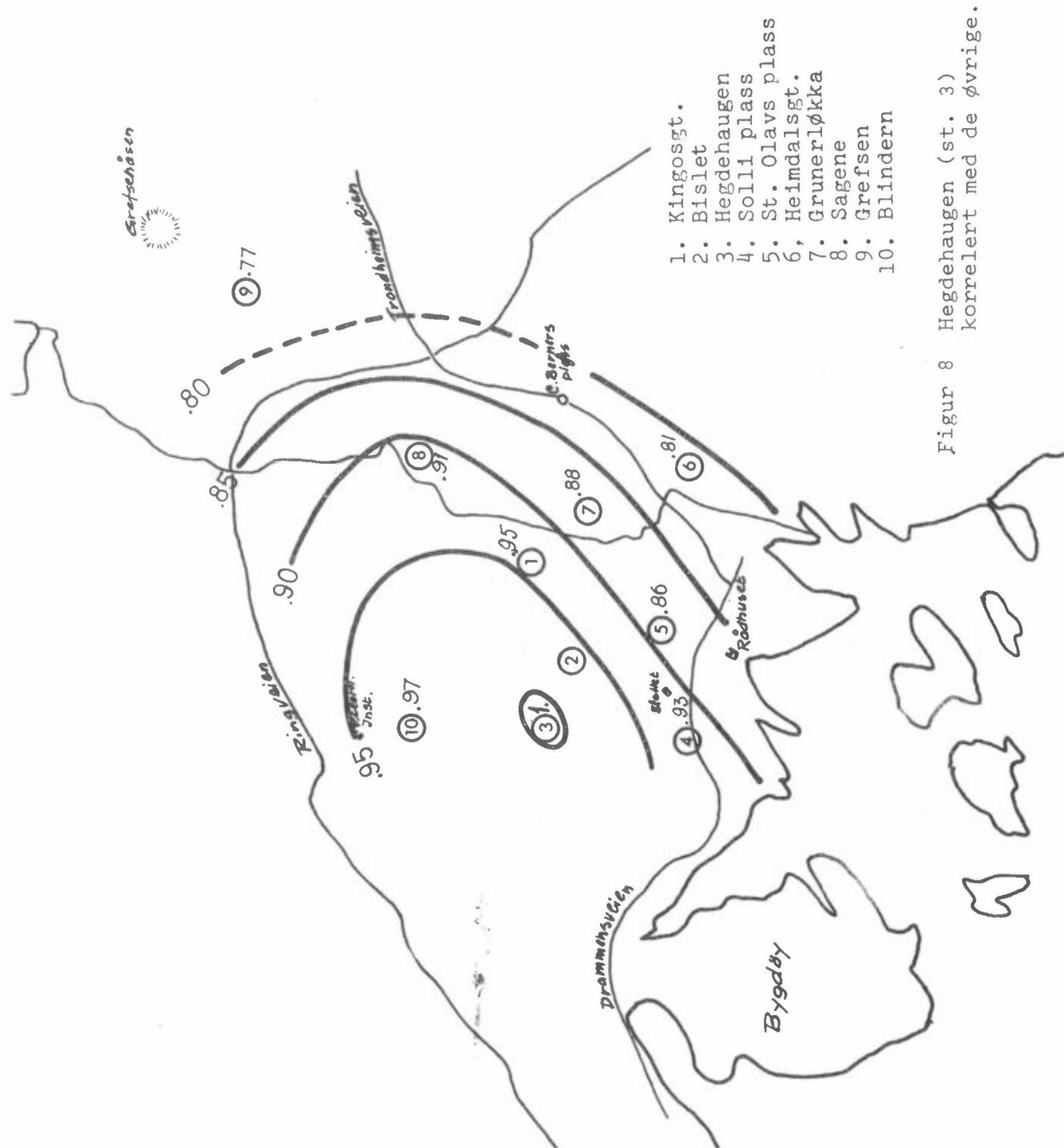


Figur 6 Kingosgt (st. 1) korrelert med de øvrige.



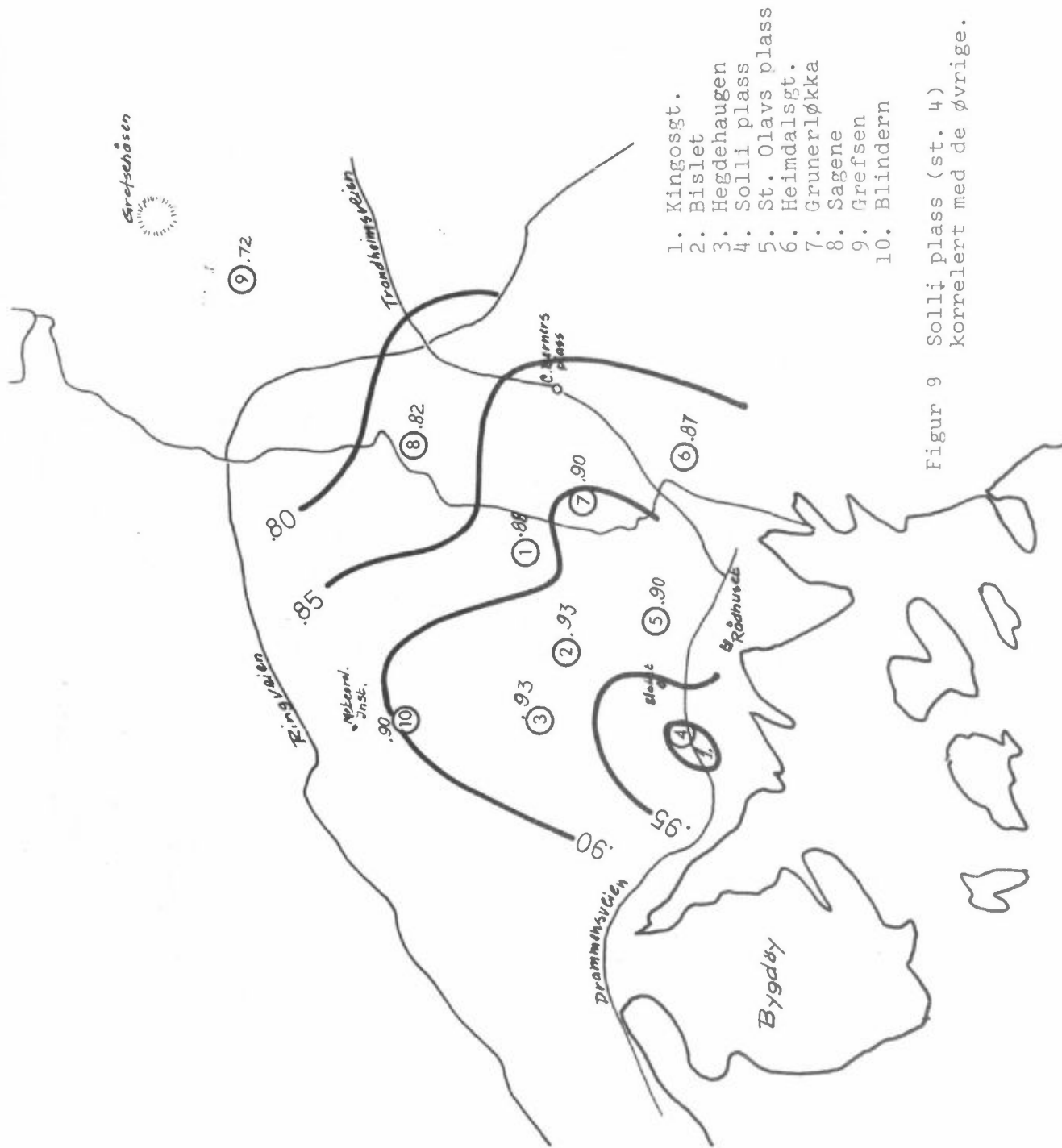
1. Kingosgt.
2. Bislet
3. Hegdehaugen
4. Solli plass
5. St. Olavs plass
6. Heimdalsgt.
7. Grunerløkka
8. Sagene
9. Grefsen
10. Blindern

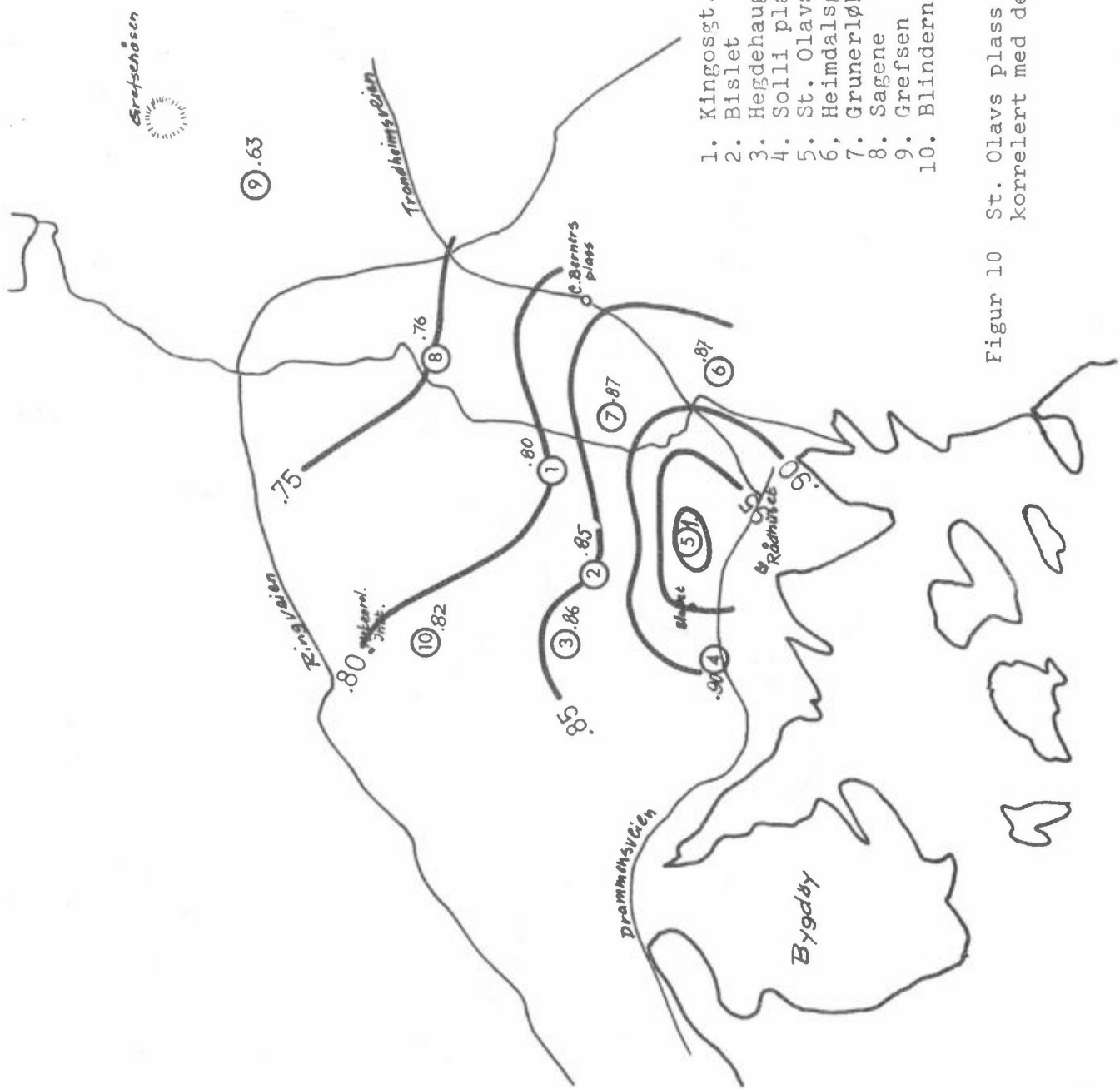
Figur 7 Bislet (st. 2) korrelert med de øvrige



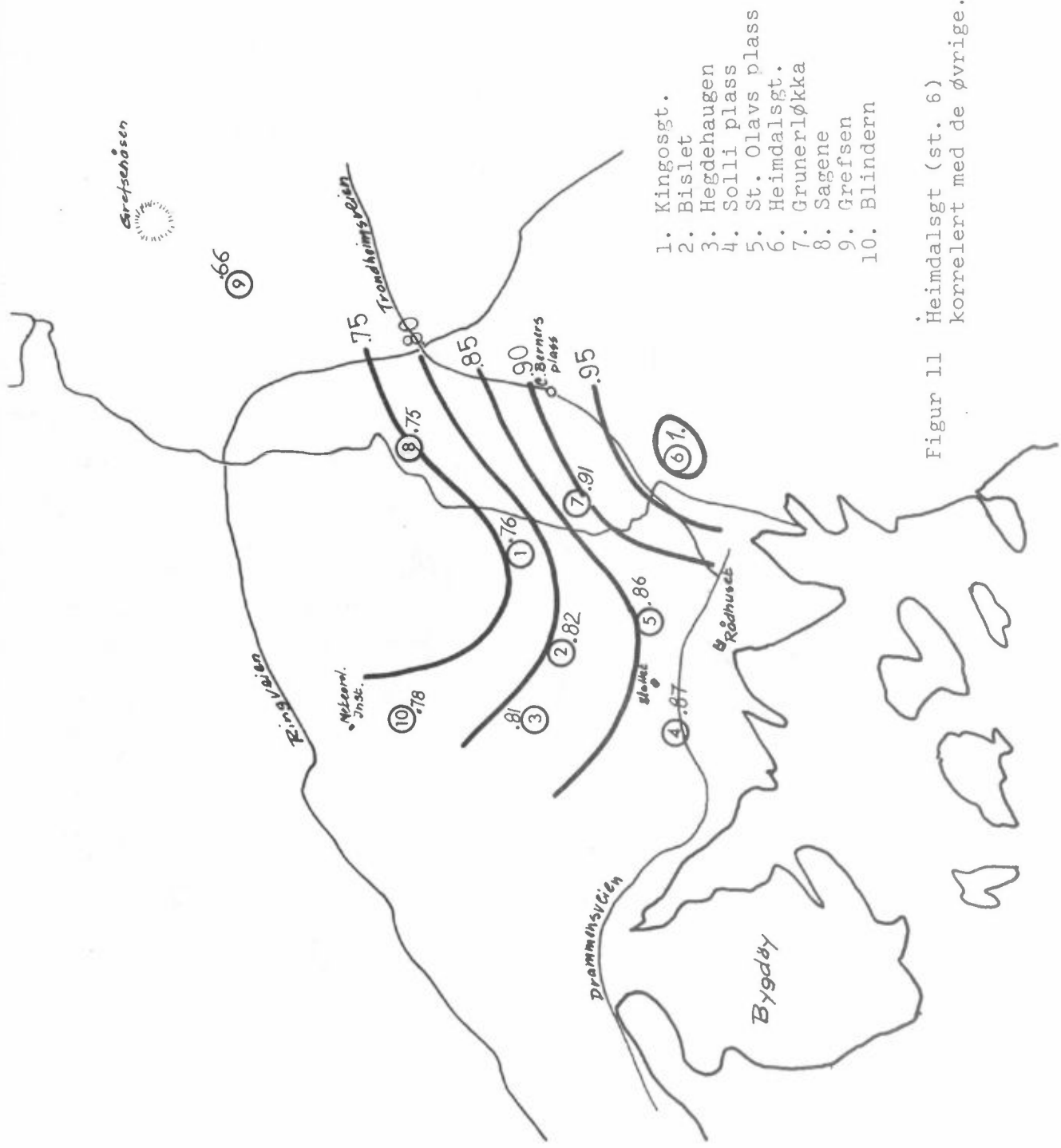
1. Kingosgt.
2. Bislet
3. Hegdehaugen
4. Solliplass
5. St. Olavs plass
6. Heimdalsgt.
7. Grunerløkka
8. Sagene
9. Grefsen
10. Blindern

Figur 8 Hegdehaugen (st. 3) korrelert med de øvrige.



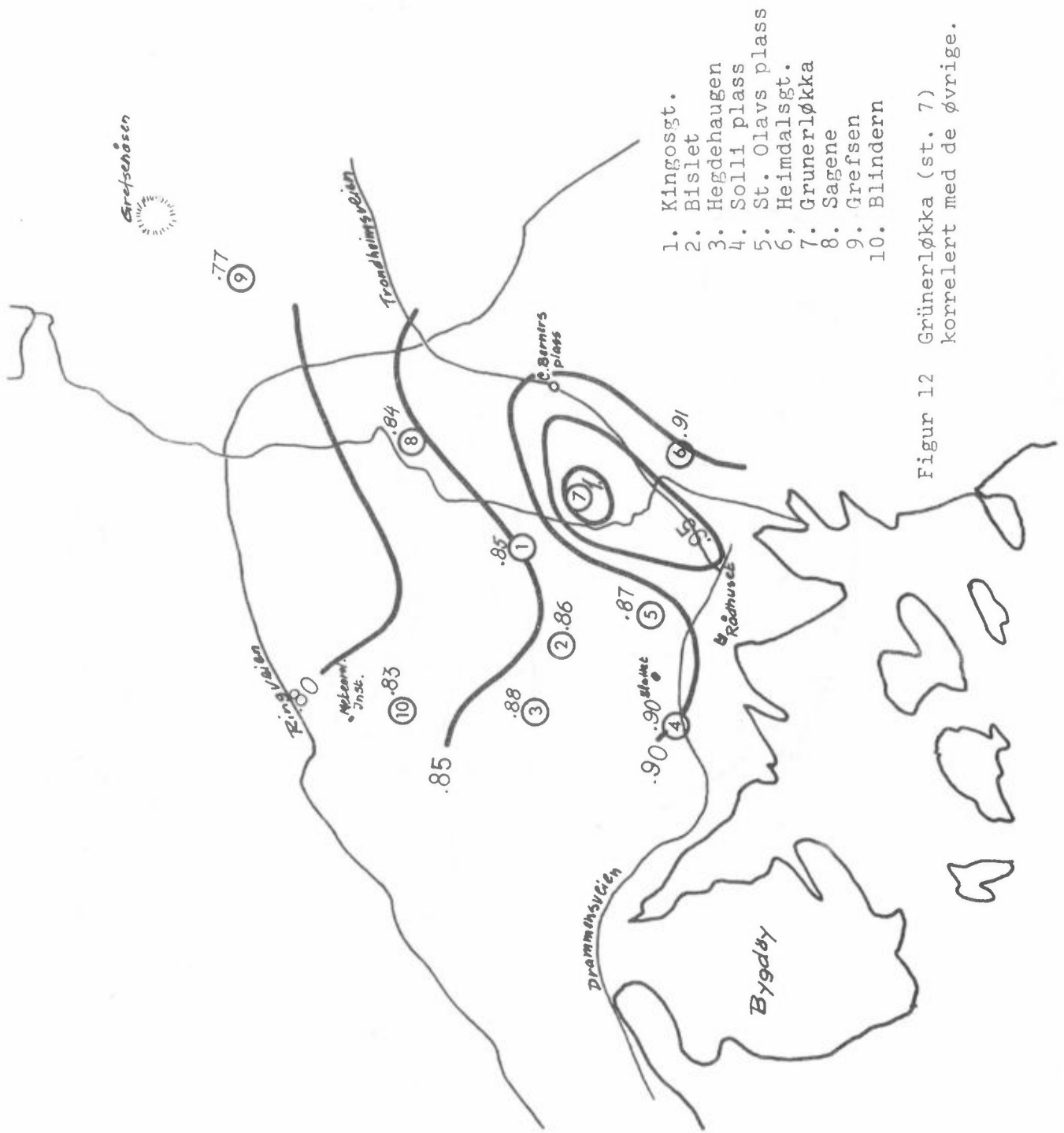


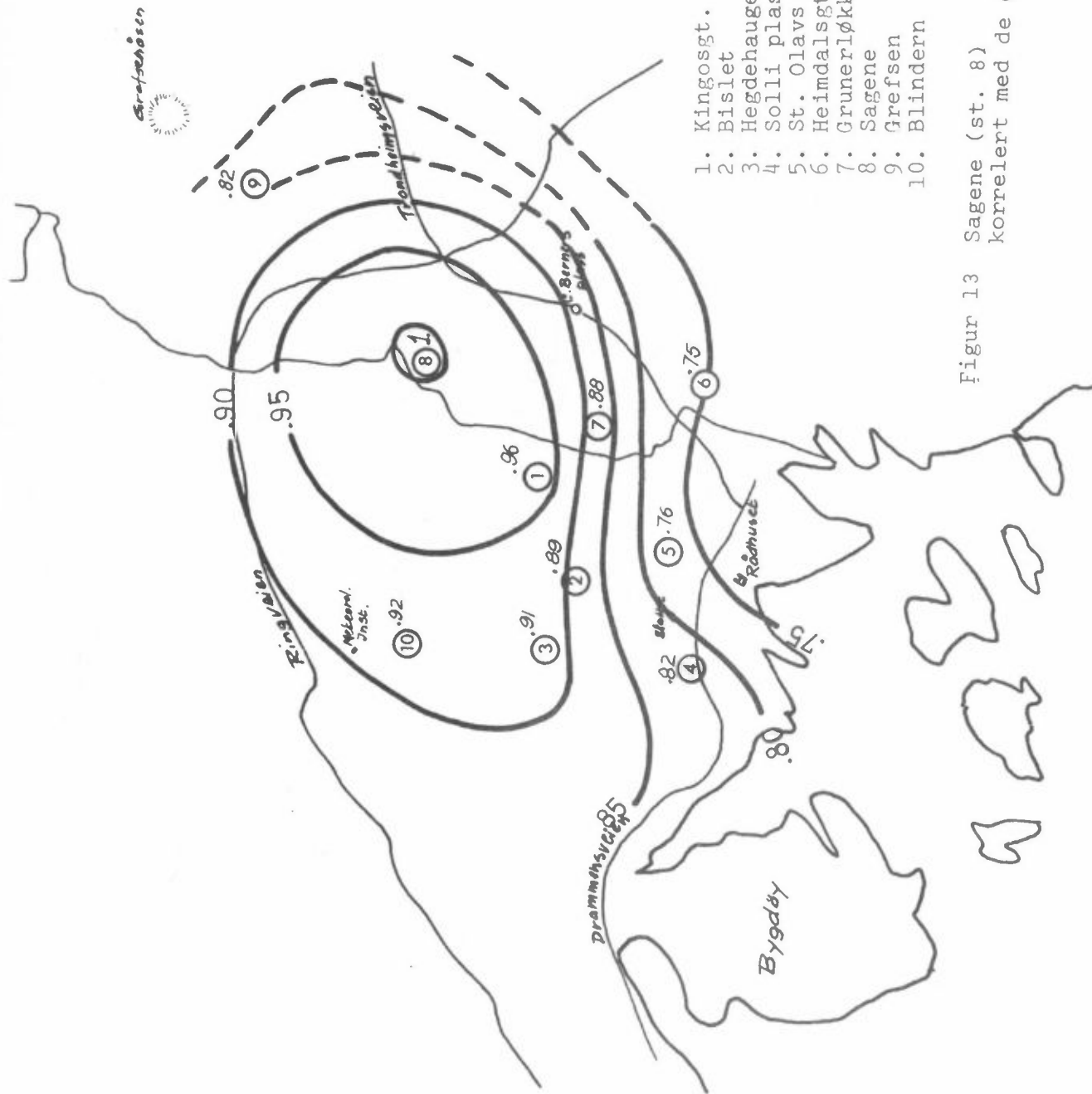
Figur 10 St. Olavs plass (st. 5) korrelert med de øvrige.



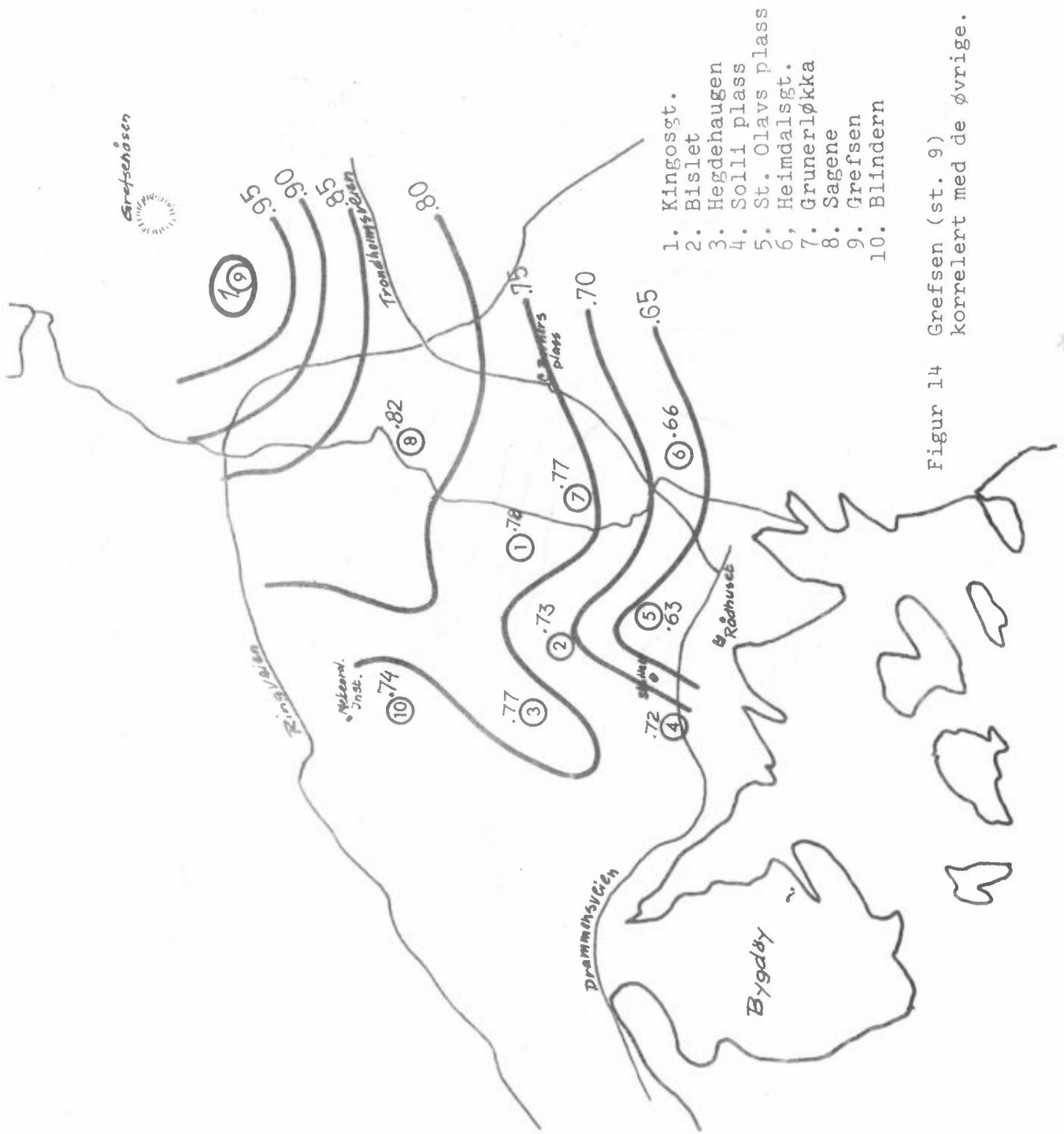
Figur 11 Heimdalsgt (st. 6) korrelert med de øvrige.



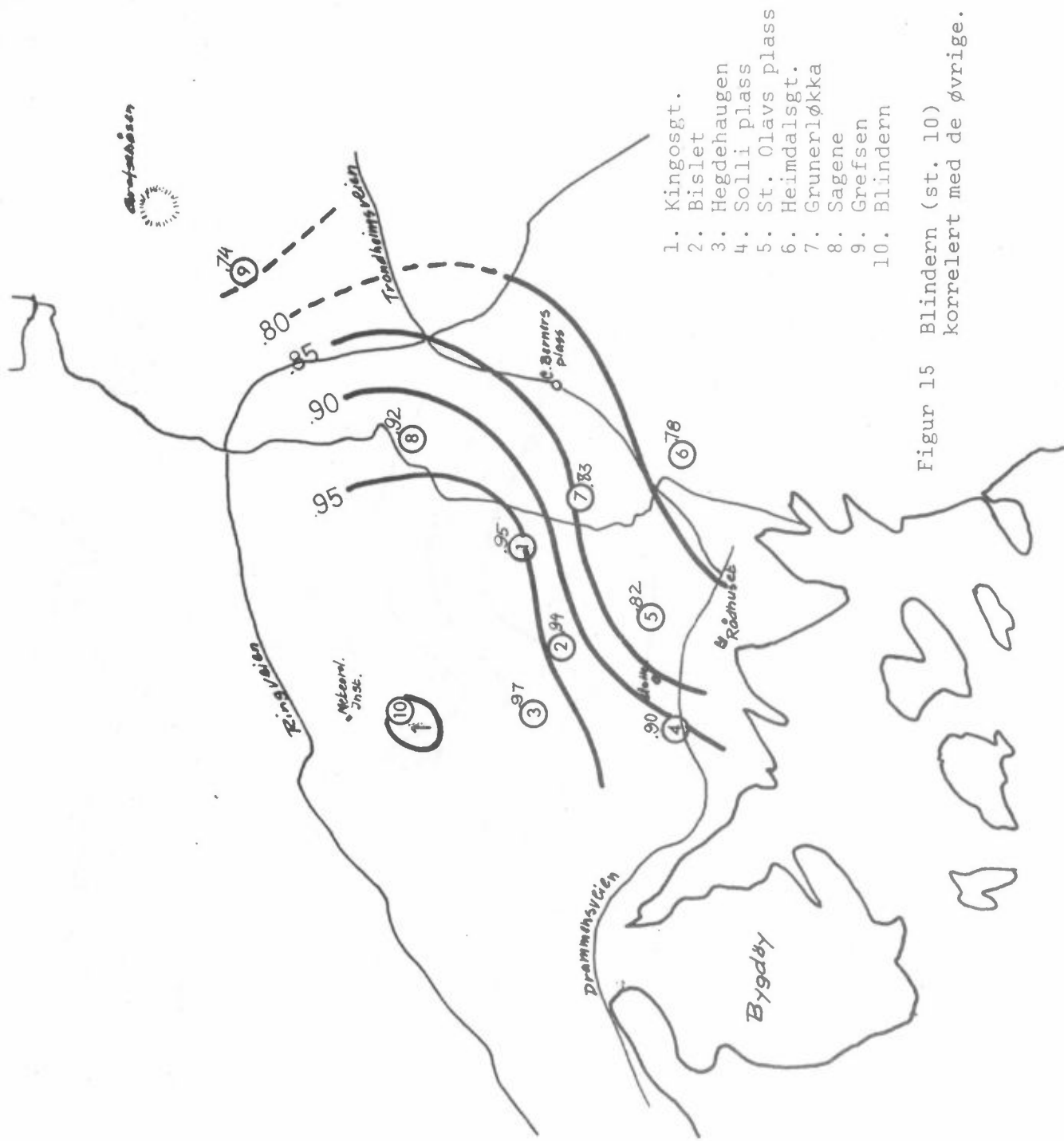


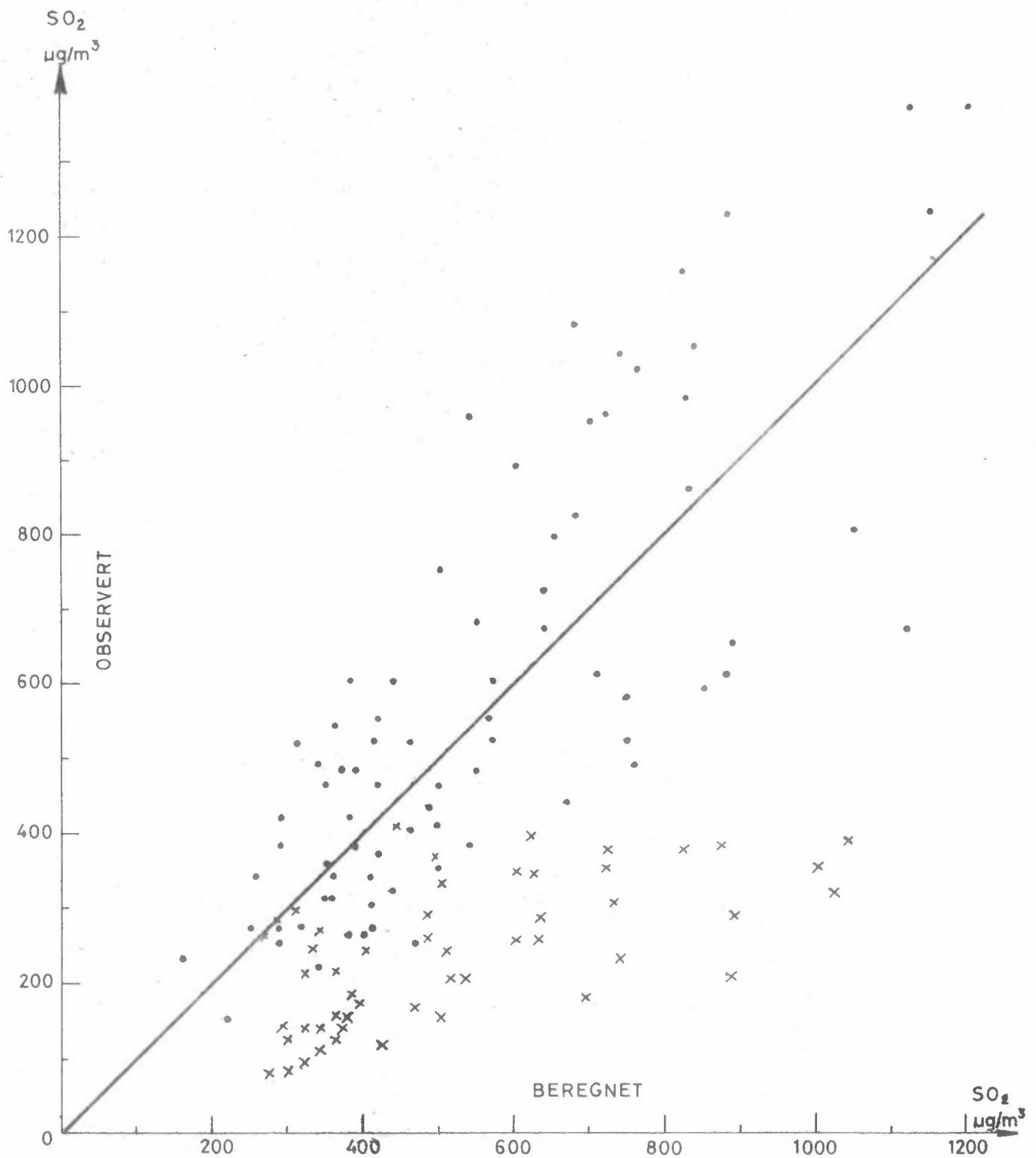


Figur 13 Sagene (st. 8) korrelert med de øvrige.

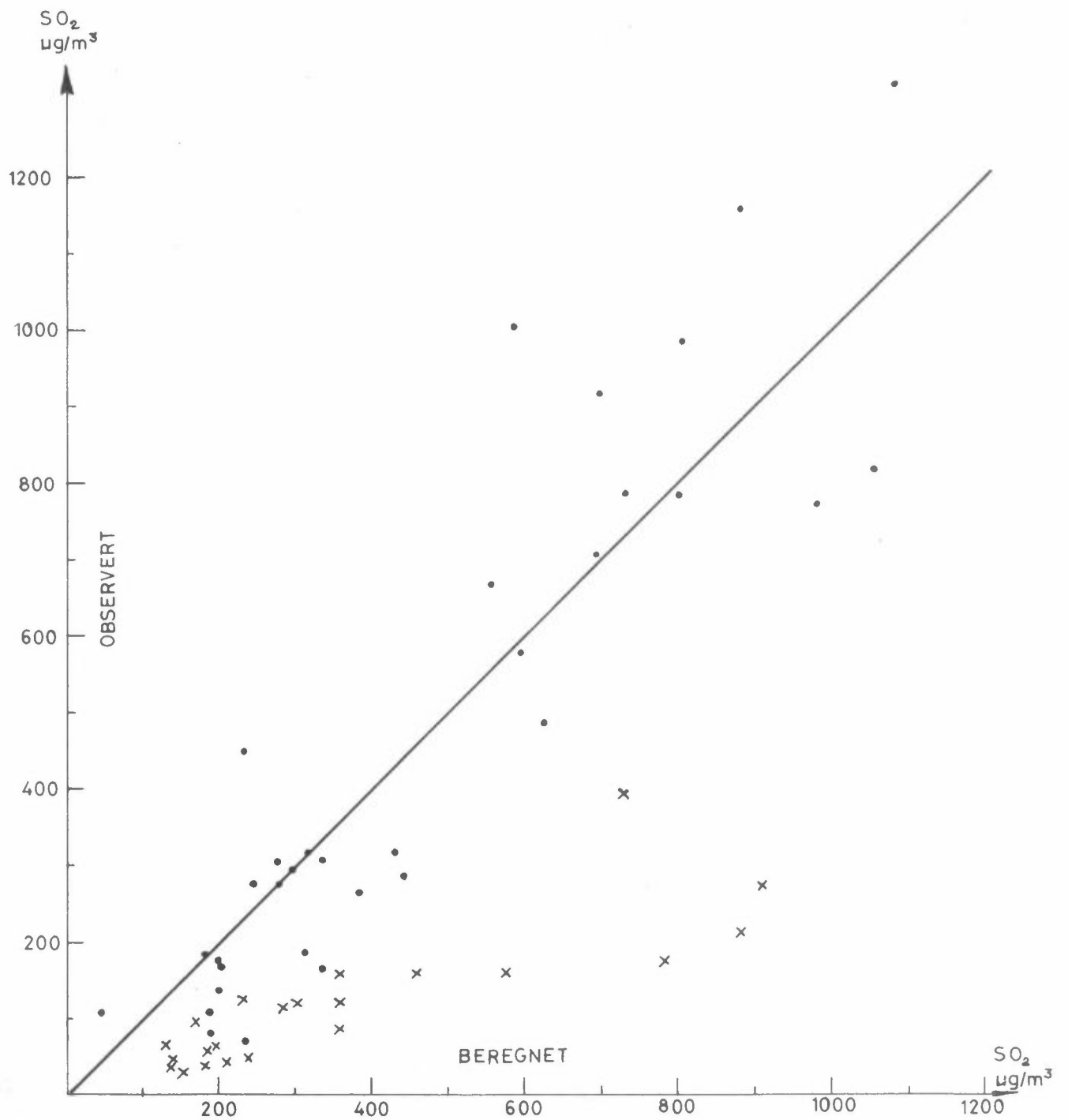


Figur 14 Grefsen (st. 9) korrelert med de øvrige.





Figur 16 gir sammenhørende verdier for observerte og beregnede verdier for SO<sub>2</sub>-konsentrasjonene på St Olavs plass. Prikkene er verdier for perioden 1959/63, kryssene for vinteren 1969/70.



Figur 17 gir sammenhørende verdier for observerte og beregnede verdier for SO<sub>2</sub>-konsentrasjonene. Prikkene er for Hegdehaugen for perioden 1959/63. Kryssene er for den nærliggende stasjonen Briskeby vinteren 1969/70. Formelen for Hegdehaugen er nyttet på begge stasjonene.

Del 3

SO<sub>2</sub>-EMISJON - OLJEFORBRUKSDATA

M J Thyvold og E. Joranger

INNHOLDSFORTEGNELSE

|  | Side |
|--|------|
| 1 INNLEDNING .....   | 1    |
| 2 TILGJENGELIGE DATA PERIODEN 1960/69 .....                              | 1    |
| 2.1 Data for perioden 1960/67 .....                                      | 1    |
| 2.2 Data for 1968 .....  | 1    |
| 2.3 Data for 1969 .....  | 2    |
| 2.4 Vurdering av dataene .....   | 3    |
| 3 KOMMENTARER TIL UTSLIPPENE AV SVOVELDIOKSYD I OSLO                     | 5    |
| 3.1 Utslipp på grunn av oljeforbruk .....                                | 5    |
| 3.2 Utslipp på grunn av fast brensel .....                               | 6    |
| 4 REGISTRERINGSMETODE FOR OLJEFORBRUKSDATA MED<br>FORBRUKSADRESSER ..... | 7    |
| 4.1 Behov .....  | 7    |
| 4.2 Oljeforbruksdata pr 1 kvartal 1970 .....                             | 8    |
| 5 KONKLUSJON .....   | 8    |



SO<sub>2</sub>-EMISJON I OSLO - OLJEFORBRUKSDATA

1 INNLEDNING

Det er foretatt en innsamling av data for å kartlegge oljeforbruket i Oslo-området i forbindelse med en undersøkelse av forurensningsnivået i Osloluften vinteren 1969/70.

Videre er utviklingen av oljeforbruket søkt kartlagt med henblikk på en sammenligning med forurensningsforholdene i perioden 1959/65 (1).

2 TILGJENGELIGE DATA PERIODEN 1960/69

2.1 Data for perioden 1960/67

Disse er hentet fra "Promemoriem fra overingeniør Randulv Os", Oslo Helseråd, gjengitt i Industridepartementets innstilling av 26.4.1969 om bruk av fyringsoljer og luftforurensning (2). Dette gir en inngående oversikt over utviklingen i perioden 1960/67. Forbruksdataene er samlet på basis av fakturaadressene med de muligheter for feil dette innebærer.

2.2 Data for 1968

Oljeselskapenes miljøvernvalg har for 1968 stillet følgende data til disposisjon, basert på fakturaadresser (omfatter også levering til kunder utenfor Oslo). Svovelprosentene er oppgitt av oljeselskapene. Disse verdier stemmer rimelig overens med analyser utført av Norsk Dampkjelforening (8), vesentlig for fyringsolje 3-6.

| Forbruk av olje | Type    | Tonn x 1000 | % S | Tonn S |
|-----------------|---------|-------------|-----|--------|
|                 | Fyr 1   | 74          | 0.5 | 370    |
|                 | Fyr 2   | 128         | 0.6 | 768    |
|                 | Fyr 3   | 87          | 2.0 | 1740   |
|                 | Fyr 4-6 | 156         | 2.3 | 3588   |
| 1968 totalt sum |         | 445         |     | 6466   |

I tillegg har Oljeselskapenes Miljøvernutvalg opplyst at det totale svovelutslipp fra tungoljeanlegg (type 3-6) er på basis av leveringsadresser beregnet til

utslippet 1968 = 3421 tonn S

Parafinforbruket er oppgitt til ca 20 000 tonn (4). Med et svovelinnhold på 0.05% er det av uvesentlig betydning som SO<sub>2</sub>-kilde.

### 2.3 Data for 1969

Tabellen nedenfor gir forbrukstallene for 1969 av de forskjellige oljetyper. Oppgavene er basert på fakturaadresser (3). Svovelprosentene er vurdert til å være uendret fra året før:

| Forbruk av olje | Type    | Tonn x 1000 | % S | Tonn S |
|-----------------|---------|-------------|-----|--------|
|                 | Fyr 1   | 91          | 0.5 | 455    |
|                 | Fyr 2   | 178         | 0.6 | 1071   |
|                 | Fyr 3   | 72          | 2.0 | 1440   |
|                 | Fyr 4-6 | 155         | 2.3 | 3565   |
| Sum             |         | 497         |     | 6539   |

I tillegg er en oversikt over totalt svovelutslipp fra tungoljeanlegg (3-6) i Oslo i 1969 stillet til disposisjon

av Oljeselskapenes Miljøvernutvalg (5). Disse data er basert på leveringsadresser. Av denne fremgår det at det totale utslipp var:

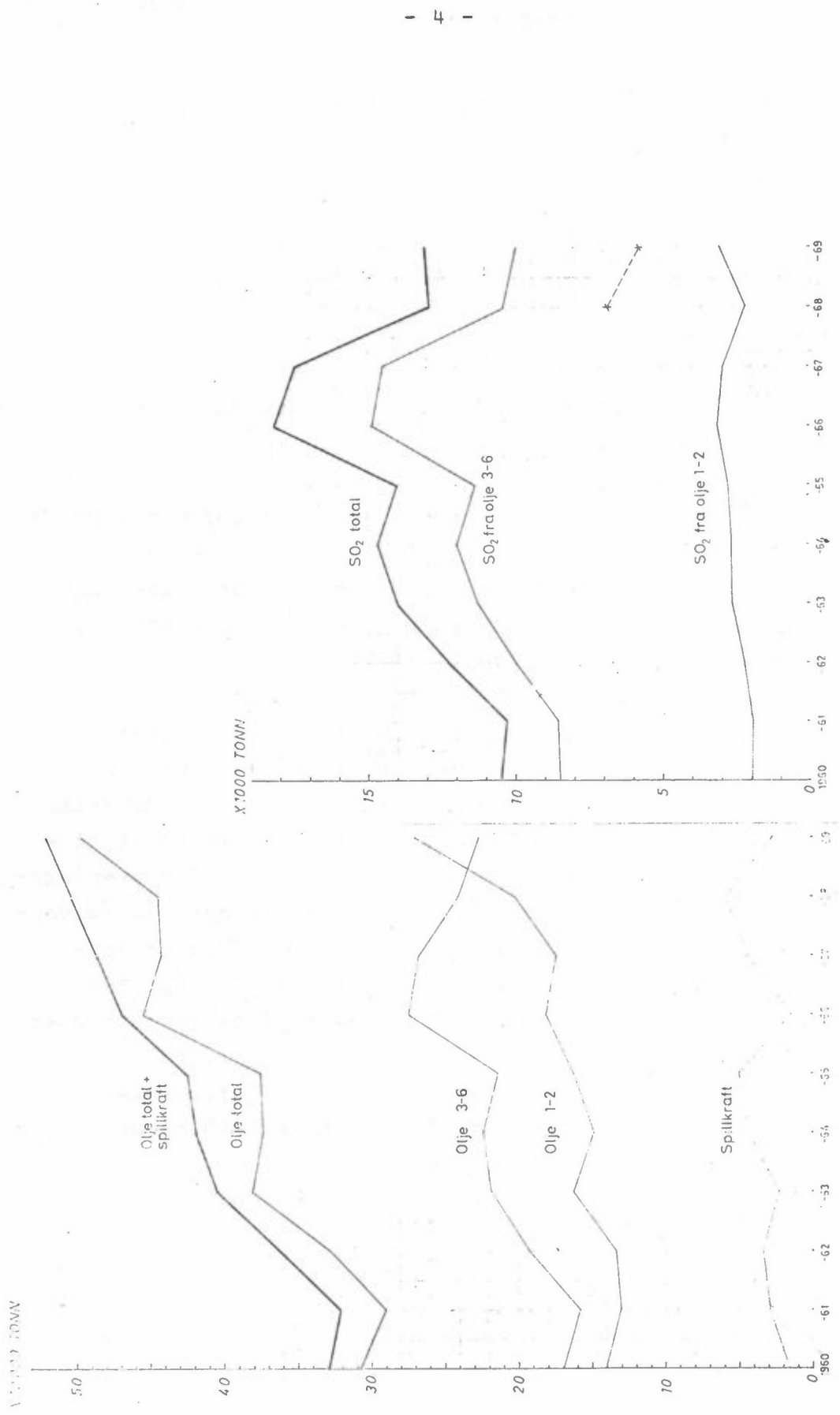
Utslippet 1969 = 2920,6 tonn S

#### 2.4 Vurdering av dataene

Det har hittil ikke vært satt noen fast standard for innsamling av oljeforbruksdata, og oljeselskapenes behov for statistikk for eget bruk er rettet mot andre interesser enn det en nå ser behov for i forbindelse med miljøvernsarbeidet. Dette har ført til at fram til 1967 er oppgavene innsamlet på basis av fakturaadressene. For 1968 og 1969 foreligger også oppgaver, basert på leveringsadresser, over utslipp av svovel fra tungoljeanlegg i Oslo.

Faktura-adressene og forbruksstedene faller ofte ikke sammen, og tildels betydelige geografiske skjevheter kan forekomme. Dette gjør seg spesielt gjeldende i industrien og de store boligkjedene. Som eksempel kan nevnes at olje med leveringsadresse på Herøya kan ha Oslo som faktureringsadresse. For 1968 og 1969 er således beregningen av svovelutslippet fra tungoljeanlegg i Oslo basert på leveringsadresser henholdsvis 64% og 58% av beregnet utslipp fra anlegg med samme oljetyper (3-6), basert på fakturaadresser.

Av hensyn til en best mulig vurdering av oljeforbrukets utvikling fra 1960 har en også for 1968 og 1969 brukt data basert på fakturaadresser.



Figur 1 Oljeforbruk og spillkraftforbruk i Oslo

1-2 = lettoljer  
 3-6 = tungoljer

Figur 2 SO<sub>2</sub>-utslipp ved oljeforbrenning i Oslo

— data basert på faktura-adresser  
 - - - - data for tungolje (3-6) basert på leverings-adresser

### 3 KOMMENTARER TIL UTSLIPPENE AV SVOVELDIOKSYD I OSLO

Det vises til kurvene i figurene 1 og 2.

#### 3.1 Utslipp på grunn av oljeforbruk

Samtlige heltrukne kurver er frem til 1967 fremkommet ved en sammenstilling av aktuelle kurver fra overingeniør R Os' promemoriem (2). Dataene for 1968 og 1969 er hentet fra oppgavene nevnt under 2.2, og 2.3 for fakturaadresser.

Kurven for lette fyringsoljer (1-2) viser gjennomgående stigende forbruk frem til 1968 og sterk stigning til 1969 (figur 1). Kurven for tunge fyringsoljer viser gjennomgående stigning i forbruket fram til 1966 og deretter avtagende forbruk. Det har således i de senere år funnet sted en markert forskyving i forbruket av olje fra tunge oljer til lette oljer.

Kurven for totalt oljeforbruk viser en trinnvis stigning frem til 1969. Den trinnvise stigning av totalforbruket av olje henger for en stor del sammen med varierende forbruk av elektrisk spillkraft (6). Spillkraftforbruket de siste 10 år, omregnet i oljeekvivalenter (1 tonn olje = 5000 kW), fordeler seg som vist i figur 1. Kurven for totalt forbruk av olje og spillkraft viser en mindre sprangvis endring av forbruket fra år til år. Andre faktorer som spiller inn er varierende klimaforhold. Dessuten representerer innsamlingsmetoden av dataene (fakturaadresser) en feilkilde, idet antallet store utenbys forbrukere som kommer med i oppgaven, kan variere fra år til år.

Kurven for totalt utslipp av  $SO_2$  viser et sterkt fall fra 1966 til 1968 og 1969. (figur 2). Dette synes vesentlig å skyldes reduksjonen

i forbruket av tunge fyringsoljer. En medvirkende årsak er også at det over denne perioden har vært en generell reduksjon av svovelinnholdet i alle oljetyper. Analyser utført av Norsk Dampkjelforening (8) især på prøver av olje nr 6 i de siste 10 årene viser sammen tendens.

Kurven i figur 2 antyder størst reduksjon av svovelprosenten fra 1967 til 1968. Økdende forbruk av lettolje har eksempelvis gitt avtakende svovelutslipp.

Til tross for at forbruket i Oslo har steget fra ca 300 000 tonn i 1960 til ca 500 000 tonn i 1969 (66 % stigning), er den beregnede økning av svovelutslippet fra ca 1050 tonn til ca 1300 tonn (24 %). Det totale svovelutslipp for 1969 var det samme som midlet for 1962 og 1963, hvor midlere totale oljeforbruk var ca 360 000 tonn. Med reservasjon for usikkerhet i talloppgavene antyder dette at en økning av forbruket med omkring 40 % ikke har medført noen stigning av svovelutslippet, på grunn av overgangen til lettere oljetyper på frivillig basis.

Den stiplede kurven i figur 2 viser endringen av  $SO_2$ -utslippene fra tungoljeanlegg (oljetyper 3-6) i Oslo fra 1968 til 1969, beregnet på basis av leveringsadresser. Dette gir som nevnt en reduksjon på ca 60 %, sammenlignet med tilsvarende data basert på faktura-adresser.

### 3.2 Utslipp på grunn av fast brensel

Som fast brensel regner en kull- og koks-produkter, ved, papp, papir og avfall.

En har foreløpig ikke oversikt over hvor mye ved, papp, papir og avfall som forbrennes i Oslo, og hvorledes forbrenningen fordeler seg i Oslo-området. Svovelinnholdet i disse forbrenningsprodukter kan antas å være 0.1 % S eller lavere. Ifølge analyser ved Elkem, Fiskå verk (personlig opplysning) er svovelinnholdet i trekull (furu, eik, ask, bøk) 0.05 %, og svovelinnholdet i søppel ca 0.01 % S (9). Det antas at forbrenning av disse produkter ikke har så stort omfang at det har særlig betydning for  $SO_2$ -forurensningen.

Det er dog sannsynlig at en betydelig del av den synlige forurensning i form av støv skriver seg fra denne forbrenning.

Av kull- og koksprodukter ble det totalt forbrent ca 5 000 tonn kull- og ca 15 000 tonn koks-produkter i Oslo og de nærmeste kommuner i perioden 1.5 1959 - 1.5 1970, ifølge opplysning fra Forenede Kullimportører, Oslo. Analyser som er offentliggjort (8) indikerer for kull en midlere svovelprosent på 1.5 % S og for koks 1.0 % S. Dette vil resultere i et utslipp på 450 tonn  $SO_2$  i Oslo-luften pr år. Dette utgjør ca 6 % av det totale utslipp av  $SO_2$  i Oslo ved forbrenning av fyringsoljer i 1969. (Av hensyn til sammenlignbarheten er oppgaven for  $SO_2$  fra fyringsoljene, 13 078 tonn, redusert med 39 % til 7 978 tonn. Grunnlaget for reduksjonen er de separate oppgaver over tungoljeforbruket i 1968 og 1969 basert på henholdsvis faktura-adresser og leveringsadresser).  $SO_2$ -forurensningen ved forbruk av kull- og koks-produkter er derfor liten i forhold til forurensningen ved oljeforbrenning, når en fordeler forbruket over hele Oslo. En må imidlertid regne med at en betydelig del av støvforurensningen kan skyldes kull- og koksforbrenningen.

I forbindelse med undersøkelsen av luftforurensningsforholdene ved hjelp av en spredningsmodell er en i ferd med å innhente oppgaver over hvorledes forbruket av kull og koks samt forbrenning av søppel fordeler seg i Oslo.

#### 4 REGISTRERINGSMETODE FOR OLJEFORBRUKSDATA MED FORBRUKSADRESSER

##### 4.1 Behov

Anvendelse av modell for spredning av luftforurensninger forutsetter at en for vedkommende årstid og de rådende temperaturforhold kan foreta en tilnærmet beregning av de aktuelle utslipp av forurensninger ved oljeforbrenning. Da en del av fyringsoljen forbrukes gjennom hele året og dermed er uavhengig av utetemperaturen, er det behov for opplysninger om oljeforbrukets variasjon med årstidene.

Med henblikk på dette har NILU utarbeidet en standardmetode for registrering av oljeforbruket, som baserer seg på utnyttelse av EDB i størst mulig utstrekning. Det er utgitt en katalog for geografisk bestemmelse av forbrukernes adresser i Oslo-området. Metoden kan brukes over hele landet.

Det foretas dessuten lokalisering av større kilder (over 500 tonn årlig forbruk) med beskrivelse av spesielle forhold (utslippsfrekvens/skorsteinshøyde etc).

#### 4.2 Oljeforbruksdata for 1 kvartal 1970

På basis av NILU's adresse-rutetilvisningskatalog, er oljeforbruksdata for første kvartal 1970 innsamlet, og det tilsvarende svovelutslipp fordelt geografisk på 1 km<sup>2</sup> rutenett.

Figur 3 viser et skjematisk kart over Oslo-området påtrykket et kvadratisk rutenett (1 km<sup>2</sup>), tilpasset Universal Transvers Mercator rutenettssystem. Tallene i rutene viser totalt svovelutslipp i kg pr rute i løpet av første kvartal 1970.

Det samlede utslipp løper opp i:

1 492 439 kg svovel

Dette gir et døgnmiddel for første kvartal 1970 på:

33 tonn SO<sub>2</sub>

forårsaket ved forbruk av olje til fyring og industri.

#### 5 KONKLUSJON

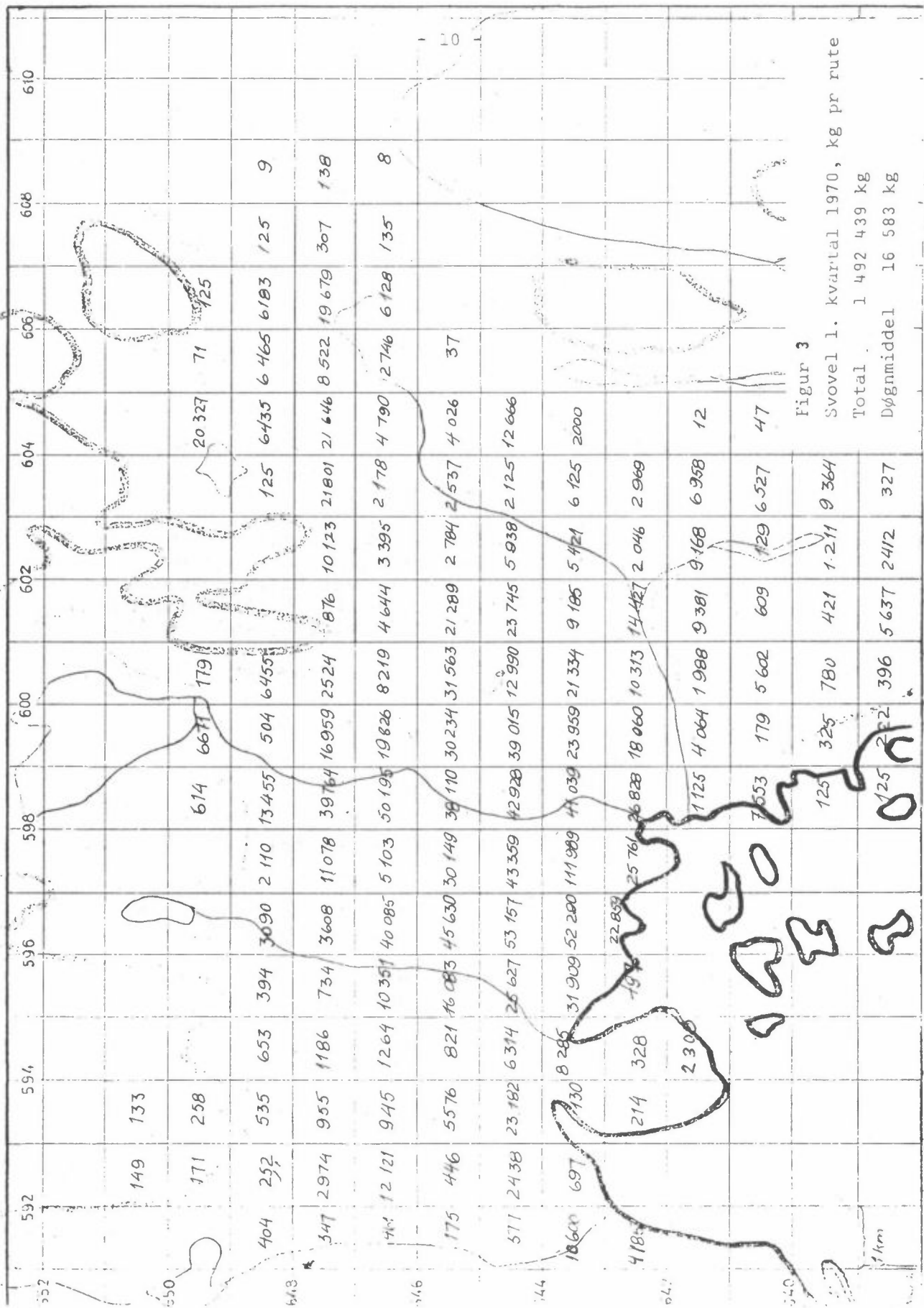
Oljeforbruket i Oslo er stigende, men på grunn av bred overgang til lettere, mere svovelfattige oljetyper, viser utslippet av SO<sub>2</sub> fra oljefyring en fallende tendens fra 1966. For 1969 var utslippet nådd ned til samme nivå som for 1962-63, samtidig som årsforbruket er steget fra ca 360 000 tonn i 1962-63 til ca 500 000 tonn i 1969.



SO<sub>2</sub>-forurensningen ved forbruk av kull, koks og sannsynligvis også ved avfallsforbrenning, er liten i relasjon til forurensningen ved oljeforbrenning. En betydelig del av støvforurensningen antas dog å være forårsaket av faststoff-forbrenningen.

Referanser:

- (1) Lindberg, W - Den alminnelige luftforurensning i Norge, Røykskaderådet (1968)
- (2) Industridepartementet - Innstilling om bruk av fyringsoljer og luftforurensning, 26.4 (1969)
- (3) Oslo Helseråd - Oppgave over antatt forbruk av fyringsoljer i Oslo etter offisielle oppgaver over salg/leveranse innen Oslo fylke (Forbrukerkategorier: "Husoppvarming og industri"). RO/RH
- (4) Oslo Helseråd - Notat v/overingeniør R Os, 19.10 (1970)
- (5) Oljeselskapenes Miljøutvalg - Brev av 9.7 (1970)
- (6) Kraftverkenes Samkjøring - Notat v/K S Rabbevåg, (1970)
- (7) Handelsdepartementet - Meddelelse (1970)
- (8) Norsk Dampkjeleforening - Sirkulærer nr 76 til 90 om brenselanalyser i tiden 1 desember 1959 til 1 desember 1970
- (9) Statens Naturvårdsverk - Luftvårdsproblem ved avfallsforbrenning, Pub 1969:6



Figur 3

Svovel 1. kvartal 1970, kg pr rute

Total 1 492 439 kg

Døgnmiddel 16 583 kg

DEL 4

MODELLBEREGNINGER FOR SPREDNING AV  
LUFTFORURENSNINGER I OSLO

Knut Erik Grønskei

INNHOLDSFORTEGNELSE

Side

|   |   |    |
|---|---|----|
| 1 | <u>INNLEDNING</u>   | 3  |
| 2 | <u>TILPASNING AV EN NUMERISK MODELL TIL FORURENSNINGS-<br/>SITUASJONEN I OSLO</u> | 6  |
| 3 | <u>AVSLUTTENDE KOMMENTARER</u>  | 19 |

APPENDIKS I

|    |   |    |
|----|---|----|
| a) | <u>BESKRIVELSE AV DEN NUMERISKE MODELLEN</u>                                      | 21 |
| b) | <u>BESKRIVELSE AV DE NUMERISKE FORSØK SOM FØRTE TIL<br/>VALGET AV REGNESKJEMA</u> | 26 |

|  |                   |    |
|--|-------------------|----|
|  | <u>REFERANSER</u> | 33 |
|--|-------------------|----|

MODELLBEREGNINGER FOR SPREDNING AV LUFTFORURENSNINGER  
I OSLO

1 INNLEDNING

Når en skal betrakte forurensningsnivået i en by i relasjon til utslippene av forurensninger, er det nødvendig å vurdere så store datamengder at det er praktisk å benytte elektroniske regnearbeid.

Dataene kan bearbeides etter en matematisk modell som beskriver det som foregår i atmosfæren i grove trekk. Modellen forutsetter at en har oversikt over og skjønner de fysiske prosesser som påvirker de forurensende stoffene i atmosfæren. På utviklingsstadiet vil modellen fordre målinger av utslippene, de resulterende forurensninger og parametre som beskriver de fysiske og kjemiske prosesser som påvirker de forurensende stoffene. Modellen vil på dette stadiet gi nyttig informasjon om hvorledes de forurensende stoffene forsvinner fra atmosfæren og være til stor hjelp i planleggingsarbeidet av fortsatte måleprogram.

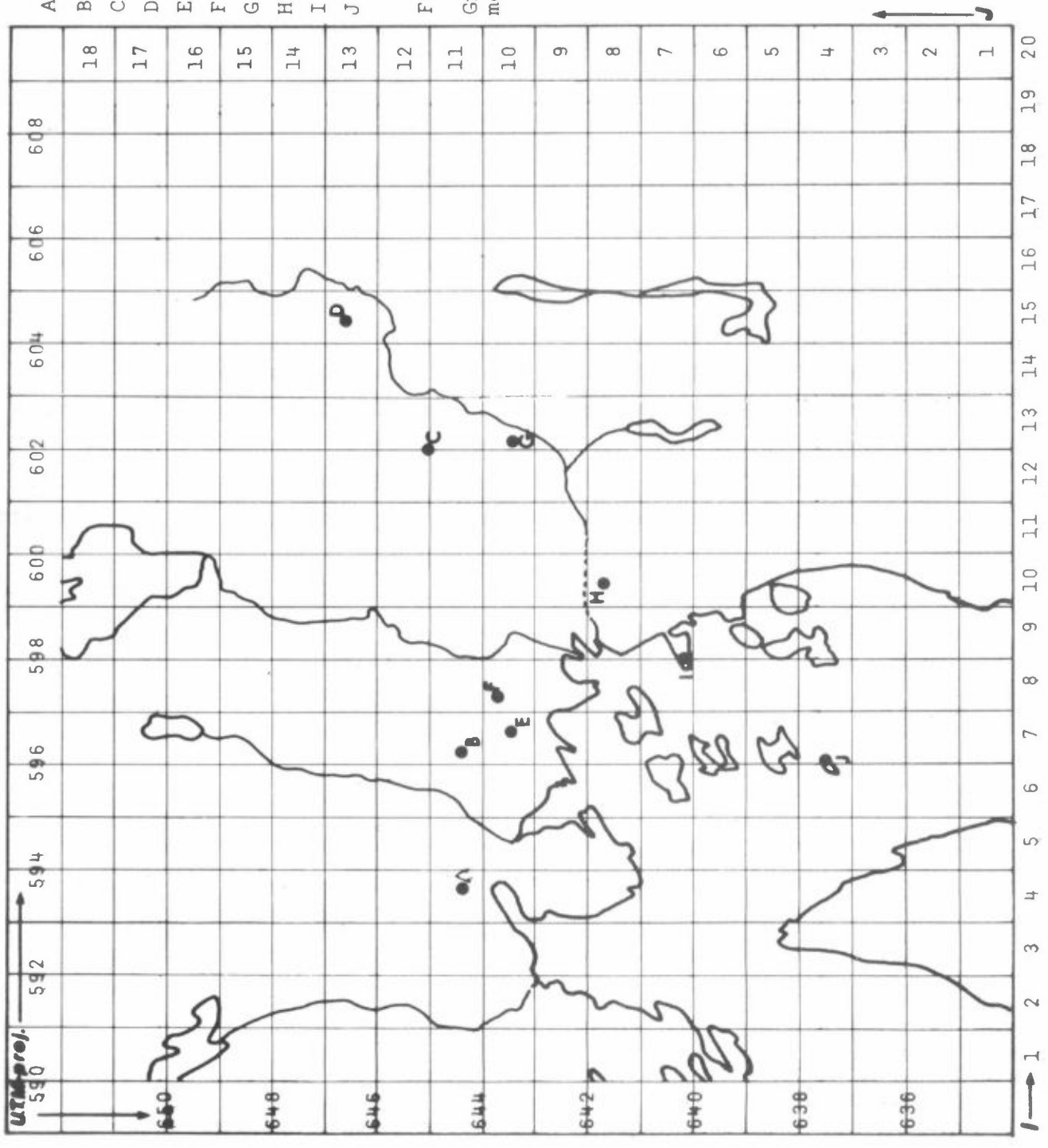
Ved mange institusjoner har en arbeidet med slike modeller i en årrekke. En oversikt over tidligere arbeider er gitt av R. C. Wanta i 1968 (1) og M. Neiburger i 1970 (2). Det har foreløpig ikke vært tid til å skrive en sammenfatning av dette litteraturstudium.

Med disse oversiktene som grunnlag, har en søkt etter utarbeidede modeller som kunne anvendes direkte på forholdene i Oslo. Dette arbeidet har resultert i ideer for bearbeiding av måledataene i Oslo. Praktisk talt alle tidligere modeller bygger på summering av virkningen fra enkeltkilder i byområdet. Enkeltkildenes virkning kartlegges ut fra en gaussisk spredningsformel. En slik spredningsformel bygger på følgende forutsetninger:

- A - Skøyen
- B - Briskeby
- C - Økern
- D - Nyland stasjon
- E - Haakon VII'sgt
- F - St Olavs plass
- G - Bryn skole
- H - Ekeberg
- I - Sjursøya
- J - Husbergøya

Figur 1

Gridsystemet i Oslo med kartreferanser.



I  
F  
I

- 1) Stasjonære og homogene vind- og turbulensforhold.
- 2) Kontinuerlige og stasjonære utslippsforhold ved hver kilde.

Ofte kan en regne med tilnærmede stasjonære og homogene forhold.

I Oslo har en forurensningsproblemer under spesielle meteorologiske forhold. Disse forhold opptrer særlig om høsten og om vinteren (3). Målinger i februar og mars 1970 viser at betingelsene 1 og 2 vanligvis ikke er oppfylt under de spesielle meteorologiske forhold i forurensningssituasjoner over Oslo.

H. Reiquam (4) betrakter spredningen som et rent transportproblem. Han har også utført visse beregninger i Oslo-området og skrevet om disse i et teknisk notat utgitt ved Forsvarets forskningsinstitutt (5). Disse beregninger viser at modellstudier kan gi verdifull informasjon om forurensningsforholdene i Oslo.

I arbeidet som rapporteres her, har en tatt for seg kontinuitetsligningen for de forurensende stoffene og løst denne numerisk under de spesielle meteorologiske forhold. Modellen blir dermed mer fleksibel, og en kan ta hensyn til de fysiske prosesser som er av betydning uten at en må gjennomføre strenge forenklinger som f eks angitt under punktene 1 og 2. Dersom en gjennomfører forenklingene i de numeriske beregningene, skal en få frem en numerisk tilnærming til de analytisk kjente uttrykkene. En har dermed mulighet for å kontrollere beregningenes nøyaktighet.

En tenker seg Oslo-regionen inndelt i et grid-system vist i figur 1, og løser kontinuitetsligningen ved en endelig differensmetode i dette grid-systemet.

2 TILPASNING AV EN NUMERISK MODELL TIL FORURENSNINGS  
SITUASJONEN I OSLO

Konsentrasjonen av et forurensende stoff på et sted vil endre seg med tiden som følge av horisontal og vertikal transport av stoffet ved middelvinden. I atmosfæren er luftstrømmen turbulent, spesielt nær bakken. Det vil si at vinden svinger raskt omkring en midlere retning. En antar at disse svigningene skjer uordnet og betrakter transporten på grunn av denne uordnete bevegelsen som en diffusjonsprosess i alle retninger ut fra områder med stor konsentrasjon. Det forurensende stoff kan gå over i andre kjemiske forbindelser, avsettes direkte på bakken eller vaskes ut av nedbør. Dette vil fjerne forurensninger fra atmosfæren. Alle kildene vil tilføre atmosfæren forurensende stoff, og de observerte endringene i konsentrasjonen vil være en følge av alle disse prosessene. Kontinuitetsligningen for det forurensende stoffet gir et matematisk uttrykk for balansen mellom de nevnte fysiske prosessene.

En forenklet form av kontinuitetsligningen kan skrives på følgende måte:

$$(1) \quad \frac{\partial \bar{q}}{\partial t} = - \underbrace{\nabla_h \cdot (\vec{V}_h q)}_I + \underbrace{\nabla_h \cdot (K \nabla_h q)}_{II} - \underbrace{Cq}_{III} + \underbrace{\bar{Q}}_{IV}$$

Størrelsene i ligningen betyr:

$q$  : konsentrasjonen av stoffet  $[M/L^3]$  .

$\vec{V} = u\vec{i} + v\vec{j}$ : den horisontale hastigheten  $[L/T]$  .

$\vec{i}$  og  $\vec{j}$  : enhetsvektorer langs henholdsvis x- og y-aksen.

$t$  : tiden  $[T]$  .

$K$  : den horisontale diffusjonskoeffisient  $[L^2/T]$  .



C : proporsjonalitetsfaktor som angir størrelsen av tap ved fysiske prosesser som vertikalutlufting av forurensning og overgang til andre stoffer  $[T^{-1}]$ .

Q : kildestyrken  $[M/L^3T]$ .

$\nabla_h = \vec{i} \frac{\partial}{\partial x} + \vec{j} \frac{\partial}{\partial y}$  : den horisontale del-operator  $[L^{-1}]$ .

$\overline{(\quad)}$  : betegner vertikalmidlet gjennom et skikt med høyde H.

Bokstavene i klammer  $[ ]$  betegner størrelsens dimensjon.

M: masse, L: lengde, T: tid.

Forurensningskildene i en by eksisterer i alle nivåer fra bakken og opp til en viss høyde H. Det er derfor naturlig å betrakte et vertikalmiddel av kontinuitetsligningen fra bakken og opp til høyden H, som uttrykt i ligning 1.

Venstre side i ligningen betegner konsentrasjonens endring med tiden. Høyresiden består av fire ledd:

I : uttrykker virkningen av den horisontale middelvinden.

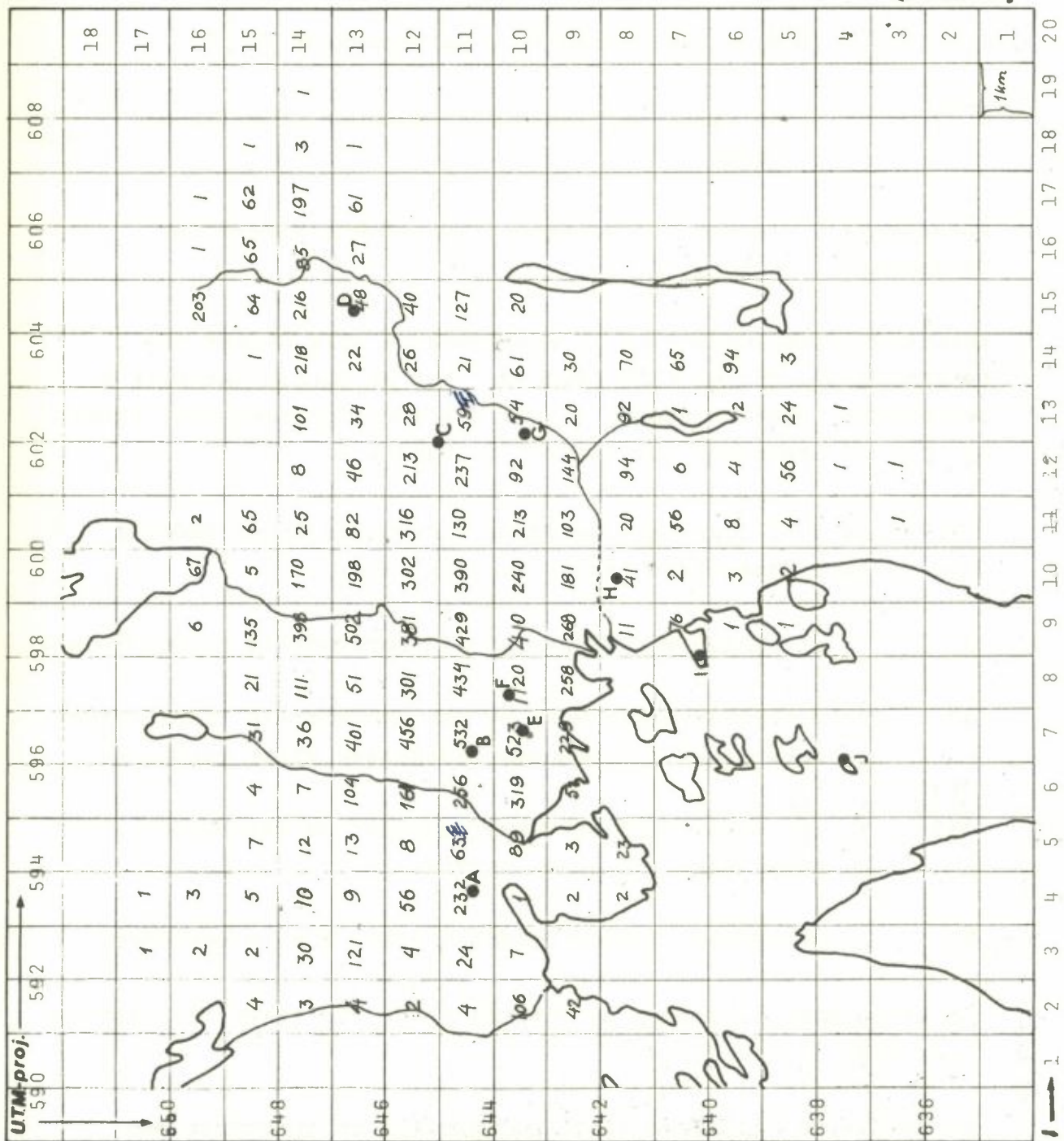
II : uttrykker virkningen av den horisontale transporten forårsaket av uordnete bevegelser eller turbulens.

III : tar hensyn til vertikaltransport av forurensning og overgangen til andre stoffer.

IV : uttrykker midlere kildefordeling som volumkilder.

En grundigere vurdering av forenklingene som fører til ligning 1 er gitt i appendiks 1.

De deriverte i differensialligningen (1) er erstattet med endelige differenser og en får dermed frem den numeriske modellen som er beskrevet i appendiks.



- A - Skøyen
- B - Briskeby
- C - Økern
- D - Nyland stasjon
- E - Haakon VII'sgt
- F - St Olavs plass
- G - Bryn skole
- H - Ekeberg
- I - Sjursøya
- J - Husbergøya

Figur 2

Svovelutslippet i Oslo gjennom L kvartal 1970.

Enhet: 100 kg S/2  
3 mndr km<sup>2</sup>

Den numeriske modellen består av et regneskjema som kan benyttes til å beregne konsentrasjonen ved et senere tidspunkt ut fra en kjent konsentrasjonsfordeling, en representativ vindhastighet  $\vec{V}$ , en horisontal diffusjonskoeffisient  $K$ , en proporsjonalitetsfaktor  $C$  og en kildefordeling  $Q$ .

Modellen er prøvet på aktuelle data fra en meteorologisk situasjon som gav relativt høye forurensningskonsentrasjoner i Oslo-området. Det første spesialstudium knyttet til data fra den 27.2.70. De meteorologiske målingene og  $SO_2$  målingene er beskrevet og vurdert av Einar Joranger.

En har videre fått data fra oljeselskapene over levert olje innen hver  $km^2$  for 1. kvartal 1970 omregnet til svovelinnhold. Se figur 2. Disse dataene er videre vurdert av Mads J Thyvold. Forbruk av olje registreres innen ruter som svarer til

UTM-systemets  $km$  ruter. Gridsystemet  $(i,j)$  for den numeriske modellen er lagt slik at gridpunktene danner midtpunktene i de nevnte rutene.

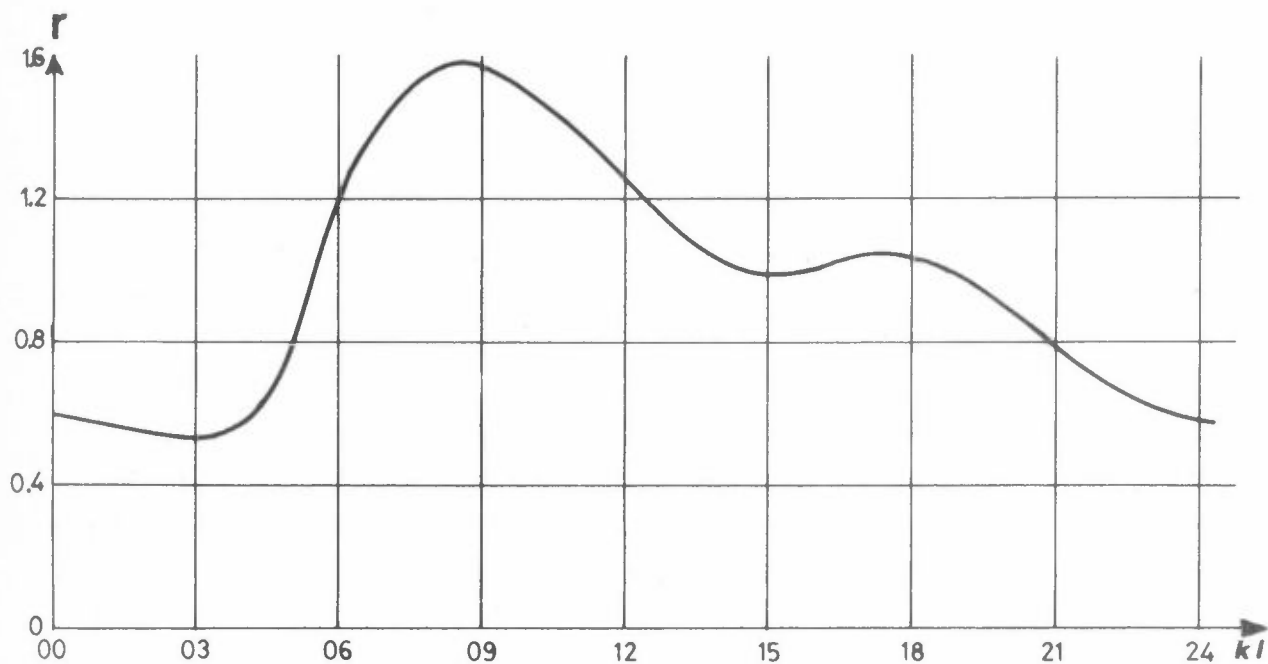
En antar at oljedataene beskriver svovelutslipp innen hver  $km^2$ -rute i området med tilstrekkelig grad av nøyaktighet. For å fordele dette svovelutslippet til de enkelte dagene antar en at det øker proporsjonalt med temperaturavviket fra  $17^{\circ}C$ . Til dette formål benytter en graddager som defineres på følgende måte:

Et døgns graddagstall betegner hvor mange grader kaldere døgnets middeltemperatur er i forhold til  $17^{\circ}C$ .

Etter denne definisjonen beregner en summen av alle graddager i 1. kvartal 1970 til å være 2034.8. Middeltemperaturen på Blindern den 27.2.70 var  $-16.3$ . Dette gir 33.3 graddager.

$k$  betegner den delen av oljeforbruket i et kvartal som benyttes i et bestemt døgn.

Ut fra graddagstallene kan en beregne verdien av  $k$  som gjelder for den 27.2.70.



Figur 3 Den døgnlige variasjon av  $\text{SO}_2$ -utslippet. Forholdet  $r$  mellom det instantane utslipp og det midlere døgnlige utslipp er fremstilt som funksjon av tiden på døgnet. (6)

Dette forholdstallet vil overvurdere SO<sub>2</sub>-utslippet den 27.2.70, idet oljen som forbrennes uavhengig av lufttemperaturen ikke er trukket fra og graddagstallet er relativt høyt. På den annen side har en ikke tatt med SO<sub>2</sub>-utslipp fra forbrenning av fast brensel og annet.

$$k = \frac{33.3}{2034.8} = 1.63 \cdot 10^{-2}$$

For å fordele oljeforbruket gjennom et døgn har en benyttet data som er gitt N.E. Bowne (6). Dataene er fremkommet ved et studium av utslippsforholdene i Connecticut om vinteren. Mads J. Thyvolds studie av utslippsforholdene i Oslo vil senere vise om utslippsforholdene i Oslo er vesentlig annerledes. Figur 3 viser midlere forskjeller i SO<sub>2</sub> utslippet gjennom døgnnet som er benyttet i beregningene.

Utslippet innen hver km<sup>2</sup> (se figur 2) antas skje i forskjellige høyder opp til en viss øvre grense avhengig av en viss høyeste effektive pipehøyde H. Denne er estimert til å være 80 meter. En antar at utslippene over Oslo kan tilnærmes ved en volumkilde med høyde 80 meter.

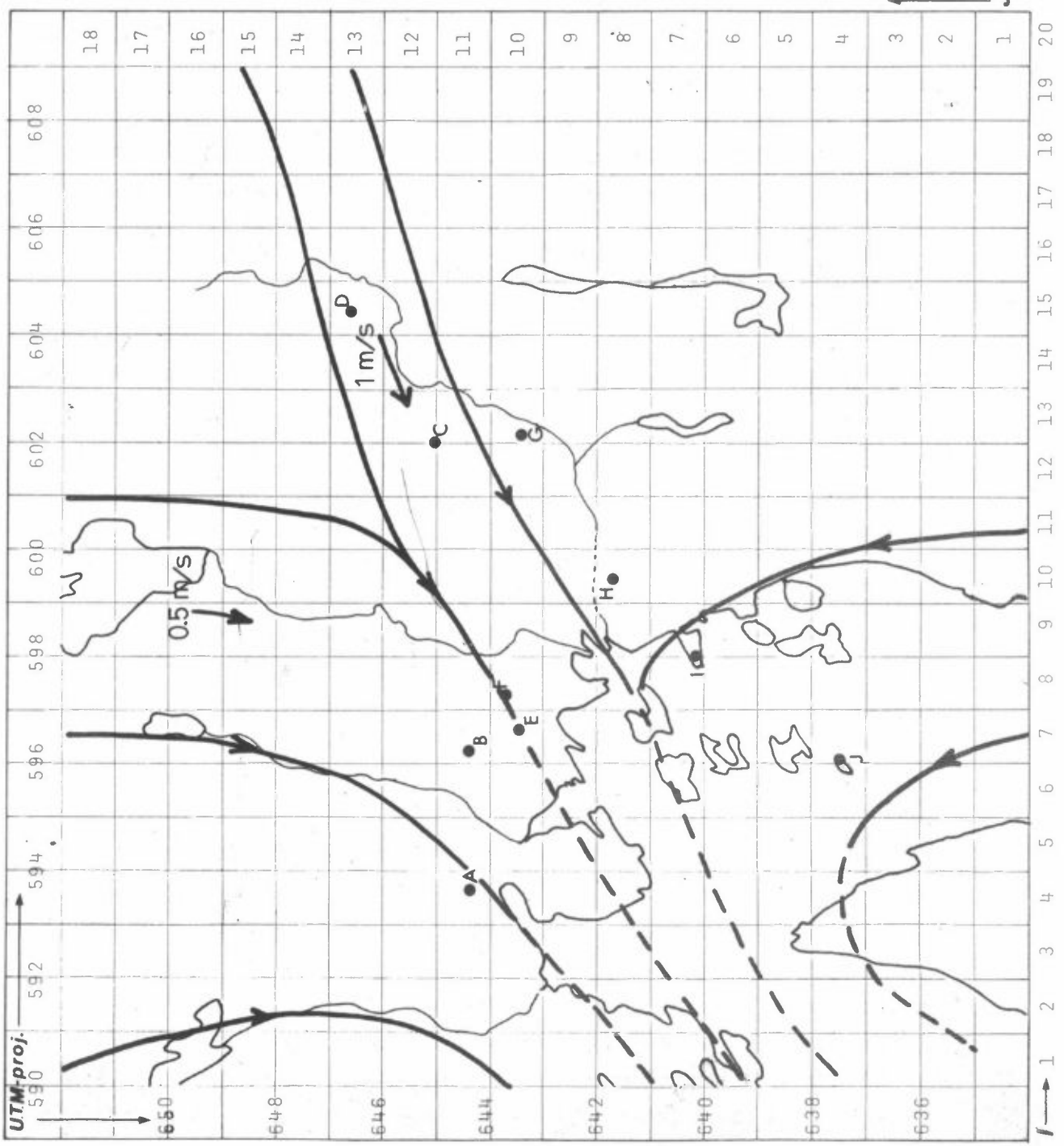
Alle enkeltkilder som fører til en skjevhet av utslippene i forhold til volumkilden innen de forskjellige boksene må behandles særskilt. Dersom en ikke gjør dette, må en vente å få avvik mellom observert og beregnet SO<sub>2</sub> konsentrasjon i omegnen av enkeltkilden. Utsagnet H = 80 meter blir vurdert grundigere når en får bedre oversikt over utslippsforholdene i Oslo.

Tallene som er vist på figur 2 gir utslippet i enheten 100 kg/km<sup>2</sup> · 3 måneder. En tar hensyn til graddagene og en representativ maksimal utslippshøyde H og en beregner så et midlere utslipp i et skikt med høyde H gjennom et døgn (enhet: M/L<sup>3</sup> T). En bør merke seg at utslippene pr volumenheter og dermed de beregnede konsentrasjonene er omvendt proporsjonale med høyden H. Høyden H kan dessuten endre seg innen området. Dette har en ikke tatt hensyn til i de foreløpige beregningene. Den horisontale middelvinden kan deles opp i to deler.

- A - Skøyen
- B - Briskeby
- C - Økern
- D - Nyland stasjon
- E - Haakon VII'sgt
- F - St Olavs plass
- G - Bryn skole
- H - Ekeberg
- I - Sjursøya
- J - Husbergøya

Figur 4

Strømfunksjonen som tilnærmet beskriver vindforholdene i Oslo 26-27.2.70

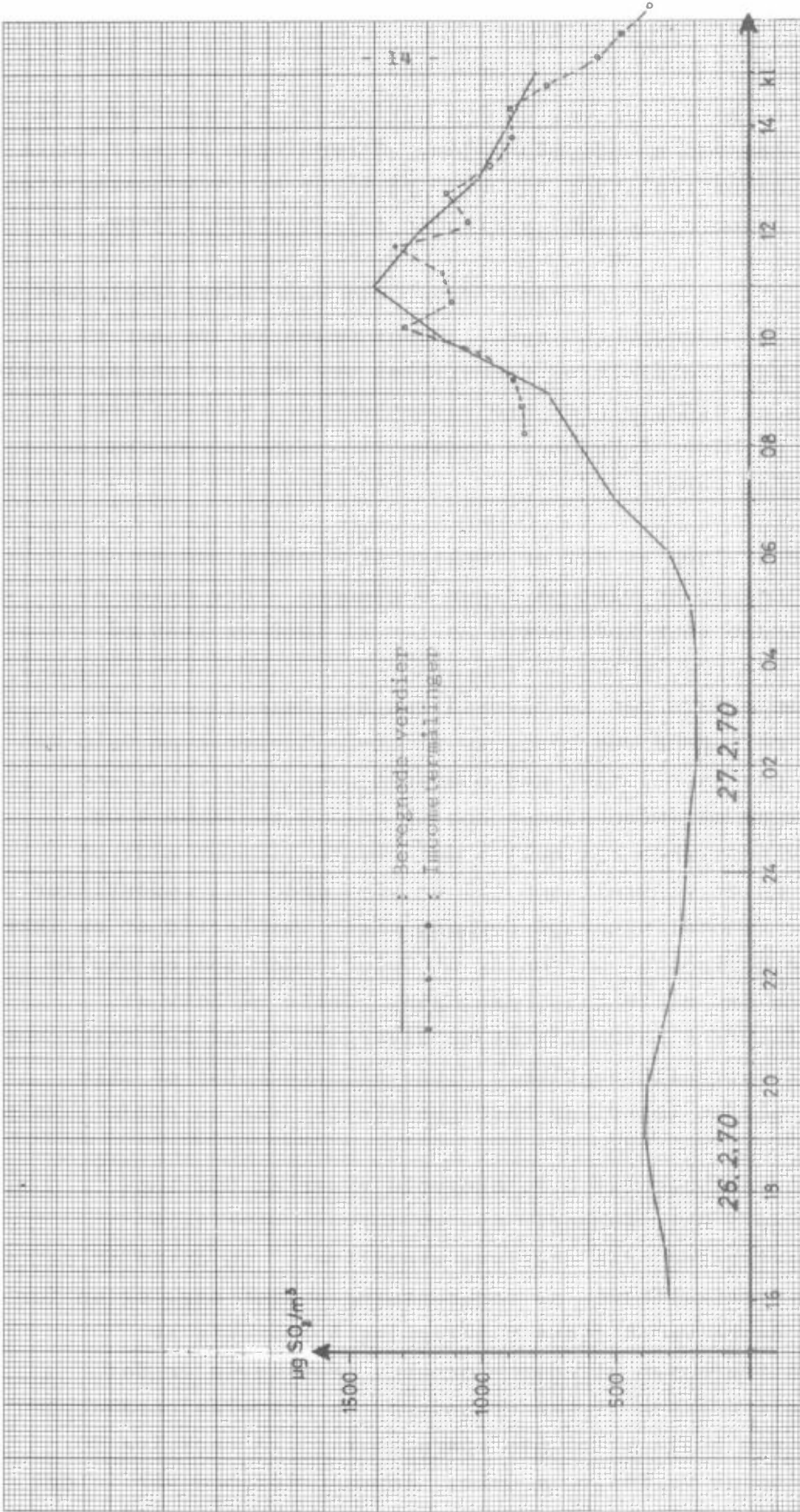


Den ene delen beskriver her en ren horisontal gjennomstrømning og fremstilles ved en strømfunksjon. Strømningen foregår langs strømfunksjonens isolinjer som vist på figur 4. Vindhastigheten er omvendt proporsjonal med avstanden mellom strømlinjene.

Den andre delen av middelvinden fører til vertikalstrømninger og eventuelle masseopphopninger. Denne delen kalles her et divergent hastighetsfelt og fremstilles ved et hastighetspotensial. Denne delen av middelvinden har sammenheng med varmekildene i området og en håper å kunne ta hensyn til denne på en fysisk fornuftig måte senere.

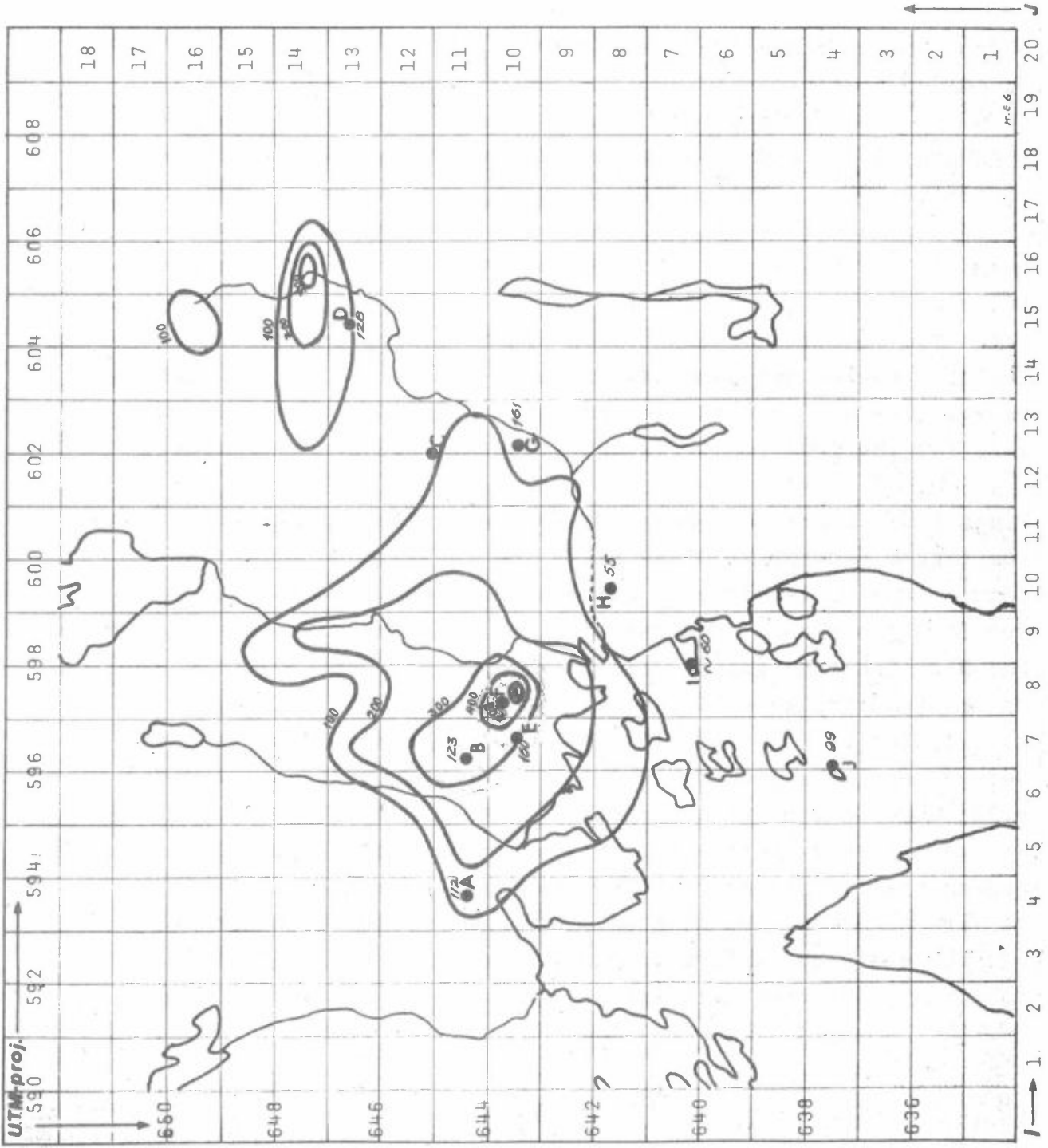
Vindmålingene viser at det er realistisk å regne med en strømfunksjon som er vist på figur 4 gjennom store deler av døgnet. Vinden snur imidlertid mellom kl 1030 og 1630 på stasjonene Nydalen, Blindern (Meteorologiskeinstitutt) og Huseby. I Grorud-dalen blåste det imidlertid fra N-E hele tiden. De spesielle målingene ved hjelp av pilot-ballonger over Oslo den 27 februar gav en relativt god oversikt over vindforholdene. Om en benytter strømfunksjonen som er angitt på figur 4 og reduserer vindstyrken til null i det nevnte tidsrom midt på dagen, har en et vindfelt som til en viss grad tilfredsstillende målingene. Vindmålingene på Fornebu viser imidlertid at en ikke har så stor horisontal strømning ut Oslofjorden som en skulle vente ut fra den målte tilstrømningen. Dette må bety at hastighetsfeltet i bakkeskiktet er divergent og at det forekommer systematisk vertikalbevegelse. Disse effektene tar en ikke hensyn til når en beskriver hastighetsfeltet ved en strømfunksjon.

Korrelasjonsanalysen til O.F. Skogvold viser at  $SO_2$ -konsentrasjoner i Oslo avhenger mye av luftens vertikale temperaturskiktning, den statiske stabilitet. En antar at dette skyldes at vertikalfluxen av forurensning endrer seg, og en tar hensyn til dette ved å gjøre C i ligning 6 avhengig av temperaturdifferensen Blindern-Fornebu. Vanligvis er det temperaturdifferensen Tryvann-Blindern som korrelasjonsanalysen plukker ut som beste stabilitetsparameter til å beskrive  $SO_2$  konsentrasjonens variasjon i Oslo. Indre Oslofjord var islagt vinteren 1970. Dette gjorde at en valgte temperaturdifferensen



Figur 5 Den maksimale SO<sub>2</sub>-konsentrasjonen i sentrum som funksjon av tiden fra kl 1600 den 26.2.70 til kl 1500 den 27.2.70. De beregnede konsentrasjoner er sammenlignet med imcometermålinger på St Olavs plass.





- A - Skøyen
- B - Briskeby
- C - Økern
- D - Nyland stasjon
- E - Haakon VII'sgt
- F - St Olavsplass
- G - Bryn skole
- H - Ekeberg
- I - Sjursøya
- J - Husbergøya

Figur 6

Døgnmiddelverdier av SO<sub>2</sub>-konsentrasjonene fra 26.2 kl 1500 til 27.2 kl 1500. De beregnede verdier sammenlignes med de målte verdiene.

Enhet: µg SO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>

Blindern-Fornebu ( $T_B - T_F$ ) til å beskrive C. En valgte i første omgang en lineær funksjonssammenheng

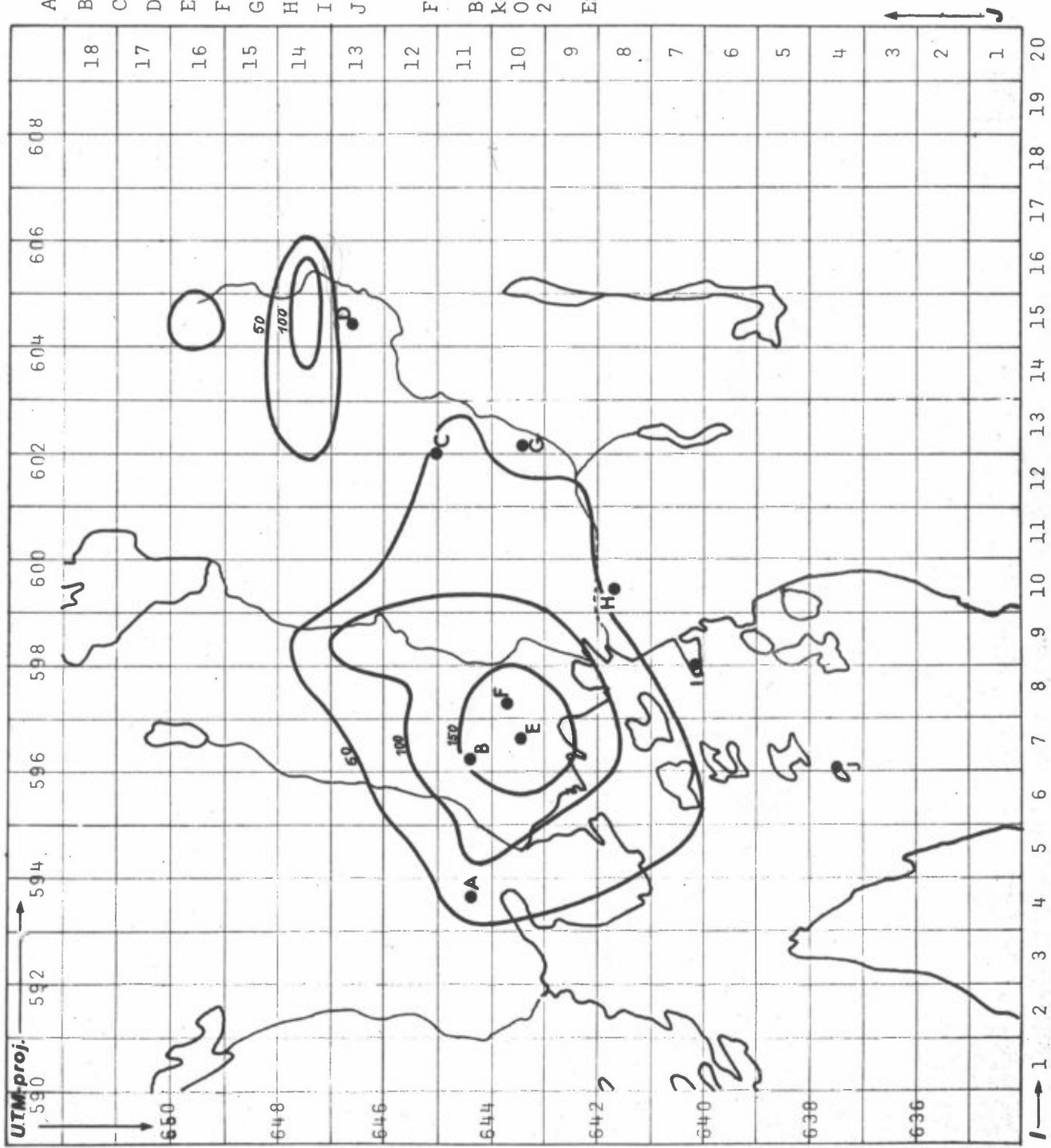
$$C = a + b (T_B - T_F)$$

$$a = 6.0 \cdot 10^{-4} \text{ s}^{-1}$$

$$b = -5.0 \cdot 10^{-5} \text{ s}^{-1} \text{ deg}^{-1}$$

Diffusjonskoeffisienten K er estimert til å være  $10.0 \text{ m}^2/\text{s}$ . Dersom en nå kjenner  $\text{SO}_2$ -konsentrasjonen i Oslo ved et tidspunkt og måler vind og temperatur, kan en beregne hvorledes  $\text{SO}_2$ -konsentrasjonen endrer seg med tiden som følge av dette. Som initialbetingelse satte en konsentrasjonen lik null i hele Oslo kl 1500 den 26 februar 1970, så beregnet en ved hjelp av modellen nye  $\text{SO}_2$  konsentrasjoner hvert 5. minutt og beregnet til slutt 24 timers middel fra den 26 til den 27 februar. Dette tidsrommet ble valgt fordi døgnmiddelprøvene mellom den 26 og 27 dekker det samme tidsrommet. Den urealistiske initialbetingelsen vil føre til at den beregnede konsentrasjonen vil være for lav i de første timene etter kl 1500 den 26 februar.

Figur 5 viser den beregnede  $\text{SO}_2$ -konsentrasjon fra det gridpunkt som ligger nærmest St Olavs plass som funksjon av tiden på døgnet. Disse verdiene er sammenlignet med imcometermålingene fra St Olavs plass. Kurvene viser en meget god overensstemmelse. For å få frem den gode overensstemmelsen var det nødvendig å sette vindhastigheten i området lik null mellom kl 1000 og kl 1500 den 27 februar 1970. Pilotballongene i Oslo viser at det var en svak vind ( $0,3 - 0,9 \text{ m/s}$ ) fra SW om dagen. I modellen ville en slik vind gi en betydelig lavere konsentrasjon på St Olavs plass. Dette må bety at  $\text{SO}_2$ -målingene bare er representative for et relativt grunt skikt, antakelig opp til midlere takhøyde. De høye verdiene representerer meget ugunstige spredningsforhold (inversjon og vindstille), kombinert med maksimal fyringsaktivitet.

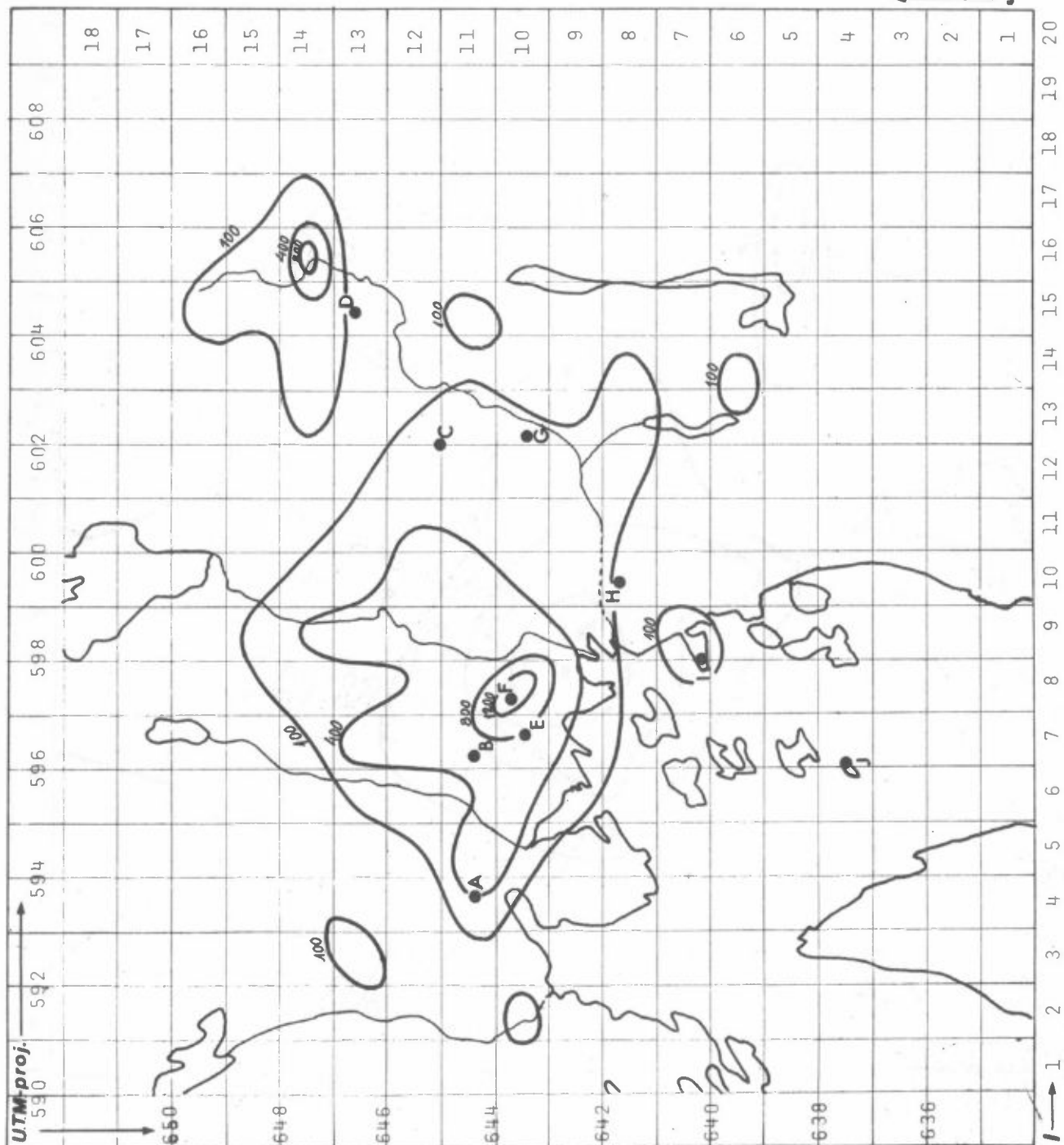


- A - Skøyen
- B - Briskeby
- C - Økern
- D - Nyland stasjon
- E - Haakon VII'sgt
- F - St Olavs plass
- G - Bryn skole
- H - Ekeberg
- I - Sjursøya
- J - Husbergøya

Figur 7

Beregnet minimums-  
konsentrasjon i  
Oslo kl 0200  
27.2.70

Enhet:  $\mu\text{g}/\text{m}^3$



- A - Skøyen
- B - Briskeby
- C - Økern
- D - Nyland stasjon
- E - Haakon VII'sgt
- F - St Olavs plass
- G - Bryn skole
- H - Ekeberg
- I - Sjursøya
- J - Husbergøya

Figur 8

Beregnet maksimums-konsentrasjon i Oslo kl 1100 27.2.70

Enhet:  $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Værsituasjonen den 25 og 26 februar skiller seg ikke mye fra den 27, men den maksimale SO<sub>2</sub>-konsentrasjonen er betydelig mindre. Dette må bety at den horisontale vindtransport har fått en viss effekt også i det laveste luftskiktet på den 25 og 26 februar. Horisontaltransport fra maksimalsonen vil imidlertid føre til at andre bydeler påvirkes sterkere.

Figur 6 viser de beregnede døgnmiddelkonsentrasjonene. Verdiene er fremstilt ved isolinjer. I dette systemet har en så satt inn døgnmiddelverdier fra de respektive stasjonene. Figuren viser at målingene fra Skøyen, St Olavs plass, Ekeberg, Bryn skole og Nyland stasjon faller relativt godt sammen med de beregnede verdier. De målte verdiene på Briskeby og i Haakon VII's gt er for lave, og verdien fra Husbergøya er for høy. Uoverensstemmelser mellom beregnede og observerte verdier kan skyldes utilstrekkelig beregningsmodell, målefeil eller en lite representativ stasjonsplassering.

Ut fra den angitte kildefordelingen virker det lite trolig at SO<sub>2</sub>-konsentrasjonen på Husbergøya skal være nesten like stor som eksempelvis konsentrasjonen på Briskeby. Denne slutning bestyrkes når en betrakter døgnmiddelverdier i relasjon til vindmålingene på Husbergøya som viste svak vind fra nordlig kant i mindre enn 4 timer av hele døgnet. Figur 7 og 8 viser den beregnede konsentrasjonsfordeling i hele byområdet henholdsvis kl 0200 om natten og kl 1100 om dagen den 27 februar 1970. Dette representerer minimal konsentrasjonen og maksimal konsentrasjonen i Oslo i løpet av beregningsperioden.

3

### AVSLUTTENDE KOMMENTARER

Studiet har vist at numeriske beregninger kan gi en god oversikt over forurensningsforholdene og at en vil kunne benytte modellen til å vurdere effekten av forskjellige tiltak for å redusere utslippene. Effekten kan være forskjellig innen forskjellige deler av byen. For å vurdere effekten av eventuelle begrensningstiltak kvantitativt må en beregne

estimerer av nye utslippsdata innen hver km-rute. Modellen kan også benyttes på andre måter, f eks til å fastlegge en rimelig ansvarsfordeling for den forurensede luften i byområdet.

I modellen tar en for seg bestemte vær-situasjoner i Oslo-gryta. Det er av stor betydning å kunne definere noen typiske vær-situasjoner som er viktige ut fra et forurensningssynspunkt. Statistikk over de meteorologiske målingene fra siste og kommende vinter er viktig i denne forbindelse. En bør da tilstrebe beskrivelse av lokale vind- og stabilitetsforhold under forskjellige typer av forurensningsperioder.

Det er også viktig at modellen testes på flere situasjoner slik at en lærer å kjenne dens begrensninger. Målinger av vertikalfordelingen av forurensning og temperatur er viktige parametre for utformingen av modellen.

a) BESKRIVELSE AV DEN NUMERISKE MODELLEN

Kontinuitetsligningen for et stoff i atmosfæren kan skrives på følgende måte:

$$(A1) \quad \frac{\partial q}{\partial t} + \nabla \cdot (\vec{V}q) = \frac{\partial}{\partial x} (\rho K_x \frac{\partial q}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (\rho K_y \frac{\partial q}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z} (\rho K_z \frac{\partial q}{\partial z}) \\ + \text{Kilder} + \text{Sluk}$$

$t$  : tiden

$x, y, z$  : aksene i et rettvinklet koordinatsystem med enhetsvektorene  $\vec{i}$ ,  $\vec{j}$  og  $\vec{k}$ .

$\nabla = \vec{i} \frac{\partial}{\partial x} + \vec{j} \frac{\partial}{\partial y} + \vec{k} \frac{\partial}{\partial z}$  : den tredimensjonale deloperator.

$q$  : tettheten av stoffet.

$\rho$  : tettheten av luften.

$\vec{V} = u\vec{i} + v\vec{j} + w\vec{k}$  : den tredimensjonale vindvektor.

$K_x, K_y, K_z$  : de turbulente diffusjonskoeffisientene langs  $x$ ,  $y$  og  $z$  aksene.

En regner  $\rho$  som en konstant i området, og setter  $K_x = K_y = K$ .

Videre integrerer en ligningen (A1) med hensyn på den vertikale koordinaten  $z$  gjennom et skikt fra bakken til høyde  $H$  over bakken og studerer middelverdier i dette skiktet.

$$\frac{1}{H} \int_0^H \frac{\partial q}{\partial t} dz = - \frac{1}{H} \int_0^H \nabla_h \cdot (\vec{V}_h q) dz + \frac{1}{H} \int_0^H \nabla_h \cdot (K \nabla_h q) dz - \\ (A2) \quad - \frac{1}{H} ((wq)_H - (wq)_0) + \frac{1}{H} ((K_z \frac{\partial q}{\partial z})_H - (K_z \frac{\partial q}{\partial z})_0) + \frac{1}{H} \int_0^H Q dz - \\ - \frac{1}{H} \int_0^H C_0 q dz.$$

Alle sluk (f eks overgang fra  $SO_2$  til  $SO_3$ ) er satt proporsjonale med konsentrasjonen selv, proporsjonalitetsfaktor  $C_0$ . Kildene til forurensning betegnes med  $Q = Q(x,y,t)$ .

$$\nabla_h = \vec{i} \frac{\partial}{\partial x} + \vec{j} \frac{\partial}{\partial y} \quad : \text{ den horisontale deloperator}$$

$$\vec{V}_h = u\vec{i} + v\vec{j} \quad : \text{ den horisontale vindvektor}$$

Høyden  $H$  velges slik at en får med alle forurensningskilder innen de forskjellige rutene. Ved bakken settes  $w$  og  $K_z = 0$ . Videre betrakter en midlere størrelser innen skiktet med høyde  $H$  og betegner disse med  $(\bar{\quad})$ . Dette gir følgende ligning:

$$(A3) \quad \frac{\partial \bar{q}}{\partial t} = - \nabla_h \cdot (\overline{\vec{V}_h q}) + \nabla_h \cdot (\overline{K \nabla_h q}) - \frac{1}{H} (wq)_H + \left( \frac{K_z}{H} \frac{\partial q}{\partial z} \right)_H + \bar{Q} - \bar{C}_0 q$$

Den vertikale fluxen  $F_H$  gjennom taket av skiktet med høyde  $H$  uttrykkes ved følgende ledd:

$$(A4) \quad F_H = \frac{1}{H} (wq)_H - \left( \frac{K_z}{H} \frac{\partial q}{\partial z} \right)_H$$

Ved bakken settes fluxen lik null. Under forurensnings-situasjoner i Oslo er luften meget stabil og den vertikale utveksling er relativt liten. Når en kommer høyere enn kildene er det rimelig å anta at  $q$  avtar raskt. Bidraget til vertikalfluxen på grunn av den vertikale diffusjonen settes proporsjonal med konsentrasjonen selv. Forurensningskildene vil samtidig være varmekilder og danne vertikalbevegelser og dermed et divergent horisontalt hastighetsfelt. Der hvor kildene er store, vil også forurensningene være store. Som en første tilnærming setter en også dette bidraget til vertikalfluxen proporsjonal med konsentrasjonen selv.



Det er imidlertid av stor betydning å forstå de fysiske prosesser som bevirker spredningen, og for å vurdere betydningen av den vertikale transporten er det meget viktig å få målt den vertikale fordelingen av forurensning under noen typiske inversjonssituasjoner.

Varmetransporten og massetransporten i atmosfæren bør inngå i vurderingene, idet en kan si at spredningen av et forurensende stoff vil styres av disse effektene. Transporten av varme og masse griper dynamisk inn i luftens bevegelser (som ikke SO<sub>2</sub>-gassen formår).

Det divergente horisontale hastighetsfeltet er meget vanskelig å måle, men en vet at det resulterer i systematisk vertikalbevegelse. Vi kjenner i dag ingen anerkjent og praktisk gjennomførbar metode for å måle den systematiske vertikale bevegelse for eksemplet over Oslo-gryta. En kan imidlertid anta at vertikalbevegelsene stort sett forårsakes av varmekildene i området. En håper å løse dette problem i det videre arbeidet med modellen. Som første tilnærming samler en i et ledd effektene som skyldes fluxen gjennom taket og overgang til andre stoffer. Den samlede effekten settes proporsjonal med konsentrasjonen selv.

$$(A5) \quad C\bar{q} = \overline{C_0 q} + \frac{1}{H} (\overline{wq})_H - \left( \frac{K_z}{H} \frac{\partial \bar{q}}{\partial z} \right)_H$$

Dette gir følgende ligning:

$$(A6) \quad \frac{\partial \bar{q}}{\partial t} = - \nabla_h \cdot (\overline{\vec{V}q}) + \nabla_h \cdot (\overline{K \nabla_h q}) - C\bar{q} + \bar{Q}$$

En har gjort en rekke forsøk med å tilnærme denne ligningen ved en endelig differensligning. Disse forsøk er omtalt i punkt B i Appendiks I, og resulterte i følgende endelige differensligning som en tilnærming for ligning (A6).

$(X)_{i,j}^K$  : angir størrelsen X i grid-punktet i,j ved tidspunktet K.

De enkelte deler av ligning 6 tilnærmes på følgende måte:

$$(A7) \frac{\partial q}{\partial t} \approx \frac{q_{i,j}^{K+1} - q_{i,j}^K}{\Delta t}$$

$$(A8) \nabla_h \cdot (\vec{v}_h q) = \frac{\partial}{\partial x} (\overline{uq}) + \frac{\partial}{\partial y} (\overline{vq})$$

$$(A9) \frac{\partial}{\partial x} (\overline{uq}) \approx \frac{1}{\Delta x} (u_{i+\frac{1}{2},j}^K q_{i+\ell,j}^K - u_{i-\frac{1}{2},j}^K q_{i+m,j}^K)$$

gir

$$u_{i+\frac{1}{2},j} > 0 \quad \text{gir} \quad \ell = 0$$

$$u_{i+\frac{1}{2},j} < 0 \quad \text{gir} \quad \ell = 1$$

$$u_{i-\frac{1}{2},j} > 0 \quad \text{gir} \quad m = -1$$

$$u_{i-\frac{1}{2},j} < 0 \quad \text{gir} \quad m = 0$$

$$(A10) \frac{\partial}{\partial y} (\overline{vq}) \approx \frac{1}{\Delta y} (v_{i,j+\frac{1}{2}}^K q_{i,j+\ell}^K - v_{i,j-\frac{1}{2}}^K q_{i,j+m}^K)$$

$$v_{i,j+\frac{1}{2}} > 0 \quad \text{gir} \quad \ell = 0$$

$$v_{i,j+\frac{1}{2}} < 0 \quad \text{gir} \quad \ell = 1$$

$$v_{i,j-\frac{1}{2}} > 0 \quad \text{gir} \quad m = -1$$

$$v_{i,j-\frac{1}{2}} < 0 \quad \text{gir} \quad m = 0$$

Kort kan en si at differensformlene (A9) og (A10) uttrykker middeltransporten av forurensning. Transporten beregnes på grunnlag av konsentrasjonen i det gridpunkt hvor luften kommer fra. I beregningene som er utført hittil har en antatt at det horisontale hastighetsfelt kan beskrives ved en strømfunksjon. Strømfunksjonen  $\Psi$  er estimert ut fra vindmålingene og strømfunksjonen tillegges verdi i hvert grid-punkt.

$$(A11) \quad \vec{V}_h = \vec{k} \times \nabla_h \Psi = - \frac{\partial \Psi}{\partial y} \vec{i} + \frac{\partial \Psi}{\partial x} \vec{j}$$

Denne betraktningsmåten føres inn i ligningene (A8) og (A9) på følgende måte:

$$\begin{aligned} u_{i+\frac{1}{2},j}^K &= - \frac{1}{4\Delta y} (\psi_{i+1,j+1}^K + \psi_{i,j+1}^K - \psi_{i+1,j-1}^K - \psi_{i,j-1}^K) \\ u_{i-\frac{1}{2},j}^K &= - \frac{1}{4\Delta y} (\psi_{i,j+1}^K + \psi_{i-1,j+1}^K - \psi_{i,j-1}^K - \psi_{i-1,j-1}^K) \\ (A12) \quad v_{i,j+\frac{1}{2}}^K &= \frac{1}{4\Delta x} (\psi_{i+1,j+1}^K + \psi_{i+1,j}^K - \psi_{i-1,j+1}^K - \psi_{i-1,j}^K) \\ v_{i,j-\frac{1}{2}}^K &= \frac{1}{4\Delta x} (\psi_{i+1,j}^K + \psi_{i+1,j-1}^K - \psi_{i-1,j}^K - \psi_{i-1,j-1}^K) \end{aligned}$$

Formlene (A7), (A8), (A9), (A10) og (A12) kombineres i ligning (A6) og gir den endelige differensformel som er benyttet når en ut fra kjennskapet til størrelsene  $\Psi$ ,  $K$ ,  $C$ ,  $Q$  og  $q$  ved tidspunktet  $K$  finner  $q$  ved tidspunktet  $K+1$ .

b) BESKRIVELSE AV DE NUMERISKE FORSØK SOM FØRTE TIL VALGET AV REGNESKJEMA

De første modellberegningene ble utført i april 1970. En betraktet kun horisontaltransporten ( $\nabla_h (\vec{V}_h q)$ ) i første omgang idet en lot konsentrasjonen  $q$  være konstant langs den ene kanten av området, mens en vind vertikalt på denne kanten transporterte forurensningen inn i området. Utviklingen under disse forhold ble beregnet ved hjelp av forskjellige differensformler.

Følgende forenklete form av ligning (A3) ble lagt til grunn ved disse beregningene.

$$\frac{\partial q}{\partial t} = - \nabla_h \cdot (\vec{V}_h q) .$$

Uttrykket på høyre side ble tilnærmet ved uttrykket i ligningene (A8), (A9), (A10), (A11) og (A12), dog slik at  $\ell = +\frac{1}{2}$ ,  $m = -\frac{1}{2}$ . Når en dermed måtte ha verdier for forurensningen  $q$  midt mellom to grid-punkter, satte en denne lik middelverdien mellom verdiene i de to nærmeste grid-punktene.

$$q_{i+\frac{1}{2},j}^K = 0.5 \cdot (q_{i,j} + q_{i+1,j})$$

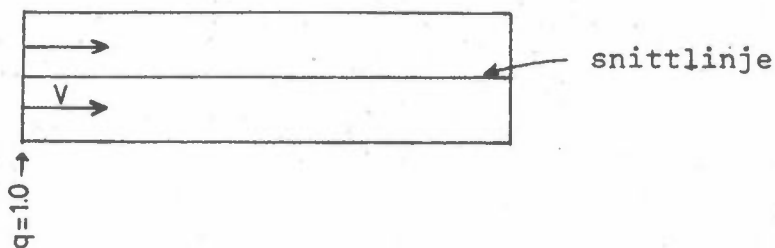
$$q_{i-\frac{1}{2},j}^K = 0.5 \cdot (q_{i,j} + q_{i-1,j})$$

Tilsvarende formler gjelder i punktene  $(i, j+\frac{1}{2})$ ,  $(i, j-\frac{1}{2})$ . Dette er en naturlig måte å tilnærme høyre siden i ligningen på. Venstre side ble tilnærmet på følgende to måter:

$$\frac{\partial q}{\partial t} \approx \frac{q_{i,j}^{K+1} - q_{i,j}^K}{\Delta t} \quad (\text{usentrert metode})$$

$$\frac{\partial q}{\partial t} \approx \frac{q_{i,j}^{K+1} - q_{i,j}^{K-1}}{2\Delta t} \quad (\text{sentrert metode})$$

En tenker seg kildene plassert langs den ene kanten og av en slik art at konsentrasjonen holdes konstant (1.0). Forholdene er vist i figur A1. Teoretisk ville forurensningene bevege seg innover i området lik en vegg med vindens hastighet. Etter hvert vil alle grid-punktene få konsentrasjonen 1.0.

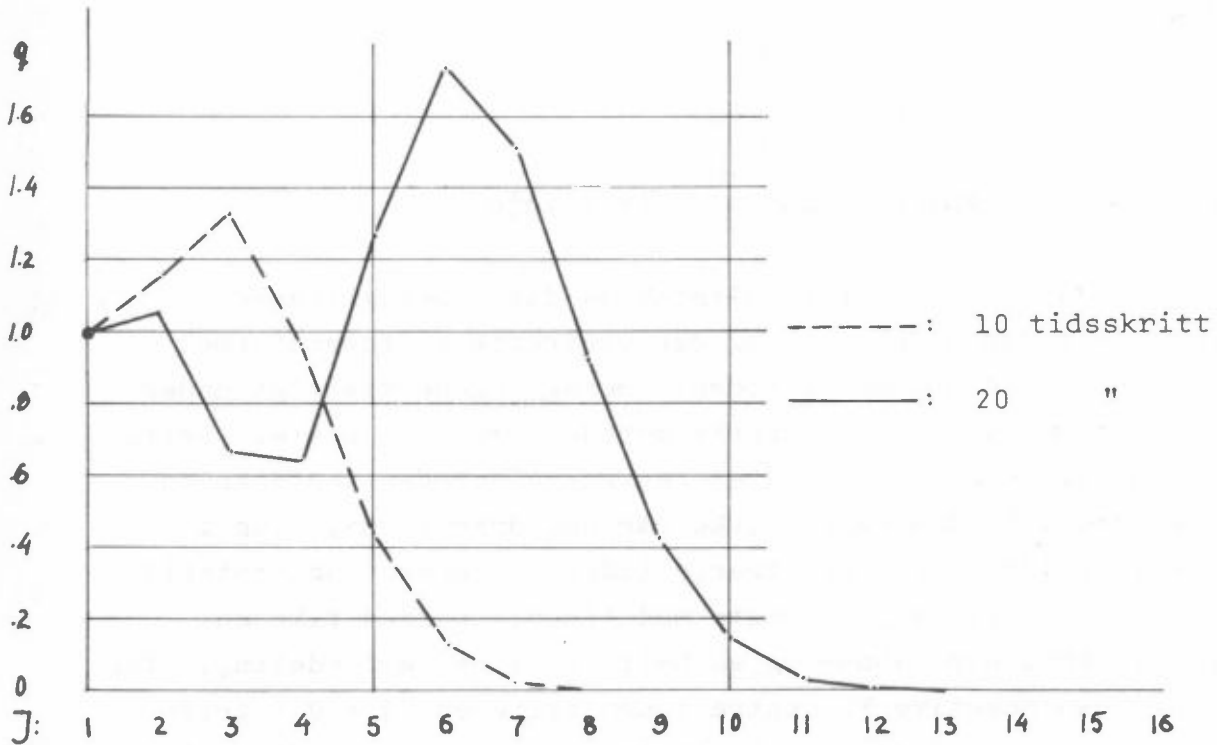


Figur A1: Beregningsområde med snittlinje

Figurene A2 og A3 viser resultatet av disse beregningene for henholdsvis den usentrerte og den sentrerte differensformel for å beregne endringen i tiden. Beregningene viser at under disse forhold vil den sentrerte metoden være den beste. Dette kan også vises analytisk. Den sentrerte metoden innfører en falsk numerisk løsning som ikke får avgjørende betydning i dette tilfellet. Den usentrerte tidsdifferensen var instabil slik at kunstige bølger vokste med tiden. Dermed fikk en negative konsentrasjoner og en helt urealistisk fordeling. For å unngå den negative konsentrasjonen satte en  $\vec{V}q = 0$  i grid-punktet opp mot vinden når konsentrasjonen  $q$  var mindre eller lik null. Dette hjalp noe, men det så ut til å bli vanskelig å regne seg tilstrekkelig langt frem i tiden slik at en kunne vurdere en forurensningssituasjon i Oslo med rimelig nøyaktighet.

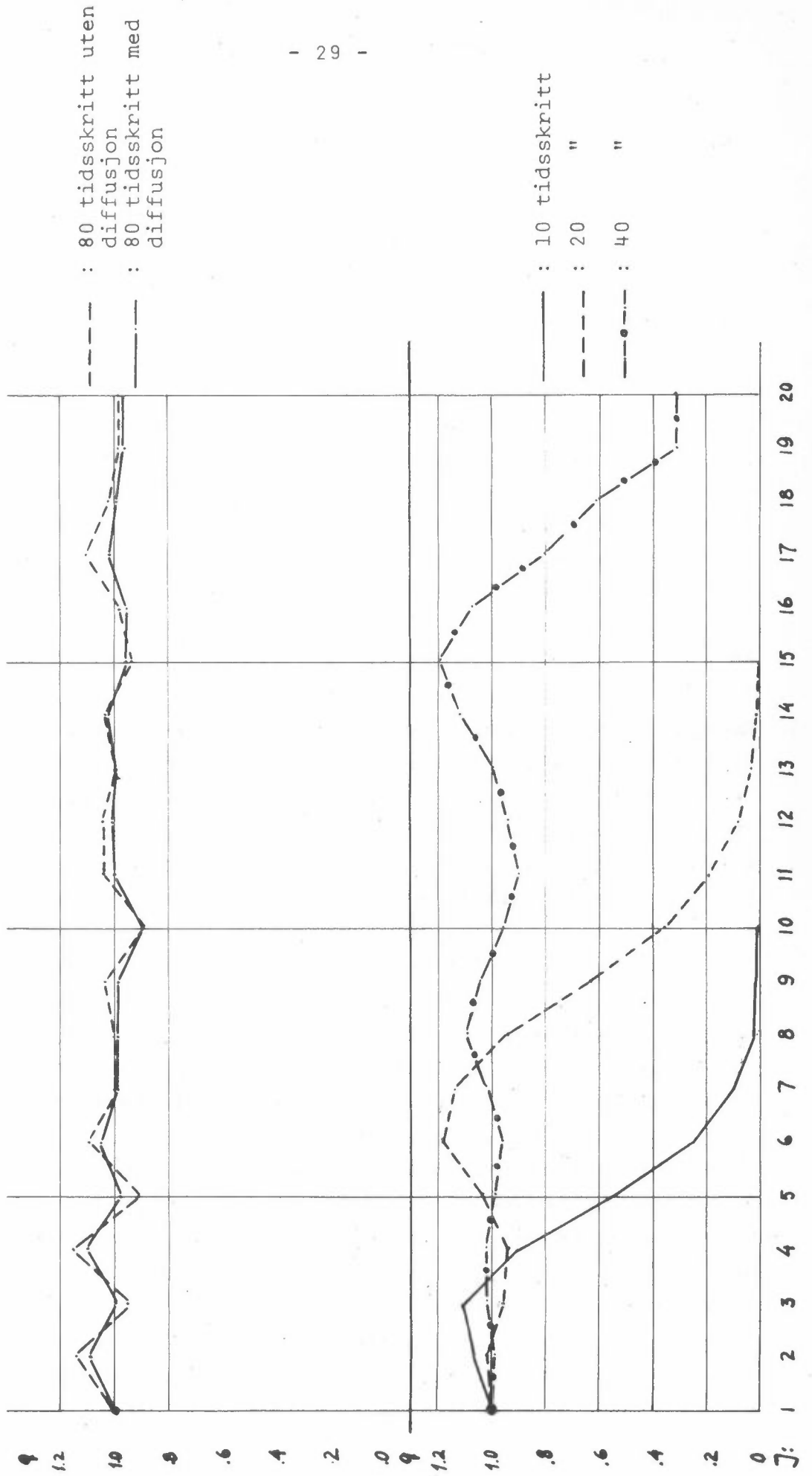
Det er et velkjent nødvendig krav for å få numerisk stabilitet at tidssteppet  $\Delta t$  ikke er så stort at egenskapen  $q$  kan transporteres lenger enn avstanden mellom to grid-punkter. Hvis  $[\vec{V}]_{\max}$  er den maksimale hastighet i området, har en

$$[\vec{V}]_{\max} \Delta t < \frac{1}{\sqrt{2}} \Delta X \quad .$$



Figur A2: Konsentrasjonsfordeling i et snitt med konstant I etter 10 og 20 tidsskritt ved den usentrerte differensformel.

Figur A3: Konsentrasjonsfordeling i et snitt med konstant I etter 10, 20, 40 og 80 tidsskritt ved den sentrerte differensformel. Virkningen av diffusjonen er vist etter 80 tidsskritt.



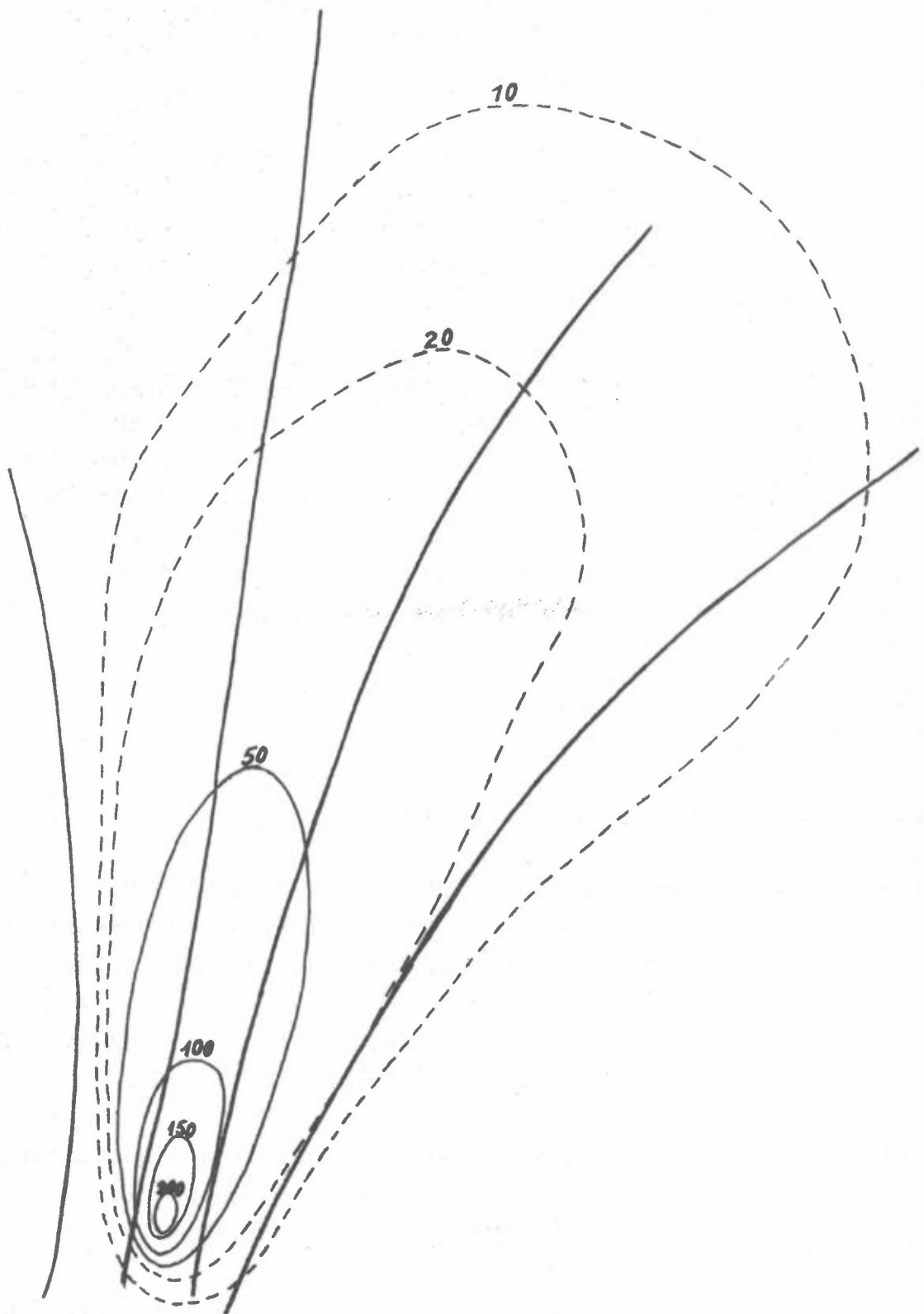
Med en rimelig oppløsning av Oslo-regionen i grid-punkter ( $\Delta X \sim 500 - 1000$  m) og  $[\vec{V}]_{\max} = 2$  m/s må en regne med en realistisk verdi for  $\Delta t$  på 5 minutter. Dette gir 288 tidsskritt for å regne 1 døgn frem i tiden.

Den sentrerte tidsdifferens virket relativt gunstig når en betraktet de enkle forhold som er beskrevet i figur A1. Når en innførte en enkel kilde  $Q$  i en rute  $(i,j)$  i det indre av området fikk en vanskeligheter også med denne differensformelen. En forsøkte på forskjellige måter å jevne ut de numeriske feilene som oppsto, men det var ikke mulig å få realistiske resultater etter omkring hundre tidsskritt.

På dette stadium av undersøkelsen gikk en over til å studere den stasjonære tilstanden som et grenseverdiproblem. Disse beregningene ga enkelte resultater som virket fornuftige. Ved denne betraktningmåten var det imidlertid nødvendig å sette den horisontale transporten lik null. Det horisontale transportleddet er imidlertid under vanlige atmosfæreforhold meget viktig. Ved å løse problemet som et initialverdiproblem vil en finne den stasjonære tilstanden dersom en lar utslippsforholdene og spredningsforholdene være konstante. Følgelig arbeidet en mer for å finne brukbare differensformler.

Nyttige diskusjoner med og forslag fra forsker Jack Nordø, teoretiske betraktninger og praktiske numeriske forsøk med spredning av forurensning fra en enkeltkilde førte til slutt frem til differensformlene som er gitt i punkt a) i appendiks I. Disse formlene viste seg å være meget stabile, og at en kunne finne den stasjonære tilstanden uten vanskelighet dersom en overholdt kravet til  $\Delta t$  ut fra  $\Delta X$ . Forsøkene med spredning av forurensning ble foretatt ved at en studerte virkningen av et årsutslipp på 100 tonn svovel i en rute og beregnet et realistisk svovelutslipp pr tidsenhet i fyringssesongen, på en vind ved en strømfunksjon og tok med alle leddene som er beskrevet ved ligning (A6). Grunnen til at den usentrerte





Enhet:  $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Figur A4: Spredning av  $\text{SO}_2$  i et ikke-homogent vindfelt

tidsdifferensen nå virker mye bedre er at diffusjonsleddet virker dempende slik at en unngår den instabilitet en har om en kun betrakter transportleddet. Selv om turbulent diffusjon fysisk ikke har så stor betydning på løsningen (se figur A3) har det avgjørende betydning for å stabilisere regneskjemaet som benytter den usentrerte tidsdifferens. Ved den sentrerte tidsdifferens er det den falske løsningen som lager de alvorlige vanskelighetene. Diffusjonsleddet får her liten betydning som vist tidligere.

Figur A4 viser den stasjonære konsentrasjonsfordelingen rundt en enkelt kilde ved et inhomogent vindfelt. Dersom en betrakter store enkeltstående punktkilder, bør disse vurderes spesielt i modellen. Modellen betrakter kun kilder som kan fordeles relativt jevnt innen "bokser" med sidekanter av størrelsesorden km og høyde H. Det synes rimelig å betrakte bidraget fra de store enkeltstående punktkildene ved en vanlig gaussisk spredningsformel i den umiddelbare nærhet av pipen. Disse forhold har en ennå ikke tatt hensyn til i modellen.

#### REFERANSER

- (1) A.C. Stern : Air Pollution, Vol I, side 215.
- (2) M. Neiburger : Diffusion Models of Urban Air Pollution, Technical Note No 108, World Meteorological Organization. NMO-No 254 TP141 side 248.
- (3) W. Lindberg : Den alminnelige luftforurensning i Norge. Utgitt av Røykskaderådet. 1968.
- (4) H. Reiquam : An Atmospheric Transport and Accumulation Model for Airsheds. Atmospheric Environment Vol 4 No 3, May 1970.
- (5) H. Reiquam : Use of a Box Model of the Atmosphere in Oslo. FFIK Teknisk Notat K-396.
- (6) N.E. Bowne : A simulation Model for Air Pollution over Connecticut. Journal of Air Pollution Cont. Ass. Vol 19 No 8, August 1969 side 570.

KONKLUSJON

Denne rapporten omhandler bare behandling av SO<sub>2</sub>-data og data for total mengde svevestøv i luften, uttrykt ved svertningsgraden. Mengden av de enkelte forurensningskomponenter i støv er foreløpig ikke behandlet. Innholdet av SO<sub>2</sub> i luften oppfattes ofte som et mål for forurensningsgraden, men forholdet mellom mengden av forskjellige forurensningskomponenter kan variere meget fra sted til sted. For vurdering av forurensningsnormer for et område som Oslo er det viktig å klarlegge betydningen av eventuelle synergistiske effekter mellom de forskjellige forurensningstyper, og særlig mellom SO<sub>2</sub> og sot. De svenske normer som er brukt i denne rapport, tar til en viss grad hensyn til slike effekter, idet de tar sikte på tettbebyggelse hvor andre forurensninger forekommer samtidig.

Målingene vinteren 1969/70 viser at månedsmidlene for SO<sub>2</sub> i Oslo sentrum (St Olavspl.) var høyere enn den svenske normen (0.14 mg/m<sup>3</sup>) i desember, januar og februar. I februar lå forurensningsnivået omkring den svenske normen for månedsmidler i hele byområdet unntatt Briskeby (få data) og Ekeberg. På Bryn var forurensningsnivået over normen i desember.

Den svenske normen for SO<sub>2</sub>-døgnmiddelverdien ble i februar på St Olavsplass overskredet nesten halve måneden. Forøvrig forekom overskridelser i de nordlige og østlige bydeler (4 døgn hver) mens Skøyen i vest hadde ingen. Målinger av SO<sub>2</sub> halvtimesverdier på St Olavsplass viser også at grenseverdien 0.72 mg/m<sup>3</sup> kan være overskredet mer enn den tiden den svenske normen tilsier (8 timer pr måned). Både modellstudiene og målingene denne vinteren antyder at SO<sub>2</sub>-målingene på St Olavsplass er representative bare for et lite område i sentrum. Neste års målinger tar bl a sikte på å undersøke dette forhold nærmere.

Sammenligning av svertningsmålingene av svevestøv med det refererte forslag til svensk norm viser at forurensningsnivået siste vinter var høyere enn grenseverdien  $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (døgn) i sentrum (St Olavsplass) i februar. Døgnverdier over  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (etter erfaringsdata fra USA, ansett for å være grense for akseptabel forurensning) kan forekomme over halvparten av tiden i sentrum og relativt hyppig også i andre deler av byen (februar).

Hvorvidt målingene vinteren 1969/70 gir et representativt uttrykk for utviklingen av forurensningsnivået for svoveldioksyd og støv, avhenger av forbruket av olje og fast brensel, mengden av forbrent søppel m m, og de meteorologiske forhold. En mangler oppgaver over forbrenning av søppel.

I året 1969 var forbruket av spillkraft omkring det "normale", og det totale forbruk av olje samme år ligger omkring den forventede mengde sammenlignet med gjennomsnittlig økning i forbruket i de siste 10 år. I 1970 ble det ikke brukt spillkraft. Dette sett i sammenheng med at vinteren 1969/70 hadde lav middeltemperatur (relativt til 1958-65), skulle tyde på at for vinteren 1969/70 i sin helhet kan en regne med et høyere oljeforbruk enn det den normale stigning tilsier.

Stabilitetsforholdene har, sett under ett, vært "normale" for vinteren 1969/70, i relasjon til de årene en har sammenlignet med. Oslofjorden var imidlertid islagt fra månedsskiftet januar-februar. Dette kan ha forårsaket spesielle utluftingsforhold under inversjonsforhold i januar, februar og mars, men synes ikke å ha hatt noen særlig innvirkning på månedsmidlene (sml 1968/69 - 1969/70).

På denne bakgrunn indikerer sammenligningen av siste vinters målinger med tilsvarende målinger av  $\text{SO}_2$  og støv i årene 1958-65 (Delrapport 1) og den statistiske analyse (Delrapport 2) at luftforurensningsforholdene om vinteren i Oslo har blitt bedre når det gjelder innholdet av  $\text{SO}_2$  i luften. Målingene av svevestøv tyder på at ingen vesentlig endring av støvforurensningene har funnet sted i de siste 10 årene, hvis vi kan forutsette at svertningsmålingene gir et riktig bilde av utviklingen.

De forbedringer som immisjonsmålingene av SO<sub>2</sub> antyder fra årene 1958-65 til vinteren 1969/70, synes ikke å kunne forklares alene ut fra de avledede tall for utslipp av svoveldioksyd ved oljeforbrenning fra år til år. Oppgavene viser eksempelvis at svovelutslippene var omlag det samme i middel for årene 1962-63 som for 1969, mens immisjonsmålingene viser en midlere reduksjon av SO<sub>2</sub>-innholdet i luften på opptil 50 % når en sammenligner midlere konsentrasjoner av SO<sub>2</sub> vinteren 1961/62 og 1962/63 med vinteren 1969/70 (St Olavs plass).

Med reservasjon for det svake sammenligningsgrunnlaget (årsoppgave for oljeforbruk i relasjon til vintermidler av SO<sub>2</sub>), kan en slik forskjell bero på en rekke faktorer:

- 1 De meteorologiske spredningsbetingelser kan være ulike. Vinteren 1962/63 hadde forurensningsnivået i Oslo et maksimum som ellers i Europa hvorfra målinger er publisert (England: Warren Springs Lab 1970, Wien: Arch Met Geoph Biokl Ser B, 18, 1970). Dette har sammenheng med at over hele Vest-Europa var vinteren 1962/63 usedvanlig streng med lange perioder med stagnert luft (Naturen 1964, no 8). I de meteorologiske statistikker for Blindern fra vinteren 1962/63 (desember, januar, februar) gir dette seg uttrykk i en relativt høy frekvens (39 %) med vindstille, også sammenlignet med vinteren 1969/70 (25 %).
- 2 Overgang fra forbruk av fast brensel (1.0 - 1.5 % S) til lavsvovlige oljetyper (parafin etc) i den gamle bebyggelse.
- 3 Gradvis endring av bygningsmassen fra bygg med fremherskende lave utslipp til høyere bygg med sentrale fyringsanlegg og større utslippshøyder.
- 4 Usikre forbruksoppgaver for fyringsolje i Oslo, når disse baseres på faktura-adresser. Andelen som er forbrukt utenfor Oslo's grenser kan ha endret seg fra 1962-63 (mangler oppgaver) til 1969.
- 5 Mulige systematiske avvik på grunn av forskjellige måle-metoder.

Dette gir indikasjoner på at utviklingen av luftforurensningsforholdene i Oslo de siste 10 årene kan ha en ganske kompleks årsakssammenheng, som av mangel på data unndrar seg nærmere belysning. Ved vurdering av forurensningssituasjonen i Oslo bør en derfor legge de senere års data til grunn.

Det er utviklet en modell for beregning av hvorledes forurensningene spres i Oslo-området under forskjellige værforhold.

Ut fra registreringer av oljeleveranser gjennom 1 kvartal 1970, og målinger av vind og vertikal temperaturfordeling over Oslo hver time gjennom døgnet 26-27 februar 1970, er det beregnet en ventet  $\text{SO}_2$ -konsentrasjon i Oslo gjennom døgnet. Beregningsresultatene er sammenlignet med halvtimesmålingene fra St Olavs plass og med døgnmiddelverdiene i Oslo. Overensstemmelsen må sies å være meget god.

En må likevel regne med forskjellige feilkilder, men disse kan tildels oppheve hverandre som f.eks. på den ene siden antakelsen om vindstille og en overvurdering av  $\text{SO}_2$ -utslippet fra oljeforbrenning (alt oljeforbruk er fordelt etter graddager), på den annen side utelatelse av  $\text{SO}_2$ -utslipp ved forbrenning av fast brensel.

Modellen bør prøves ved flere situasjoner før den benyttes til å gi praktiske utsagn. Den egner seg da særlig til å vurdere effekten ved endringer i utslippet fra de mange pipene innen hver  $\text{km}^2$  i et byområde under kjente meteorologiske situasjoner. Virkningen av emisjonsbegrensende tiltak på luftens innhold av forurensninger kan vurderes ved hjelp av modellen.