

NILU  
Oppdragsrapport nr 25/71  
Referanse: 021070  
Dato: Juni 1971

MÅLING AV SVOVELDIOKSYD  
I LUFTEN PÅ  
ULLEVÅL SYKEHUS

---

Einar Joranger

NORSK INSTITUTT FOR LUFTFORSKNING  
Postboks 15, 2007 Kjeller

## INNHOLDSFORTEGNELSE

|  | Side |
|--|------|
| 1. Innledning  | 2    |
| 2. Målinger  | 2    |
| 3. Spredningsberegninger   | 3    |
| 4. Vurdering av målte<br>konsentrasjoner av SO <sub>2</sub>        | 6    |
| 5. Døgnmiddelverdier   | 9    |
| 6. Sammenheng mellom svoveldioksyd-<br>timesverdier og vindretning | 10   |
| 7. Svoveldioksydkonsentrasjoner<br>og utslipp fra Ullevål sykehus  | 12   |
| 8. Konklusjon  | 13   |
| 9. Litteratur  | 14   |

## 1 INNLEDNING

Det årlige forbruk av olje i fyringsanlegget på Ullevål sykehus er ifølge oppgaver ca 7 900 tonn pr år (1970). Dette ligger på samme nivå som øvrige storforbrukere i området, som Universitetet Blindern 8 800 tonn, Rikshospitalet 4 300 tonn og NRK 1 200 tonn. Det er av interesse å undersøke hvilken belastning en slik enkelt-kilde representerer for omgivelsene.

Etter oppdrag fra Byggdirektøren i Oslo ble det opprinnelig planlagt et større måleprogram for Ullevål sykehus' området og de nærmeste omgivelser. På det tidspunkt oppdraget ble gitt NILU hadde en ikke tilstrekkelig utstyr tilgjengelig til at dette kunne gjennomføres vinteren 1970/71. Etter avtale med Byggdirektøren i Oslo ble måleprogrammet for vinteren 1970/71 redusert til i første omgang å undersøke hvilken belastning utslippet fra Ullevål sykehus' fyringsanlegg kan påføre området nær pipa med særlig henblikk på den nyoppførte "Midtblokken".

## 2 MÅLINGER

Det ble opprettet 2 stasjoner for måling av svoveldioksydkonsentrasjonen ( $SO_2$ ) i luften. Plasseringen framgår av situasjonskartet (side 5).

Stasjon 1 for måling av halvtimesverdier (imcometer) ble plassert i øverste etasje i Midtblokken ca 25 m over bakken. Stasjonen lå i retningen vest-sørvest ( $250^0$ ) sett fra pipa og avstanden var 85 m.

Stasjon 2 for måling av døgnlige middelveidier av  $SO_2$ -konsentrasjonen i luften nær bakken ble opprettet i Elevinternatets underetasje (linoleumslageret) i retning vest-nordvest ( $300^0$ ), avstand 185 m fra pipa og ca 35 m lavere enn pipeutslippet.

3 SPREDNINGSBEREGNINGER

Pipa på Ullevål sykehus har en høyde på 45 m over bakken. Midtblokkens høyde er 25 m, og avstanden fra pipa til husveggen som vender mot nordøst er fra ca 80 - 95 m. Dersom vi setter oljeforbruket midtvinters på Ullevål sykehus til 36 tonn olje pr døgn når det ikke brukes spillkraft (basert på fyringsoppgaver fra maskinmester Juell Hansen) vil dette med 0,9% svovelinnhold i oljen (3A olje) gi et svoveldioksyd-utslipp på 7,56g SO<sub>2</sub>/sek.

Beregninger for flatt lende (1) gir følgende maksimumskonsentrasjoner i bakkenivå, midlet over 10 minutter. Avstander til disse gis for forskjellige luftstabiliteter og effektiv pipehøyde er forutsatt å være på 55 m (tabell 1):

|   | Instabilt (B) | Lett instabilt (C) | Nøytralt (D) | Lett stabilt (E) |
|---|---------------|--------------------|--------------|------------------|
| Max kons mg SO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> | 0,36          | 0,36               | 0,27         | 0,20             |
| Avstand m                                   | 400           | 600                | 1200         | 2200             |

Tabell 1.

Klasse E er det mest stabile en regner opptrer på Ullevålsområdet på grunn av indusert mekanisk turbulens rundt bygninger. Maksimumskonsentrasjonen er gitt ved vindhastigheten u=1m/sek. For u=2m/sek reduseres konsentrasjonen til det halve osv.

Døgnskonsentrasjonen er anslått til å være 40-50% av 10 minutterskonsentrasjonen. Tabellen viser at ved økt stabilitet opptrer maksimalkonsentrasjonen i større avstand fra kilden samtidig som den blir noe redusert.

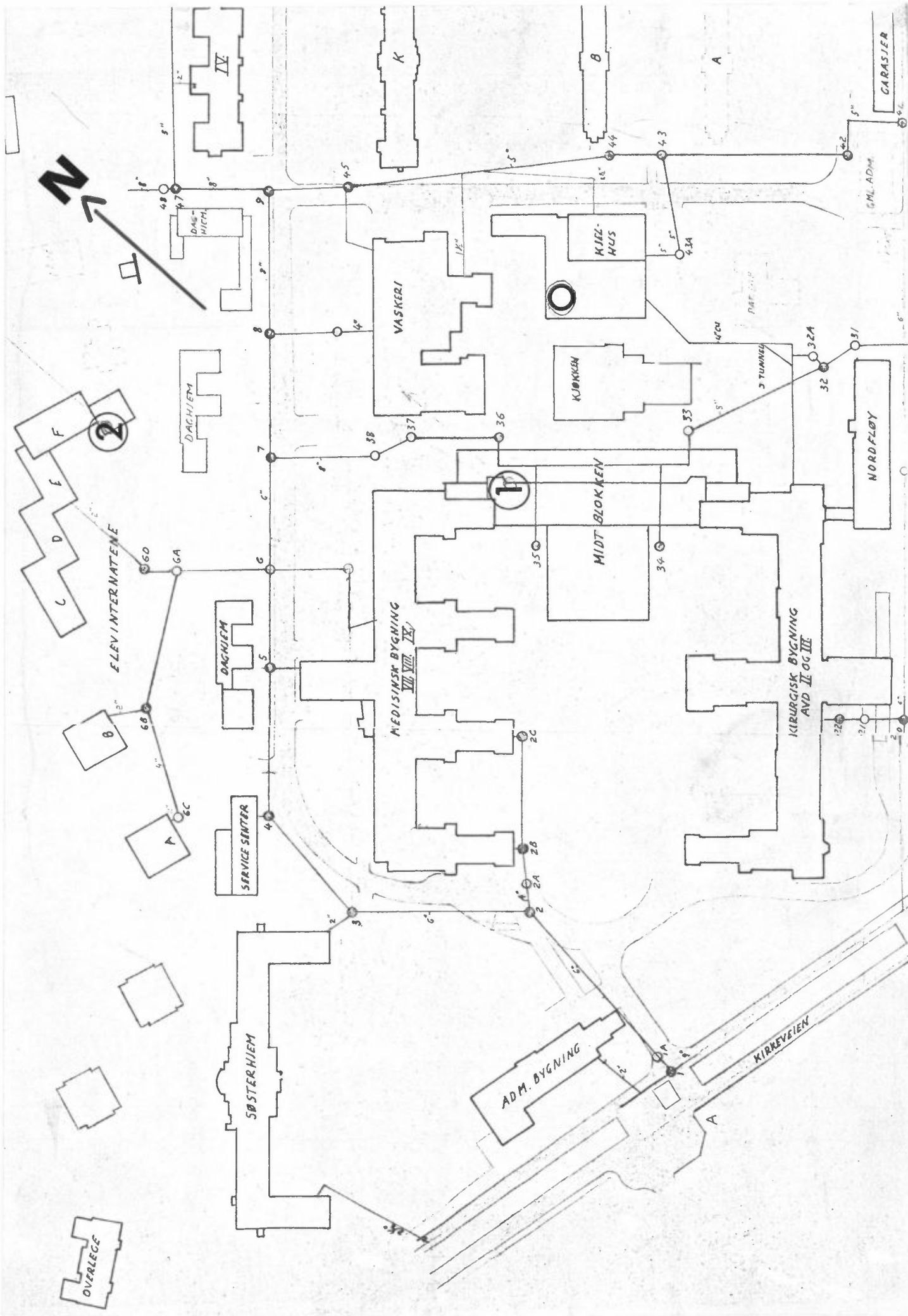
For 100 m avstand og 25 m over bakken (svarende til stasjon 1 i Midtblokken) gir beregningene følgende maksimale konsentrasjoner midlet over 10 minutter (tabell 2) når pipeutslippets effektive høyde over Midtblokkens tak settes til henholdsvis 30 m (10 m overhøyde på grunn av den varme røykens egenoppdrift) og 20 m (ingen overhøyde):

| Effektiv pipes høyde (m) | Instabilt (B) | Lett instabilt (C) | Nøytralt (D) |
|--------------------------|---------------|--------------------|--------------|
| 30                       | 0.23          | 0.007              | -            |
| 20                       | 1.13          | 0.68               | 0.0005       |

Tabell 2.

Maksimumskonsentrasjoner ( $\text{mg SO}_2/\text{m}^3$ ,  $u=1\text{m}/\text{sek}$ , 10 minutter midler) i 100 m avstand.

Tabellen viser at i flatt terreng vil en i kort avstand fra en enkeltkilde kunne få høye  $\text{SO}_2$ - konsentrasjoner ved instabil temperatursjiktning, og at konsentrasjonen avtar sterkt med økende stabilitet.



Ved stabil sjiktning skulle utslipp med disse effektive pipehøyder forårsake ubetydelige forurensninger. En ser videre at SO<sub>2</sub>-konsentrasjonen tiltar betydelig med redusert effektiv pipehøyde. Den effektive pipehøyden avtar med økende vindhastighet og er ellers avhengig av en rekke faktorer hvorav de viktigste er temperaturforskjellen mellom røyken og lufttemperaturen (varmeoverskuddet), og røykens utslippshastighet.

Tilsvarende beregninger som ovenfor (tabell 2) for stasjon 2 med 185 m avstand, og hvor det forutsettes 45 m effektiv skorsteinshøyde og u=1m/sek, gir følgende maksimumskonsentrasjoner midlet over 10 minutter:

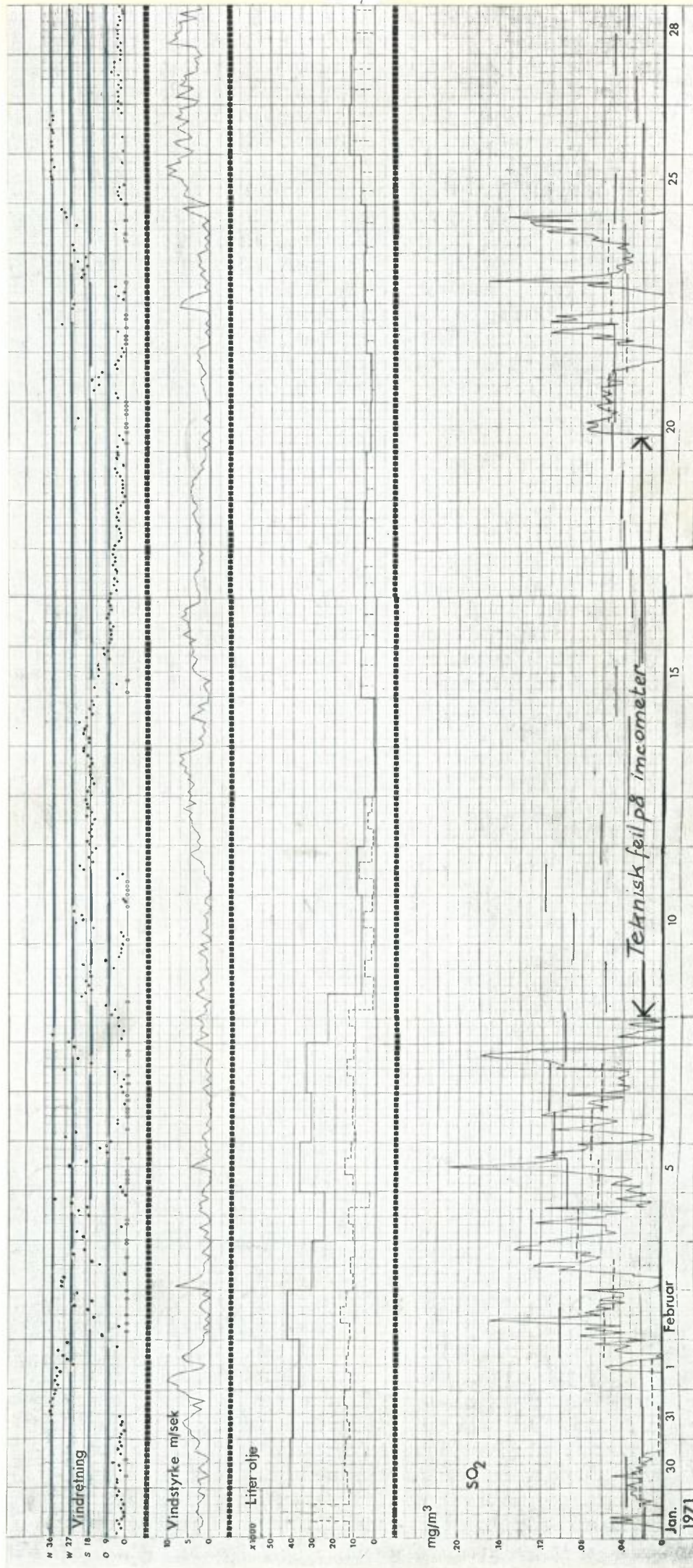
$$\begin{aligned} \text{Instabilt (B) kons} &\sim 0.38 \text{ mg SO}_2/\text{m}^3 \\ \text{Lett instabilt (C) kons} &\sim 0.04 \text{ mg SO}_2/\text{m}^3 \end{aligned}$$

Sammenligning med tilsvarende tall i tabell 2, første linje, viser således at høye SO<sub>2</sub>-konsentrasjoner er mer sannsynlig 185 m langs bakken fra utslippet, enn 100 m fra utslippet og 25 m over bakken. Dette gjelder for instabil temperatur-sjiktning.

Beregningene ovenfor danner et grunnlag for vurderingen av pipeutslippets belastning på området. Beregningene er imidlertid usikre på grunn av blant annet den lokale topografi (bygninger, høyder) som især på kortere avstander representerer en sterkt kompliserende faktor.

#### 4 VURDERING AV MÅLTE KONSENTRASJONER AV SO<sub>2</sub>

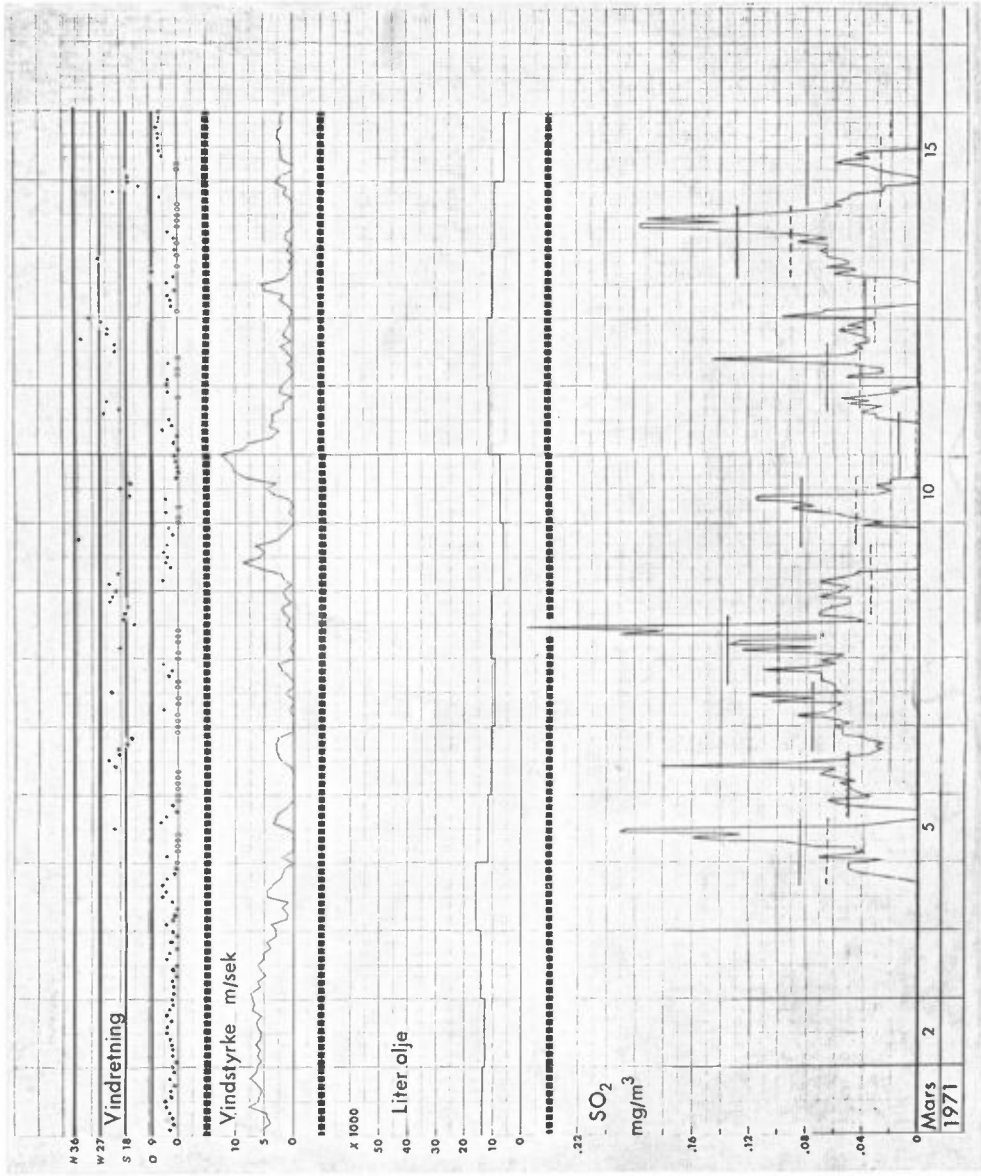
I diagrammet er det for perioden 29/1 - 15/3-1971 presentert verdier fra svoveldioksydmålingene i Midtblokken. Kurvene angir timesverdier. Fra timesverdiene er det beregnet døgnmiddelverdier kl 15-15, (stiplede horisontale streker). Døgnmiddelverdiene målt i Elevinternatet gis ved hele horisontale streker. Øverst er plottet vindretning og styrke målt på Meteorologisk Institutt, Blindern. Oljeforbruket presentert i stolper gjelder for fyringsanlegget på Ullevål sykehus.



Måledata fra Ullevål sykehus og Meteorologisk Institutt, Blindern i perioden 29 januar-15 mars. (fortsettes neste side)

"Stille" er angitt på vindretningsskalaen med 0.





Måleserien er foretatt om vinteren, fordi oljeforbruket da er høyest. På denne årstiden er også bakgrunnsverdien av SO<sub>2</sub>-forurensningene fra alle andre kilder enn Ullevål vesentlig høyere enn de øvrige årstider. På den annen side er temperatursjiktningen om vinteren gjennomgående mer stabil enn de andre årstidene. De instabile forhold forekommer hyppigst i sommerhalvåret, men oljeforbruket er da maksimalt ca 20% av vinterforbruket (ca 5000 l/døgn). I gunstige somre brukes for det meste elektrokjele (spillkraft).

## 5 DØGNMIDDELVERDIER

I følge de svenske normer for innhold av svoveldioksyd i luften i byområder, bør ikke halvtimesverdiene overskride 0.72 mg/m<sup>3</sup> mer enn 1% av tiden, og døgnmidlene må ikke overskride 0.28 mg/m<sup>3</sup>. Høyeste målte timesmiddelverdi i Midtblokken var 0.28 mg SO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>. Høyeste døgnmiddel ble målt på Internatet til 0.14 mg SO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>. Begge verdier ligger langt under den svenske normen.

Døgnmiddelverdiene beregnet fra timesverdiene ligger overveiende lavere enn de direkte målte døgnmiddelverdier (målt i Internatet). Årsaken kan dels være forskjellig høyde og avstand i forhold til pipa. Mulig årsak er også den antatte generelle avtaking med høyden av bakgrunnsforurensningene i området.

Måledøgnene med høyere SO<sub>2</sub>-middelverdier i Midtblokken enn i Internatet (20/21, 22/23 og 23/24 februar) er vanskelig å forklare da vindmålingene på Blindern ikke gir noen tydelig indikasjon i denne retning.

De midlere SO<sub>2</sub>-konsentrasjonene i Oslo i februar og mars er langt lavere enn de tidligere målte verdier (fra 1958-70). Selv om dette delvis skyldes overgang til svovelfattigere oljetyper, må det imidlertid presiseres at siste vinter var uvanlig mild. Spredningsforholdene over Oslo var også bedre enn normalt.

Vindmålingene foretatt på Blindern varierer godt i takt med NILU's vindmålinger foretatt samtidig i Nydalen. Vi antar derfor at vindmålingene på Blindern kan nyttes til vurdering av spredningen fra pipa på Ullevål sykehus.

På grunn av at vindmåleren har en starthastighet på ca 0.8 m/sek, er en uforholdsmessig stor del av vindobservasjonene karakterisert som "stille". I disse tilfellene er det vanligvis et drag i luften. Om natten er "draget" som oftest fra nordlig kant, mens det om dagen har varierende retning. "Stille" er angitt ved 0 på vindretningsskalaen.

Det opptrådte i måleperioden 11 markerte topper som hadde SO<sub>2</sub>-timesmiddelverdier over 0.14 mg SO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> luft.

(Se diagrammet). Tidsskalaen for disse maksima er fra 4-8 timer, når en bruker de døgnlige middelverdier for timesverdiene (stiplet strek) som basislinje.

Toppene med maksima mindre enn 0.14 mg SO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> er for en stor del på tidsskalaen mellom 1-4 timer.

Denne sammenheng mellom tidsskalaen og størrelsen av variasjonene tyder på at det er forurensningsvariasjoner på en større skala (Oslo-gryten) som er årsaken. Dersom årsaken skulle være utslipp fra Ullevål-pipa, skulle en også vente sterke variasjoner over korte tidsrom. Imcometermålinger på andre punkter i Oslo viser maksima til samme tidspunkter som på Ullevål. Dette indikerer også den større skala.

Tidspunkter og meteorologiske data for toppene med maksima over 0.14 mg/m<sup>3</sup> er gitt i tabell 3.

| Dato | Kl   | Max<br>mgSO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> | Vindretn  | Vind<br>styrke<br>m/sek | Stabilitet<br>Fornebu/<br>Blindern | Stabilitet<br>Blindern/<br>Tryvann |
|------|------|--|-----------|-------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| 2/2  | 0900 | 0.170                                    | C/160     | 0-1                     | I                                  | S                                  |
| 3/2  | 2000 | 0.146                                    | 260/200/C | 1-0                     | I                                  | S                                  |
| 5/2  | 1200 | 0.210                                    | C/270     | 0-4                     | I                                  | N                                  |
| 7/2  | 1800 | 0.180                                    | 240/C     | 1-0                     | I                                  | S                                  |
| 23/2 | 1130 | 0.170                                    | C/220     | 0-1                     | S                                  | I                                  |
| 24/2 | 1800 | 0.150                                    | C/290     | 0-1.5                   | I                                  | N                                  |
| 5/3  | 1130 | 0.210                                    | C/220     | 0-1                     | S                                  | S                                  |
| 6/3  | 1000 | 0.180                                    | C/220     | 0-0.5                   | S                                  | S                                  |
| 8/3  | 1130 | 0.275                                    | C/150     | 0-1                     | S                                  | S                                  |
| 12/3 | 1000 | 0.145                                    | 30/C      | 1-0                     | S                                  | S                                  |
| 14/3 | 0900 | 0.195                                    | 30/C      | 1-0                     | S                                  | S                                  |

Tabell 3.

I=instabilt    N=nøytral    S=stabilt

C=vindstille (C/160 betyr: fra vindstille til vind fra 160°)

Tabellen viser at det i 5 av tilfellene var stabil luft i hele sjiktet fra Fornebu til Tryvann. I 5 tilfeller var det instabilt i det lavere sjiktet mellom Fornebu og Blindern og nøytralt eller stabilt over Blindern. I ett tilfelle var det stabilt i det laveste sjikt, instabilt over. Det var altså i disse situasjonene overveiende stabil temperatursjiktning med liten sannsynlighet for bidrag fra utslippene på Ullevål. 8 av toppene forekom på formiddager (8-12) som regel ved svak vind el.stille (C). Det er karakteristisk at 6 av maksimumsverdiene kom i overgangsfasen fra stille i morgentimene til svak sørlig til vestlig vind om dagen. Dette er observert også i andre bydeler på denne tid av vinteren, og antas å skyldes oppstuing av forurensning mot åssidene i situasjoner med klarvær og inversjon i Oslogryta. Soloppvarming av åsene gir vind innover land.

De tre kveldsmaksima opptrådte ved svak vind fra vest (1 tilfelle) og sørvest (2 tilfeller). Vindmålingene på Blindern indikerer altså at de større maksimumsverdiene skyldes transport av forurensninger fra byområdet sør og vest for Ullevål sykehus.

Vind fra sektoren nord til øst, som skulle være gunstigst for å få høye konsentrasjoner omkring Midtblokken, gir gjennomgående lavere  $\text{SO}_2$ -timesverdier med maksimum på  $0.11 \text{ mg SO}_2/\text{m}^3$ , og gjennomgående lavere enn  $0.06 \text{ mg}/\text{m}^3$ . Dette viser at i måleperioden har utslippet fra pipa på Ullevål sykehus ikke representert noen alvorlig forurensningsbelastning ved målepunktet på Midtblokken i gjennomsnitt over perioder på  $\frac{1}{2}$  time og lengre. En opptelling viser at det i 84% av tilfellene med østlig til nordøstlig vind var instabilt til nøytral sjiktning fra Blindern til Tryvann. Det er nærliggende å anta at lokalt betingede vindforhold, med en vertikal vindkomponent mellom pipa og Midtblokken ved øst/nordøstlig vind "løfter" røyken over bygget (2).

## 7 SVOVELDIOKSYDKONSENTRASJONER OG UTSLIPP FRA ULLEVÅL SYKEHUS

I følge oppgavene for oljefyring ved Ullevål sykehus ble det brukt oljekjeler fra 1. til 8. februar med et døgnlig gjennomsnittforbruk på 37 480 l pr døgn. Etter 8. februar ble det også brukt spillkraft, og det gjennomsnittlige oljeforbruket pr døgn var da 8 334 l.

Til tross for endringer i forbruket, er de målte maksimumsverdier etter 8. februar gjennomgående på samme nivå som før 8. februar, og den største toppen for hele perioden fikk vi 8. mars. Som eksempel kan også nevnes at døgnene 29. og 30. januar var det lave times-konsentrasjoner med østlig til nordøstlig vind og de høyeste utslipp på Ullevål sykehus i måleperiodene.

Dette tyder igjen på at pipeutslippene på Ullevål sykehus har liten innvirkning på forurensningsnivået for  $\text{SO}_2$  i de nærmeste omgivelser omkring pipa.

Oljeforbruket har en døgnlig gang med maksimalt forbruk midt på dagen. Denne døgnvariasjon er generell for forbruket i Oslo. På bakgrunn av det som er nevnt ovenfor har tendensen til å få maksimal  $\text{SO}_2$ -forurensninger om dagen bare delvis sammenheng med den døgnlige variasjon i fyringen.

## 8 KONKLUSJON

$\text{SO}_2$ -målingene ble foretatt innenfor Ullevål sykehus' område for å finne ut om høybebyggelsen nær pipa blir utsatt for sterke forurensninger på grunn av utslipp fra pipa.

Spredningsberegninger for flatt lende viser at en må vente de høyeste konsentrasjonene når temperatursjiktningen er ustabil. Byggemassen omkring pipa kompliserer dog luftstrømningsforholdene og derved spredningsmønsteret.

Alle måleperiodens målinger ligger langt lavere enn de svenske normer. Siste vinter var dog usedvanlig mild og forurensningsmessig sett lite representativ.

De sterkeste forurensninger fra pipe omkring Midtblokken skulle en vente ved vind fra nordøstlig kant. Sammenligning av  $\text{SO}_2$ -timesmiddelverdiene og vindmålingene utført på Blindern viser at de maksimale konsentrasjoner opptrer under stabile forhold og ved vind fra sør/sørvestlig kant. Dessuten er det ikke merkbar sammenheng mellom midlere konsentrasjoner og variasjonen i oljeforbruket. Dette indikerer at utslippene fra pipa på Ullevål sykehus har i måleperioden hatt liten eller ingen innvirkning på forurensningsforholdene innenfor en radius av ca 200 m omkring pipa, fra bakken opptil ca 25 m over bakken. På større avstander inntil ca 2 km fra pipa kan belastningen på bakken fra pipa være større, ifølge tabell 1 ovenfor.

På grunn av de spesielle meteorologiske forhold siste vinter og vanskeligheten med å skaffe tilstrekkelig med måleutstyr i den perioden undersøkelsen pågikk, mener vi at undersøkelsen bør gjenopptas.

Målingene bør fortsatt utføres om vinteren og stasjonen plasseres med henblikk på måling av SO<sub>2</sub>-konsentrasjoner under nøytrale og stabile forhold. Det vil si i 0.5-1.5 km avstand fra pipa, og fortrinnsvis i hovedvindretningene under stabile forhold.

Vi antar at det er tilstrekkelig med en kortperiodisk undersøkelse over 2-3 måneder med innsats av 3 halvtimes-konsentrasjonsmålere for SO<sub>2</sub> (imcometer) og 1 stasjon for måling av døgnverdier. I tillegg opprettes 1 vindmålingsstasjon og temperaturen måles kontinuerlig i 2 forskjellige høyder over bakken. Sammenligning av forurensningsrosene (midlere SO<sub>2</sub>-konsentrasjoner fordelt på vindretnings-sektorene) for de 3 stasjonene skulle gi indikasjon på størrelsen av merbelastningene forårsaket av utslippet på Ullevål sykehus. I tillegg bør det utføres studier av spesielle situasjoner. Undersøkelsesopplegget forutsetter kjennskap til utslippsmengden på Ullevål sykehus for enhver tid.

## 9 LITTERATUR

- (1) US Department of Health, Education, and Welfare.  
Public Health Service:  
Workbook of Atmospheric Dispersion Estimates.
- (2) M Smith: Prediction of the Dispersion of Airborne Effluents  
ASME. New York 1968.