

NILU
Oppdragsrapport nr 81/74
Referanse: E0-2-10.70
Dato: April 1974

MÅLINGER OG VURDERINGER
AV
SVOVELDIOKSYDBELASTNINGER
OMKRING
ULLEVÅL SYKEHUS

av

E. Joranger og L. O. Hagen

NORSK INSTITUTT FOR LUFTFORSKNING
POSTBOKS 115, 2007 KJELLER
NORGE

INNHOLDSFORTEGNELSE

	Side
1 <u>INNLEDNING</u>	2
2 <u>TOPOGRAFI OG MÅLESTEDER</u>	3
2.1 <u>Topografi</u>	3
2.2 <u>SO₂-målinger</u>	4
2.3 <u>Vindmålinger</u>	4
2.4 <u>Temperaturmålinger (stabilitet)</u>	5
3 <u>UTSLIPPSMENGDE OG UTSLIPPSFORHOLD</u>	5
4 <u>MÅLERESULTATER</u>	8
4.1 <u>Vind</u>	8
4.2 <u>Stabilitet</u>	9
4.3 <u>Svoveldioksyd</u>	10
5 <u>VARIASJONEN AV SO₂-BELASTNINGEN OMKRING</u> <u>ULLEVÅL SYKEHUS MED VINDRETNINGEN</u>	13
5.1 <u>Nærbelastningen av SO₂ omkring</u> <u>Ullevål sykehus</u>	13
5.1.1 <u>Ullevål 15A</u>	14
5.1.2 <u>Veterinærhøgskolen</u>	14
5.2 <u>SO₂-belastningens endring med avstanden</u> <u>fra pipa ved Ullevål sykehus</u>	16
6 <u>VURDERING AV PIPEHØYDEN VED ULLEVÅL SYKEHUS</u>	18
6.1 <u>Meteorologiske vurderinger</u>	18
6.2 <u>Vurdering av pipas effektive høyde i</u> <u>forhold til midlere byggehøyde</u>	19
6.3 <u>SO₂-konsentrasjoner i midlere byggehøyde</u>	19
6.4 <u>Belastning på toppen av og på baksiden av</u> <u>Midtblokken ved uhindret luftstrøm</u>	23
6.5 <u>Sammenligning med målte verdier</u>	24
7 <u>KONKLUSJON</u>	26
8 <u>LITTERATURLISTE</u>	27

MÅLINGER OG VURDERINGER
AV
SVOVELDIOKSYDBELASTNINGER
OMKRING
ULLEVÅL SYKEHUS

1 INNLEDNING

I denne undersøkelsen, som er utført etter oppdrag fra Byggedirektøren i Oslo kommune, er vurdert:

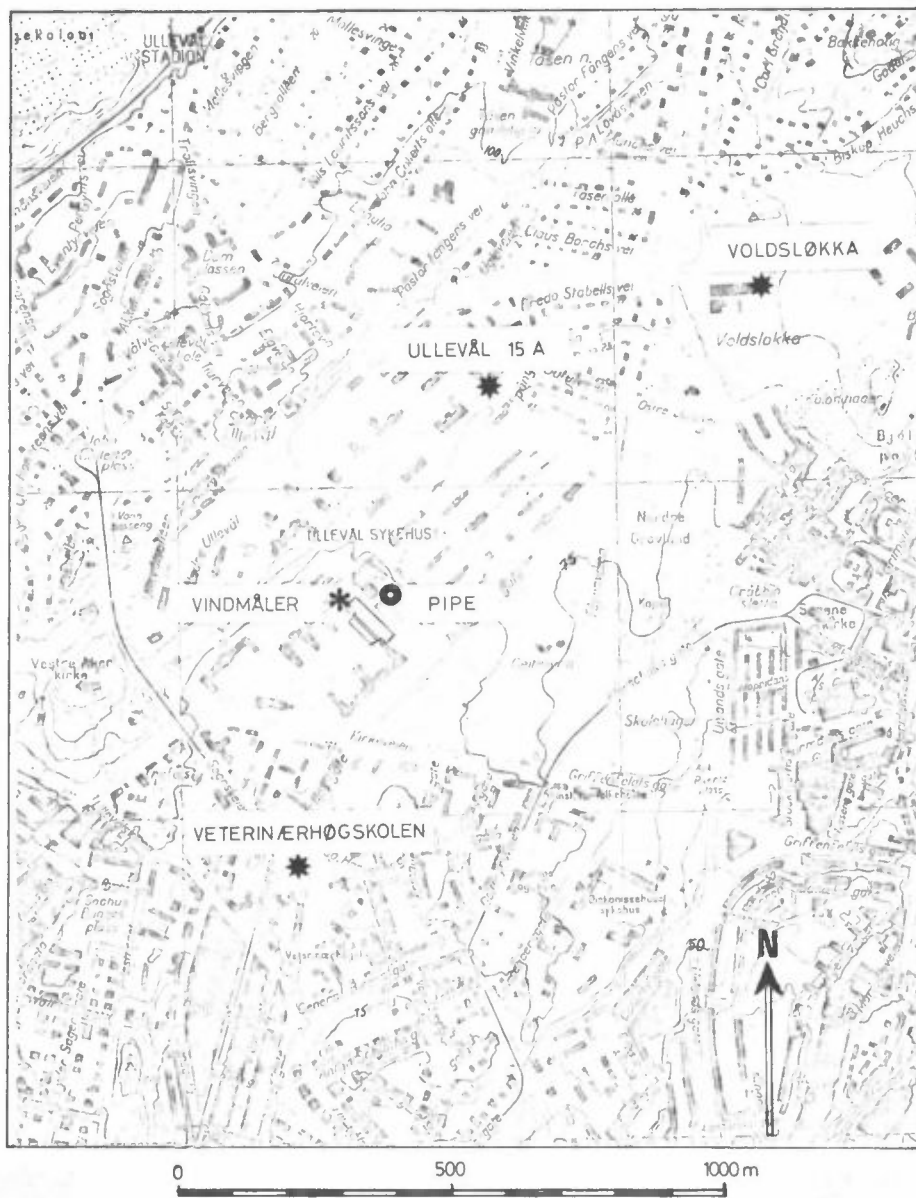
- a) hvilken svoveldioksydforurensning de eksisterende utslipp om vinteren fra Ullevål sykehus forårsaker på de nærmeste omgivelser,
- b) pipehøyder for alternative utslipp.

SO₂-målinger og meteorologiske målinger ble utført i perioden desember 1971 - februar 1972. Hensikten med målingene var å undersøke sammenhengen mellom SO₂-belastningen i området og de meteorologiske forhold.

2 TOPOGRAFI OG MÅLESTEDER

2.1 Topografi

I figur 1 er vist et kart over området omkring Ullevål sykehus med målesteder inntegnet. Området ligger på ei slette som skråner svakt mot sør. Høydedragene omkring sletta fører til drenering av kaldluft mot sør og sørøst.



Figur 1: Områdekart, Ullevål sykehus.

2.2 SO₂-målinger

Det ble opprettet 3 målesteder for måling av timesmidlete svoveldioksydkonsentrasjoner (SO₂). Måleapparatene har typebetegnelsen IMCO-meter, firma Bran og Lübbe. Målestedene ble såvidt mulig plassert langs antatte hovedvindretninger fra pipa på Ullevål sykehus.

Nord for pipa er det 2 målesteder: Ett i utkanten av sykehusområdet i Bygning 15A (senere kalt Ullevål 15A) i avstanden 410 m fra pipa, 25 m over basis for denne og 100 m.o.h., det andre på Voldsløkka (i lagerbygning til A/S Heidenreichs rørhandel) i avstanden 870 m fra pipa, 10 m høyere enn pipebasis og 85 m.o.h. Med disse målestedene kan en vurdere belastningens variasjon med avstanden.

Sørvest for pipa ble det plassert et apparat ved Institutt for næringsmiddelhygiene på Norges veterinærhøgskole (senere kalt Veterinærhøgskolen) i avstanden 530 m og samme høyde som pipebasis, dvs 75 m.o.h.

2.3 Vindmålinger

En vindmåler av type Lambrecht Woelfle ble plassert på vestre fløy av Midtblokken i en 10 m høy mast (over taket) og 35 m over bakken. Disse vindmålinger antas å være representative for transportretningene av røyk fra pipa.

2.4 Temperaturmålinger (stabilitet)

Luftens evne til å fortynne en røyksky avhenger blant annet av vindhastighet og luftens turbulensintensitet. Variasjoner i luftens turbulensintensitet har nær sammenheng med variasjoner i luftens stabilitet, dvs temperaturens endring med høyden. Når luften er stabil, det vil si at temperaturen avtar mindre enn $1^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$, skjer fortynningen av forurensningene langsomt. Under inversjonsforhold, dvs at temperaturen øker med høyden, er det meget dårlig spredning av luftforurensningene. Ved instabile forhold, dvs at temperaturen avtar med høyden mer enn $1^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$, er fortynningen best.

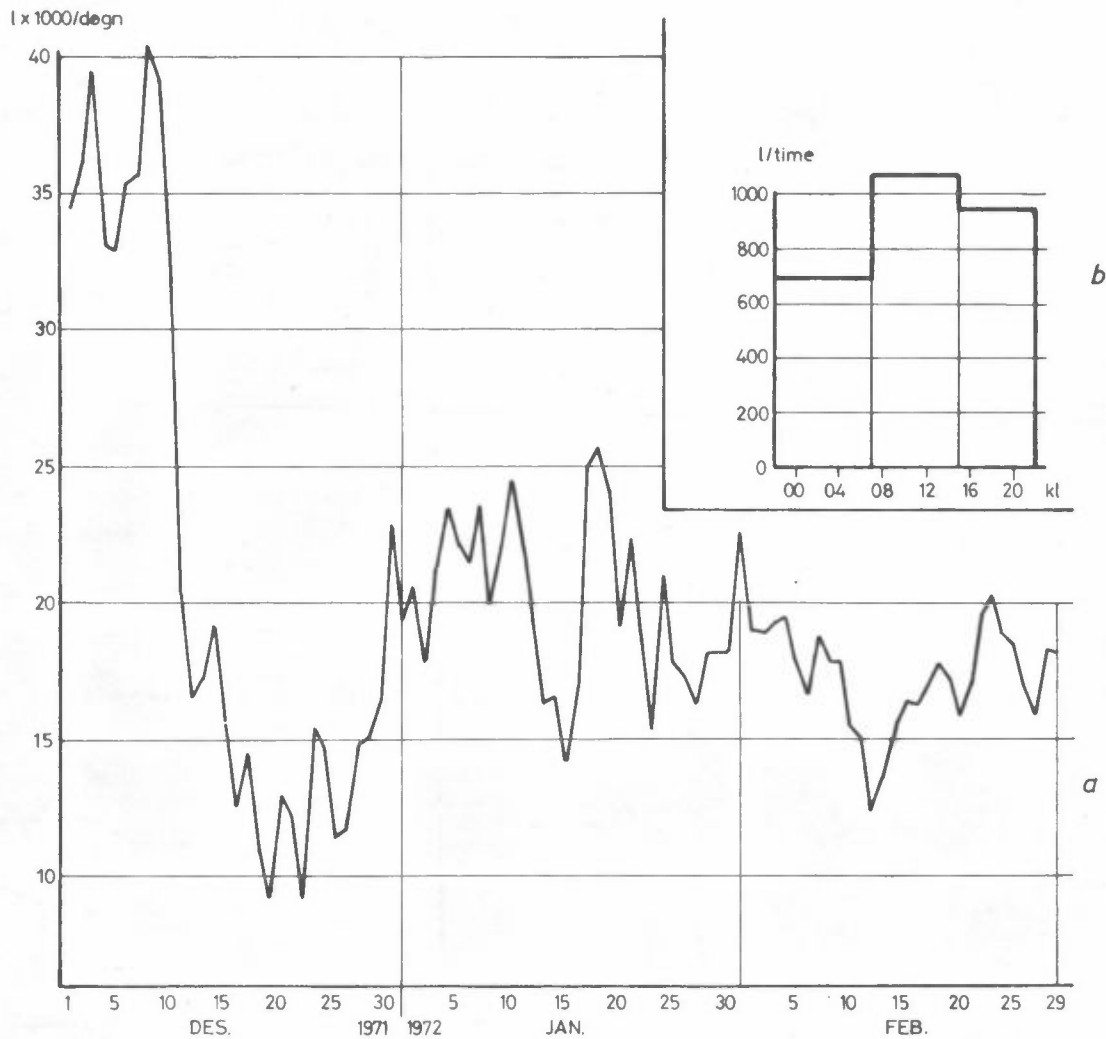
Vurderingen av stabiliteten i luften omkring Ullevål sykehus har en valgt å basere på termograf-registreringer i Kongeveien (317 m.o.h.) og på Meteorologisk institutt på Blindern (94 m.o.h.).

3 UTSLIPPSMENGDE OG UTSLIPPSFORHOLD

Oljeforbruket ved Ullevål sykehus blir registrert 3 ganger i døgnet, kl 07, 13 og 22.

I figur 2 er vist variasjonen fra dag til dag i perioden og den midlere variasjon gjennom døgnet i oljeforbruket. Variasjonene i oljeforbruket var meget store i desember. Forbruket avhenger av utetemperaturen, tilgangen på elektrisk spillkraft og ukedag.

Den midlere variasjon i oljeforbruket gjennom døgnet var liten i forhold til variasjonen fra døgnet til døgnet. Det er derfor ikke funnet hensiktsmessig å klassifisere våre SO_2 -data etter tid på døgnet.



Figur 2: a) Variasjonen i oljeforbruket (l/døgn) på Ullevål sykehus i perioden 1.12.1971 - 29.2.1972.
b) Den midlere døgnlige variasjon i oljeforbruket.

Det midlere oljeforbruk var i den aktuelle perioden ca 20.000 l/døgn. Med 0,8 vektprosent svovel i oljen tilsvarer dette et utslipp på ca 3,5 g SO₂/s.

Pipa på Ullevål sykehus har en høyde på 45 m over bakken. Pipas diameter er fra Byggedirektøren oppgitt til 1,2 m og utslippshastigheten til 22,7 m/s med maksimalt tillatt oljeforbruk på 3350 kg/h, tilsvarende et utslipp på ca 15 g SO₂/s. Gasstemperaturen er ca 170°C.

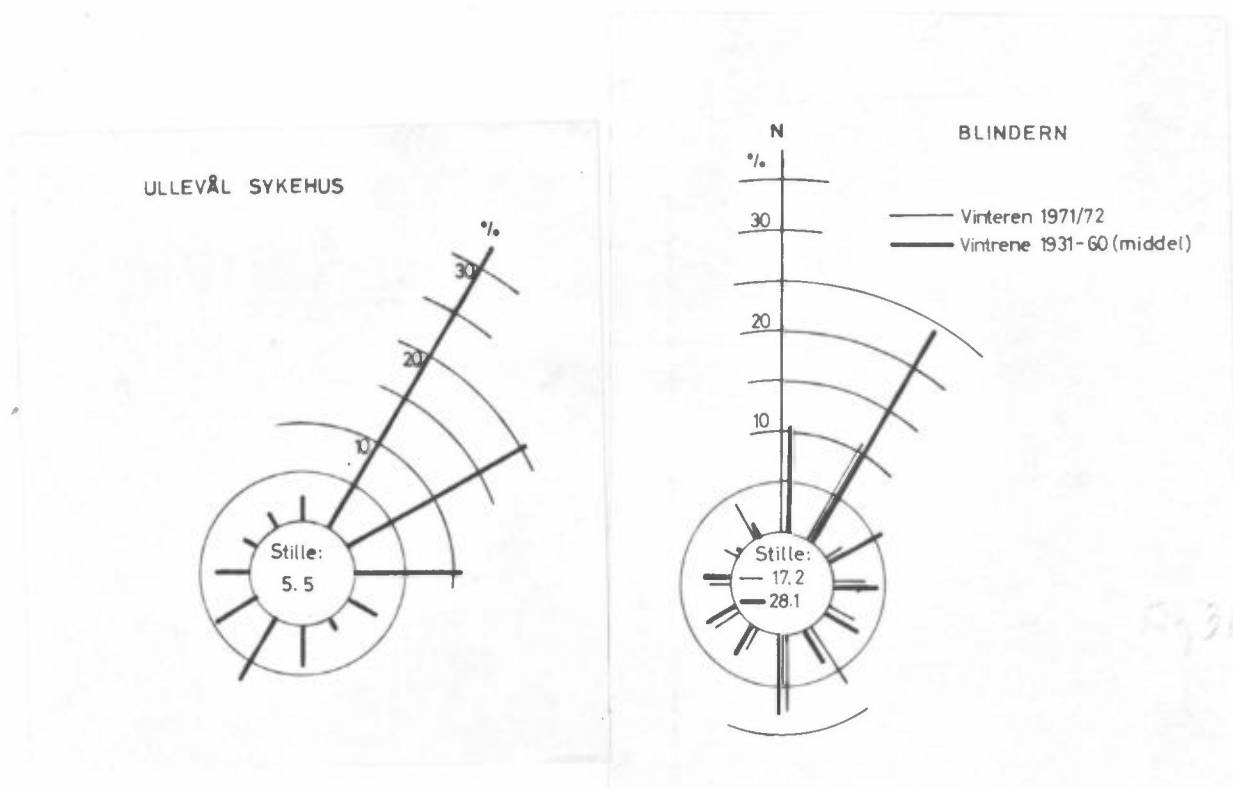
Bygningsmønsteret på sykehusets område er i hovedtrekk orientert langs akseretningen sørvest (SV) og nordøst (NØ). Den gjennomsnittlige byggehøyden er rundt 15 m. Mellom bygningene og særlig i det sentrale sykehusområdet er det en del trær med høyde ca 10 m over bakken. Den høyeste bygningen er Midtblokken, hvis nordøstre langvegg er ca 65 m mot SV fra pipa. Bygningens høyde er 25 m, dvs 20 m lavere enn pipa.

4 MÅLERESULTATER

4.1 Vind

I figur 3 er presentert vindrosen for vindmålingene på Ullevål sykehus i måleperioden desember 1971 - februar 1972. Den viser at det i over 50% av tiden har blåst fra nordøstlig retning.

Representativiteten av vindmålingene er vurdert ved å sammenligne vindmålingene på Blindern i samme måleperiode med 30 års normalen for Blindern for de samme måneder (1). Totalt sett har det blåst mer fra N og NØ på Blindern vinteren 1971/72 enn normalt. Vindstillefrekvensene var derimot mindre enn normalt. Det er mulig at de målte frekvenser av vind fra nordøstlige retninger på Ullevål sykehus vinteren 1971/72 er noe større enn det en normalt skulle vente, men avvikene er neppe vesentlige.



Figur 3: Frekvens av vind (%) i 12 retninger for Ullevål sykehus og Blindern 1.12.1971 - 29.2.1972 og for Blindern vintrene 1931 - 1960.

4.2 Stabilitet

Temperaturdifferansene ΔT mellom Kongeveien og Blindern er gruppert i følgende stabilitetsklasser:

- Klasse 1: Instabilt $\Delta T < -2^{\circ}\text{C}$
- Klasse 2: Nøytralt $-2^{\circ}\text{C} \leq \Delta T < 0^{\circ}\text{C}$
- Klasse 3: Stabilt $\Delta T \geq 0^{\circ}\text{C}$

I tabell 1 er vist frekvensfordelingen i de tre stabilitetsklassene for vår måleperiode.

Instabilt	Nøytralt	Stabilt
7,6	48,4	44,0

Tabell 1: Hyppighetsfordeling av stabiliteten målt mellom Kongeveien og Blindern i perioden 1.12.1971 - 29.2.1972.

Representativiteten av våre stabilitetsmålinger kan vurderes ved å sammenligne temperaturmålingene på Meteorologisk institutt's stasjoner på Blindern og Tryvasshøgda i måleperioden med tilsvarende målinger over en årrekke. For vinterperioder er særlig hyppigheten av situasjoner med stabil sjiktning av interesse. I tabell 2 er sammenlignet midlere inversjonshyppigheter for månedene desember, januar og februar i 10 års perioden 1958/59 - 1967/68 med vår måleperiode. Hyppigheten defineres som antall dager pr måned hvor temperaturen på Tryvasshøgda er høyere enn på Blindern kl 07.

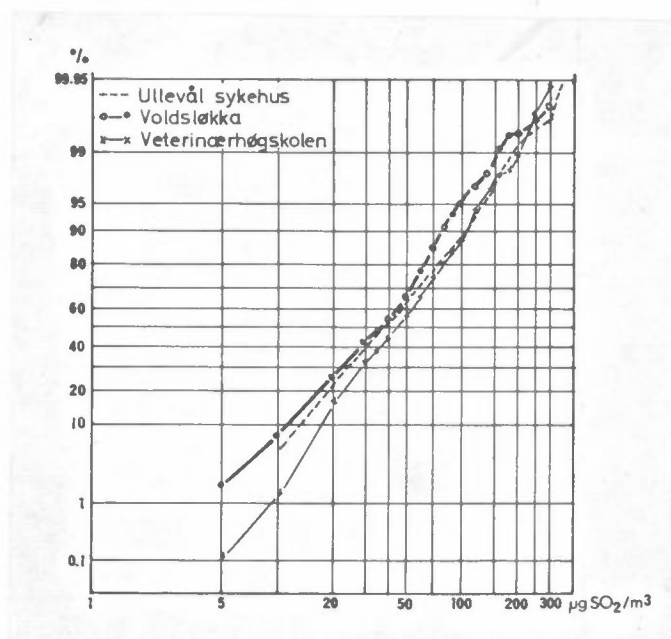
	Desember	Januar	Februar
1971/72	10	4	5
1958/59 - 1967/68	10	12	11

Tabell 2: Inversjonshyppigheter mellom Tryvasshøgda og Blindern.

Tabellen viser at antall inversjonsdager var langt færre enn "normalt" i januar og februar.

4.3 Svoveldioksyd

I figur 4 har en plottet de kumulative hyppighetsfordelinger for SO₂-konsentrasjonene for de tre målestedene på såkalt logaritmisk sannsynlighetspapir. Figuren viser at fordelingene gir tilnærmet rette linjer, og det viser at SO₂-konsentrasjonene er nær log-normal fordelt. 50% av timesverdiene var lavere enn ca 40 µg SO₂/m³, og bare 0,5% til 1% av observasjonene var høyere enn 200 µg SO₂/m³.



Figur 4: Kumulative hyppighetsfordelinger for SO₂-konsentrasjonene for målestedene Ullevål 15A, Voldsløkka og Veterinærhøgskolen i perioden 1.12.1971 - 29.2.1972.

Maksimumverdiene målt som timesverdier var 340 $\mu\text{g SO}_2/\text{m}^3$ på Ullevål 15A og 280 $\mu\text{g SO}_2/\text{m}^3$ på Veterinærhøgskolen.

På grunn av svikt i regulariteten av SO_2 -målingene, den korte observasjonstiden (3 måneder) og variasjonen i utslippet fra Ullevål sykehus, er hovedvekten i vurderingene lagt på sammenligning av samtidige data for SO_2 -stasjonene parvis, dvs at bare de observasjoner som finnes samtidig på begge stasjoner tas med. Studiet av materialet har vist at det er naturlig å dele dette i to grupper:

Gruppe 1 omfatter alle SO_2 -data som er målt under forhold med stabil sjiktning av luften og vindstyrker lik eller mindre enn 2 m/s.

Gruppe 2 omfatter de øvrige observasjoner.

I tabell 3 er gitt middelveidene for stasjonene. Tabellen viser at de midlere SO_2 -forurensningene er om lag de samme ved Veterinærhøgskolen og ved Ullevål 15A, men synes å være lavere ved målestedet på Voldsløkka, i hvert fall i gruppe 1. Den parvise sammenligning mellom Veterinærhøgskolen og Ullevål 15A (samtidige data) gir høyeste middelkonsentrasjon på Ullevål 15A for gruppe 1, mens det omvendte gjelder for gruppe 2. Denne forskjellen skyldes sannsynligvis forskjellig høyde over bakken. Når det er svak vind og stabilt, som forekom ca 32,4% av tiden, er Ullevål 15A mest eksponert for de store og høye utslippene i området. Når vindstyrken er større enn 2 m/s, er utluftingen i høyde med målestedet på Ullevål 15A bedre enn i gatenivået ved Veterinærhøgskolen. Et lignende forhold er tidligere observert i Oslo (2) mellom samtidige SO_2 -timesverdier målt på St. Hanshaugen (86 m.o.h.) og St. Olavs plass (22 m.o.h.).

Målested	Middel $\mu\text{g SO}_2/\text{m}^3$	Antall observa- sjoner		Gruppering
Ullevål 15A	50	1751		Alle observa- sjoner
Voldsløkka	42	1609		
Veterinærhøgskolen	55	1467		
Ullevål 15A	88	467	S A M T I D I G E O B S	Gruppe 1
Veterinærhøgskolen	78			
Ullevål 15A	36	974		Gruppe 2
Veterinærhøgskolen	44			
Ullevål 15A	87	476		Gruppe 1
Voldsløkka	63			
Ullevål 15A	35	1044	Gruppe 2	
Voldsløkka	32			

Tabell 3: Middelerverdier for SO_2 for perioden
1.12.71 - 29.2.72.

5 VARIASJONEN AV SO₂-BELASTNINGEN OMKRING ULLEVÅL SYKEHUS MED VINDRETNINGEN

For å belyse den spesifikke belastning fra SO₂-utslippet fra Ullevål sykehus i måleperioden, er det for hver av de tre målestedene beregnet SO₂-middelverdier som funksjon av vindretningen. Vindretningen er gitt ved nærmeste 10 grader.

I mange av vindsektorene er det få observasjonspar. På grunn av usikkerheten i imcometermålingene og tilfeldige variasjoner som eksempelvis kan skyldes vindfluktasjoner, er SO₂-konsentrasjonene for sektorer med færre enn 1% av alle observasjoner (15 observasjonspar) ikke nyttet i vurderingen.

5.1 Nærbelastningen av SO₂ omkring Ullevål sykehus

Figur 5 og 6 viser SO₂-middelverdiene ved målestedene Ullevål 15A og Veterinærhøgskolen som funksjon av vindretningen for henholdsvis gruppe 1 og gruppe 2.

De vertikale pilene viser retningene fra pipa på Ullevål sykehus til målestedene. I figurene er også vist frekvensen i prosent av vind fra de forskjellige retningene. Sammenligning av de to figurene viser at i gruppe 1 er SO₂-konsentrasjonene ved Ullevål 15A gjennomgående høyere enn ved Veterinærhøgskolen (figur 5) mens det ikke er systematisk forskjell for gruppe 2. Vindfrekvensene viser tilnærmet samme relative vindfordeling i de to gruppene.

5.1.1 Ullevål 15A

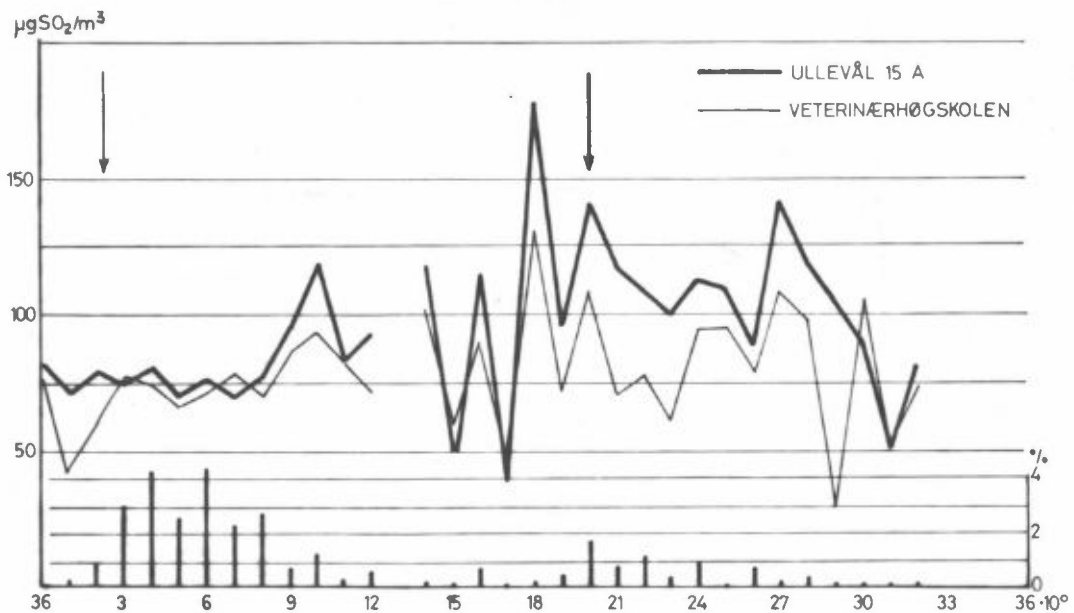
Ved undersøkelser av belastningen ved Ullevål 15A når vindretningen er fra pipa mot Ullevål 15A, nyttes målingene ved Veterinærhøgskolen som sammenligningsgrunnlag.

Det tas her hensyn til den midlere differanse i SO_2 -konsentrasjonene for vedkommende gruppe på grunn av målepunktens høydeforskjell over bakken (tabell 3). Sammenligningen mellom Ullevål 15A og Veterinærhøgskolen for dataene i gruppe 1 (figur 5), antyder at bygningene omkring Ullevål 15A blir belastet av utslipp fra Ullevål sykehus. Merbelastningen av SO_2 synes imidlertid å være størst ($20 - 30 \mu\text{g SO}_2/\text{m}^3$) i sektorene 210° til 230° , dvs noe dreiet i forhold til retningen fra utslippet til Ullevål 15A. Dette kan tyde på at ved svak vind fra SSV kan utslippet være påvirket av kanalisierende effekter omkring bygningsstrukturen.

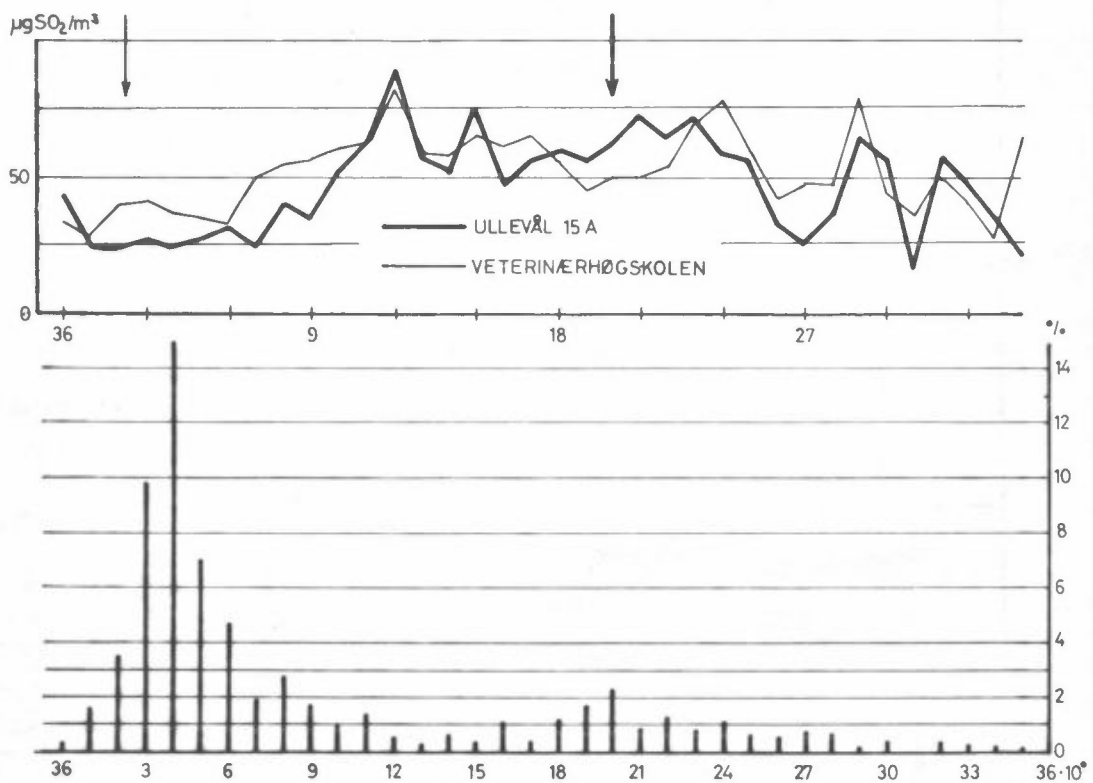
SO_2 -målingene for gruppe 2 (figur 6) tyder på at området omkring Ullevål 15A får en merbelastning fra utslippet av størrelse $15 - 20 \mu\text{g SO}_2/\text{m}^3$.

5.1.2 Veterinærhøgskolen

Sammenligning av de midlere SO_2 -konsentrasjonene ved Ullevål 15A og Veterinærhøgskolen ved vind fra NNØ viser at området omkring Veterinærhøgskolen utsettes for liten eller ingen SO_2 -belastning ved utslipp fra Ullevål sykehus når det er svak vind med stabil sjiktning (figur 5). SO_2 -målingene på Ullevål 15A representerer bakgrunnsforurensningen. For gruppe 2 (figur 6) tyder SO_2 -målingene på at området omkring Veterinærhøgskolen kan være utsatt for en midlere SO_2 -belastning av størrelse $5 - 10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ fra utslippet ved Ullevål sykehus ved vind fra NNØ.



Figur 5: Middelverdier av SO₂-konsentrasjonene for forskjellige vindretninger i perioden 1.12.71 - 29.2.72. Samtidige data for målestedene Ullevål 15A og Veterinærhøgskolen. Gruppe 1: 467 observasjoner. Pilene angir retningene fra pipa til målestedene. Stolpediagram gir frekvens (%) av vindretningene av totalt antall samtidige observasjoner (1441).



Figur 6: Som figur 5.
Gruppe 2: 974 observasjoner.

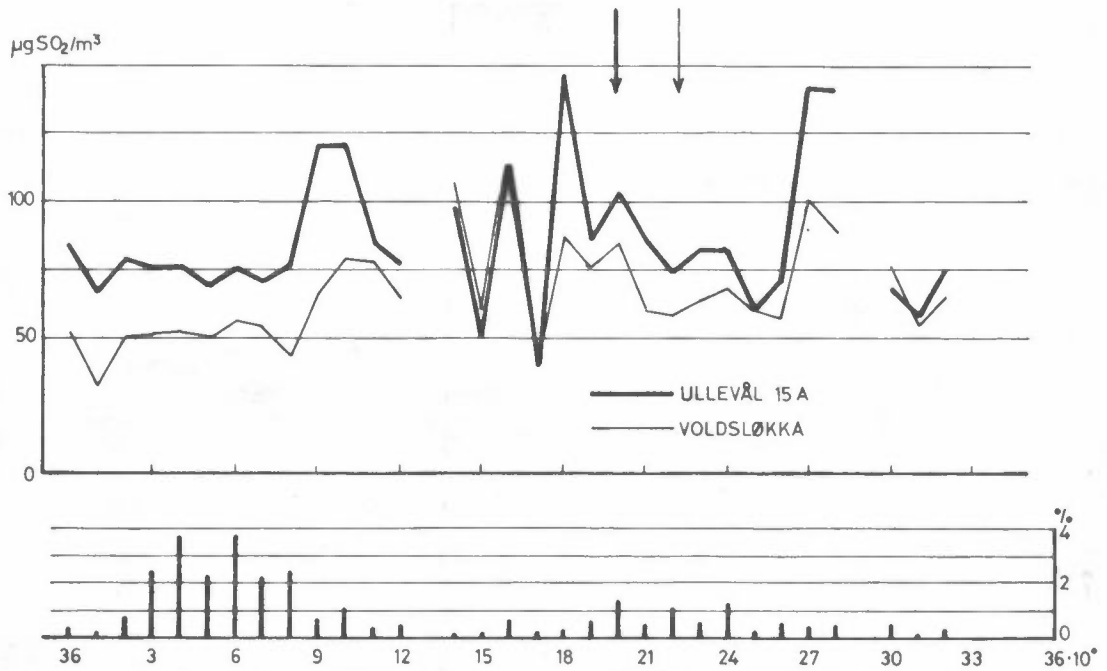
5.2 SO₂-belastningens endring med avstanden fra pipa ved Ullevål sykehus

Endringen av SO₂-forurensningen med avstanden fra pipa ved Ullevål sykehus kan vurderes ved å sammenligne de midlere SO₂-konsentrasjonene ved målestedene Ullevål 15A og Voldsløkka.

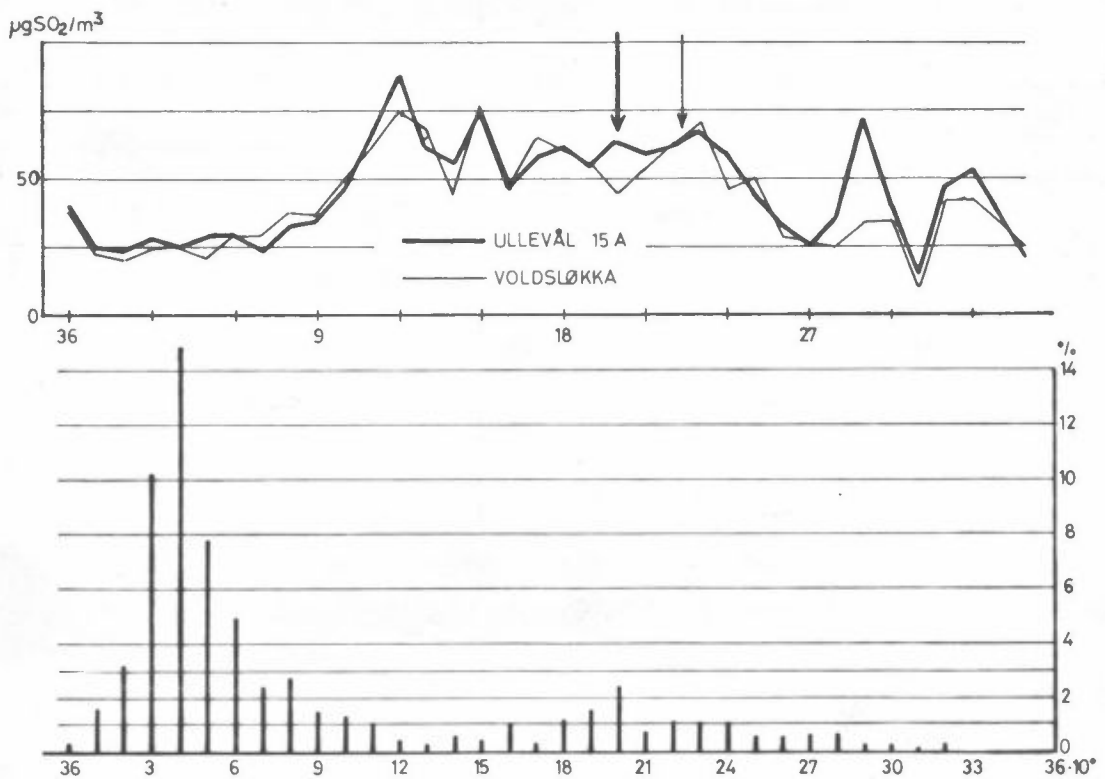
Figur 7 og 8 viser at i gruppe 1 er SO₂-konsentrasjonene gjennomgående høyere ved Ullevål 15A enn ved Voldsløkka. Som tidligere nevnt kan dette blant annet skyldes høydeforskjellen over bakken mellom de to målestedene. Forskjellene i de midlere SO₂-konsentrasjoner for de aktuelle retninger (pilene i figur 7) på 15 - 20 µg SO₂/m³ er ubetydelig lavere enn den midlere differanse for alle vindsektorene for vedkommende klasse (tabell 3). For gruppe 1 kan det derfor ikke påvises ekstrabelastning fra utslipp ved Ullevål sykehus på disse målestedene.

For gruppe 2 og med vindretning fra pipa mot Ullevål 15A (tykk pil i figur 8) antyder differansen i middelverdiene for retningen 200° (35 observasjoner) en ekstrabelastning på 10 - 15 µg SO₂/m³ ved Ullevål 15A i forhold til Voldsløkka.

Maksimumverdiene som ble målt på alle målestedene i retningen 230° og 240° (figur 6 og 8) skyldes antagelig en relativt fjern kilde i retning Majorstua. Dersom en kan anta at Ullevål 15A i det minste er like belastet som Voldsløkka fra denne fjernkilden, tyder målingene på at Voldsløkka i verste fall bare var ubetydelig belastet (mindre enn 5 µg SO₂/m³) når vindretningen er fra pipa ved Ullevål sykehus mot Voldsløkka.



Figur 7: Middelerverdier av SO₂-konsentrasjonene for forskjellige vindretninger i perioden 1.12.71 - 29.2.72. Samtidige data for målestedene Ullevål 15A og Voldsløkka. Gruppe 1: 476 observasjoner. Pilene angir retningene fra pipa til målestedene. Stolpediagram gir frekvens (%) av vindretningene av totalt antall samtidige observasjoner (1520).



Figur 8: Som figur 7. Gruppe 2: 1044 observasjoner.

6 VURDERING AV PIPEHØYDEN VED ULLEVÅL SYKEHUS

6.1 Meteorologiske vurderinger

Ved hjelp av vindmålingene vinteren 1971/72 og vindmålingene på Blindern 1931/60 har en stipulert en vindfordeling for sykehusområdet for alle årstidene og for året totalt.

Når det blåser i sektoren fra 10° til 70° vil Midtblokken bli belastet av SO_2 -forurensninger fra fyrhuspipa på Ullevål sykehus.

Vind i sektoren fra 330° til 90° vil belaste alle bygningene på sykehusområdet sør for en linje gjennom pipa. I tabell 4 har en stipulert vindfordelingen i de to nevnte sektorer.

Års- Vindret- tid ning	$10^{\circ} - 70^{\circ}$	$330^{\circ} - 90^{\circ}$
Vinter	60	70
Vår	45	55
Sommer	40	45
Høst	50	60
År	50	60

Tabell 4: Prosentvis andel vind i sektorene $10^{\circ} - 70^{\circ}$ og $330^{\circ} - 90^{\circ}$ på sykehusområdet basert på vindmålinger ved Ullevål sykehus og Blindern vinteren 1971/72 og ved Blindern 1931/60.

6.2 Vurdering av pipas effektive høyde i forhold til midlere byggehøyde

Varmeutslippet er relativt lite, og overhøyden som røykgassene får på grunn av varmeoverskuddet er derfor beregnet ved Holland's formel (3). Denne gir overhøyden ved nøytral stabilitet. For instabile og stabile forhold korrigeres med faktorer på henholdsvis 1,15 og 0,85.

Ved konsentrasjonsberegningene nedenfor er det tilnærmet tatt hensyn til at vindhastigheten vanligvis øker med høyden. Konsentrasjonsberegningene i midlere byggehøyde 15 m over bakken er utført for de midlere vindstyrker (u) 1, 3 og 5 m/s, mens det for de tilhørende beregninger av røykens overhøyde er brukt midlere vindstyrker (u^*)

2, 5 og 8 m/s. Dersom pipas fysiske høyde er H_p , overhøyden ΔH og midlere byggehøyde H_b , er pipas effektive høyde i forhold til midlere byggehøyde

$$H = H_p + \Delta H - H_b$$

I dette tilfellet er $H_p = 45$ m og $H_b = 15$ m slik at

$$H = 30 + \Delta H$$

6.3 SO₂-konsentrasjoner i midlere byggehøyde

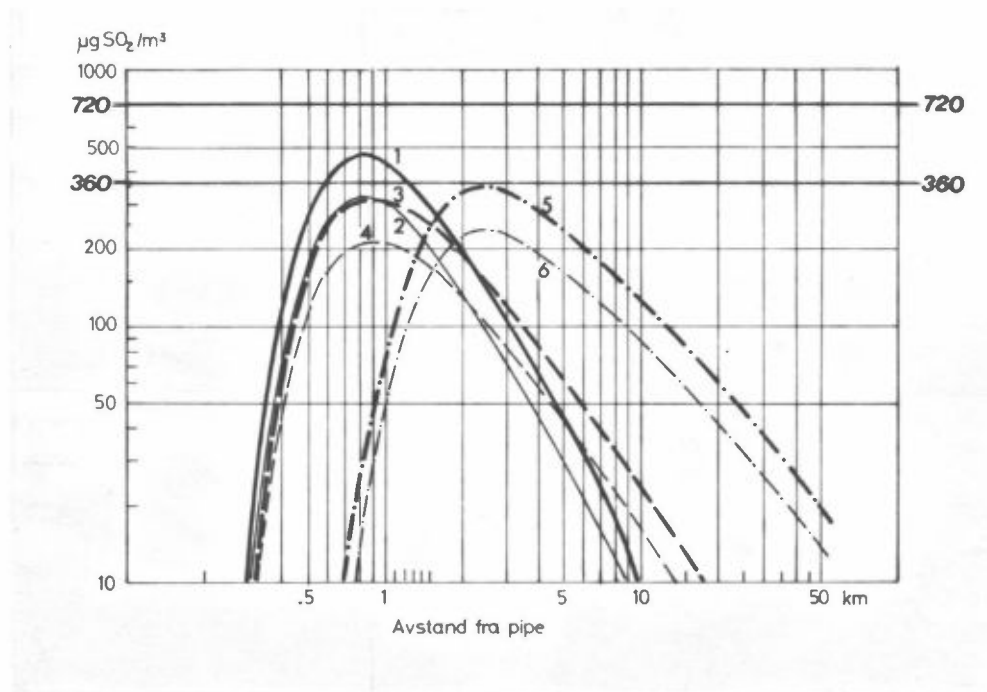
Beregningene er utført ved hjelp av vanlige spredningsformler (3). En har antatt utslippsmengder på 15 og 22 g SO₂/s, svarende til henholdsvis nåværende maksimalt tillatte oljeforbruk (3350 kg/h) og en antatt økning til 5000 kg/h. Det er antatt at økning i oljeforbruket ikke øker røykgassenes overhøyde.

Resultatene av beregningene fremgår av tabell 5. I tabellen er gitt halvtimes-konsentrasjonene i forskjellige avstander under ulike meteorologiske forhold. I hver rubrikk er det oppført to tall. Det øverste gjelder et utslipp på 15 g SO₂/s, mens det nederste gjelder 22 g SO₂/s. Nederst i tabellen er det også angitt den maksimale bakke-konsentrasjonen og i hvilken avstand fra pipa den opptrer. Også den effektive utslippshøyden er gitt i tabellen.

Vindstyrke (m/s)	Instabilt			Nøytralt			Stabilt		
	1	3	5	1	3	5	1	3	5
Effektiv utslipps- høyde (m)	72	47	40	67	45	39	62	43	38
Avstand (m)									
100	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0
200	0 0	15 20	40 55	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0
400	70 105	215 315	205 300	0 0	35 50	60 90	0 0	5 10	10 15
800	320 470	195 285	130 190	115 170	210 310	180 265	15 20	100 150	110 165
1600	190 280	75 110	45 65	255 375	165 240	115 170	175 260	190 280	145 210
3200	65 95	25 35	15 20	175 260	75 110	50 75	215 315	120 180	80 115
6400	20 30	5 10	5 10	80 115	30 45	20 30	135 195	55 85	35 50
Maksimal konsentrasjon	320 470	250 365	205 300	260 380	215 315	180 265	240 350	200 290	155 225
Tilsvarende avstand (m)	800	500	400	1700	900	800	2600	1500	1300

Tabell 5: Halvtimes-konsentrasjonen av SO₂ i midlere byggehøyde H_b = 15 m i forskjellige avstander fra pipa ved ulike vindhastigheter og stabilitetsforhold (µg/m³). Det er angitt konsentrasjonen både ved utslipp på Q = 15 g SO₂/s (øverste) og Q = 22 g SO₂/s.

For bedre å anskueliggjøre hvordan konsentrasjonen varierer, har en i figur 9 tegnet noen av tilfellene fra tabell 5.



Figur 9: Konsentrasjonen av SO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) i midlere byggehøyde som følge av utslipp fra pipa på Ullevål sykehus ved ulike meteorologiske forhold.

1. Instabilt, $u = 1 \text{ m/s}$, $Q = 22 \text{ g SO}_2/\text{s}$
2. Instabilt, $u = 1 \text{ m/s}$, $Q = 15 \text{ g SO}_2/\text{s}$
3. Nøytralt, $u = 3 \text{ m/s}$, $Q = 22 \text{ g SO}_2/\text{s}$
4. Nøytralt, $u = 3 \text{ m/s}$, $Q = 15 \text{ g SO}_2/\text{s}$
5. Stabilt, $u = 1 \text{ m/s}$, $Q = 22 \text{ g SO}_2/\text{s}$
6. Stabilt, $u = 1 \text{ m/s}$, $Q = 15 \text{ g SO}_2/\text{s}$

Tabell 5 og figur 9 viser at de høyeste verdiene fås ved instabile forhold og vindhastighet $u = 1$ m/s. Maksimal bakkekonsentrasjon ved utslipp $Q = 22$ g SO_2 /s er $470 \mu\text{g}/\text{m}^3$ som halvtimesmiddel i avstanden 800 m fra pipa. Dette er godt under den svenske normen for halvtimesmidler av SO_2 i luften (4). Denne er $720 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Setter en imidlertid det strengere krav at konsentrasjonen av SO_2 fra et enkelt utslipp ikke skal overstige $360 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (4), ser en at den nåværende pipa er for lav i dette tilfellet. For at den nevnte grensen ikke skal overskrides, viser beregninger at pipas fysiske høyde må være 57 m. Grensen på $360 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nås i dette tilfellet i avstanden 950 m fra pipa.

Tabell 5 viser at en konsentrasjonsgrense på $360 \mu\text{g}/\text{m}^3$ også vil overskrides ved et utslipp på 22 g SO_2 /s ved instabile forhold og $u = 3$ m/s og ved nøytrale forhold og $u = 1$ m/s. Overskridelsene er imidlertid svært små (maksimalt $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Det kritiske for pipehøyden er instabile forhold og $u = 1$ m/s. Ved en fysisk pipehøyde på 57 m vil ikke konsentrasjonen i noen tilfelle overstige $360 \mu\text{g}/\text{m}^3$ i midlere byggehøyde.

Kurve 3 og 4 i figur 9 viser forholdene ved nøytral sjiktning og midlere vindstyrke $u = 3$ m/s. Dette er ofte forekommende spredningsforhold. Med $Q = 22$ g SO_2 /s blir i dette tilfellet maksimal konsentrasjon i midlere byggehøyde $315 \mu\text{g}/\text{m}^3$ i avstanden 900 m fra pipa.

Ved stabile forhold og $u = 1$ m/s (kurve 5 og 6) blir maksimal konsentrasjon $350 \mu\text{g}/\text{m}^3$ i avstanden 2600 m fra pipa. Denne type spredningsforhold forekom oftest vinteren 1971/72.

Konklusjonen på disse beregningene er at dersom en legger det krav til grunn at konsentrasjonen fra et enkelt utslipp ikke skal overstige $360 \mu\text{g}/\text{m}^3$ i midlere byggehøyde, bør pipas høyde økes fra 45 m til 57 m ved en økning i oljeforbruket til 5000 kg/h. Ved nåværende maksimalt tillatte oljeforbruk er pipa høy nok.

For å knytte beregningene sammen med målte vindforhold, har en i tabell 6 gitt vindfrekvensene ved ulike stabilitetsforhold og vindstyrker i den sektoren beregningene er gjort for.

Midlere vindstyrke Stabilitetsforhold	Under 2 m/s	2 - 4 m/s	Over 4 m/s
Instabilt	1,5	2,7	2,6
Nøytralt	10,6	16,6	9,2
Stabilt	18,9	3,4	4,5

Tabell 6: Prosentvis vindfordeling i sektoren fra 330° til 90° i forhold til pipa ved ulike stabilitetsforhold og vindstyrkeklasser for vinteren 1971/72.

Grenseverdien 360 µg/m³ overskrides klart under instabile forhold og vindstyrke 1 m/s når Q = 22 g SO₂/s. Tabell 6 viser at denne type spredningsforhold kan ventes å forekomme i ca 1,5% av tiden om vinteren. Tabellen viser ellers at de mest vanlige spredningsforhold om vinteren er stabilt med vindstyrke under 2 m/s (18,9%) og nøytralt med midlere vindstyrke 3 m/s (16,6%).

6.4 Belastning på toppen av og på baksiden av Midtblokken ved uhindret luftstrøm

Ved vurderingen av pipehøyden ved Ullevål sykehus har en også beregnet konsentrasjonen på toppen av Midtblokken (25 m over bakken) i en uhindret luftstrøm. Beregningene er gjort for en horisontal avstand av 100 m fra pipa. En har gjort de samme forutsetningene for beregning av overhøyde som i kapittel 6.3. Beregningene viser at halvtimeskonsentrasjonen av SO₂ på toppen av Midtblokken ikke i noe tilfelle vil overstige 5 µg/m³ ved et oljeforbruk på 5000 kg/h (instabilt, u = 5 m/s). Tidligere målinger (5) viser også at SO₂-belastninger på toppen av Midtblokken med daværende utslipp ikke var målbare.

Beregningene for baksiden av Midtblokken er gjort i et punkt 100 m fra pipa (ca 20 m sør for Midtblokken).

I første omgang er konsentrasjonen beregnet på bakken under forutsetning av at bygningen ikke eksisterte. Det viser seg at bidraget fra pipa i dette tilfelle er helt ubetydelig.

Det verste tilfellet på bakken bak bygningen vil oppstå ved røyknedslag, men konsentrasjonene på bakken blir neppe høyere enn på toppen av bygningen. Beregningene foran viser at konsentrasjonen av SO_2 på toppen av Midtblokken ikke i noe tilfelle vil overstige $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Selv om nedslag bak bygningen kan forekomme, vil konsentrasjonen på baksiden være helt ubetydelig.

Byggedirektøren har telefonisk opplyst at det skal bygges et nytt bygg i området nordøst for pipa. Denne bygningen vil bli 8 m høyere enn Midtblokken. Under forutsetning av at bygningen blir plassert ca 100 m fra pipa, har en for $H_p = 45$ m beregnet maksimal SO_2 -konsentrasjon på toppen av bygningen. Konsentrasjonen blir $165 \mu\text{g SO}_2/\text{m}^3$ ved instabile forhold og midlere vindstyrke 5 m/s når en antar et olje-forbruk på 5000 kg/h. Under andre meteorologiske forhold blir konsentrasjonen ubetydelig.

6.5 Sammenligning med målte verdier

Tidligere i rapporten er det redegjort for den belastning utslippet fra pipa har gitt i måleperioden. Disse verdiene ligger godt under de som er beregnet i figur 9. Imidlertid var det midlere utslipp i perioden bare ca $3,5 \text{ g SO}_2/\text{s}$. Med det aktuelle utslipp, nøytrale spredningsforhold, midlere vindhastighet $u = 3 \text{ m/s}$ og vind rett fra pipa mot hvert av målestedene skulle en på grunnlag av beregningene vente følgende maksimale merbelastning:

Ullevål 15A	: 55 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Veterinærhøgskolen:	30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Voldsløkka	: 45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Konsentrasjonene ved Veterinærhøgskolen og Voldsløkka er beregnet i midlere byggehøyde 15 m i forhold til pipebasis og antatt konstant under dette nivået. Ved Ullevål 15A er beregningen gjort i den høyde måleapparatet sto (10 m over midlere byggehøyde).

De målte merbelastningene som skyldes utslippet av SO_2 fra pipa på Ullevål sykehus (5 - 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) er noe lavere enn de beregnede verdiene (30 - 55 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

En grunn til dette kan være økt turbulens på grunn av bygningsmassen. Et annet forhold er at mens beregningene gir maksimal halvtimesbelastning med stødig vind rett mot målestedene, så er de målte verdiene beregnet som midlet av en rekke observasjoner hvor vinden har svinget frem og tilbake innen en 10° -sektor. Derfor vil beregnede konsentrasjoner være noe høyere enn de målte.

7 KONKLUSJON

Målingene vinteren 1971/72 indikerer at det nåværende utslippet fra pipa ved Ullevål sykehus kan forårsake merbelastninger på opptil $30 \mu\text{g SO}_2/\text{m}^3$ som midlere timesverdier i området. Utslipp som fant sted fra Ullevål sykehus vinteren 1971/72 skulle derfor ikke alene føre til SO_2 -konsentrasjoner i området som overskrider den svenske normen for halvtimesmiddel.

Sammenligning av målinger i området med beregninger fra nåværende midlere utslipp tyder på at beregnete verdier blir høyere enn de målte. Dette skyldes den økte turbulens på grunn av bygningsmassen og vindfluktuasjoner omkring de valgte 10° -sektorene.

Beregningene for pipehøyder viser at en ved nåværende pipehøyde og tillatt maksimalutslipp ikke vil få konsentrasjoner av SO_2 som overskrider den svenske halvtimesnormen $720 \mu\text{g}/\text{m}^3$ i midlere byggehøyde, på toppen av Midtblokken eller bak Midtblokken. Setter en imidlertid det strengere krav at konsentrasjonen av SO_2 fra ett utslipp ikke skal overstige $360 \mu\text{g}/\text{m}^3$, får en de største overskridelsene ved instabile forhold og midlere vindstyrke $u = 1 \text{ m/s}$ når en antar en økning i oljeforbruket til 5000 kg/h . I dette tilfellet bør ifølge beregningene den fysiske pipehøyden økes til 57 m . I de svenske retningslinjer tillates at denne verdien overskrides 1% av tiden. Frekvensen av værforhold med instabil sjiktning og vindstyrke omkring 1 m/s er sannsynligvis noen få prosent av tiden. Denne situasjon opptrer hyppigst om sommeren da utslippene imidlertid er sterkt reduserte.

På og bak Midtblokken vil ekstrabelastningen i middel bli ubetydelig for begge utslippsmengdene. Et eventuelt nytt bygg, som er planlagt til 8 m høyere enn Midtblokken, vil ved instabil sjiktning og vindstyrke $u = 5 \text{ m/s}$ kunne få en merbelastning omkring $160 \mu\text{g SO}_2/\text{m}^3$ med et oljeforbruk på 5000 kg/h .

8 LITTERATURLISTE

- (1) Werner Johannessen, T.,
Håland, L. Standard Normals 1931-60 of
monthly Wind Summaries for
Norway.
Det Norske Meteorologiske
Institutt, 1969.
- (2) Grønskei, K.E.,
Joranger, E.,
Gram, F. Assessment of Air Quality
in Oslo, Norway.
NILU Intern rapport nr 50/73,
1973.
- (3) Turner, D.B. Workbook of Atmospheric
Dispersion Estimates.
US Department of Health,
Education and Welfare.
Publ. Health Service
Publication No. 999-AP-26,
1970.
- (4) Riktlinjer för emissions-
begränsande åtgärder vid luft-
förorenande anläggningar.
Statens Naturvårdsverk.
Publikation 2, 1970.
- (5) Joranger, E. Måling av svoveldioksyd i
luften på Ullevål sykehus.
NILU Oppdragsrapport nr 25/71,
1971.