

NILU
OPPDRAGSRAPPORT NR 29 /76
REFERANSE: 20371
DATO: DESEMBER 1976

LUFTFORURENSNINGSMÅLINGER I
KRISTIANSAND S

AV

EINAR JORANGER OG BRITT RYSTAD

NORSK INSTITUTT FOR LUFTFORSKNING
POSTBOKS 130, 2001 LILLESTRØM
NORGE

Blank

INNHOILDSFORTEGNELSE

	Side
<u>SAMMENDRAG</u>	5
1 <u>INNLEDNING</u>	11
2 <u>UTSLIPP AV SVOVELDIOKSYD OG STØV</u>	12
2.1 <u>Svoveldioksyd</u>	12
2.2 <u>Støv</u>	13
3 <u>NORMER FOR SVOVELDIOKSYD OG STØV</u>	14
3.1 <u>Svoveldioksyd og svevestøv</u>	14
3.2 <u>Støvfall</u>	16
4 <u>MÅLEPROGRAM OG METODER</u>	16
4.1 <u>Meteorologiske målinger</u>	19
4.2 <u>Svoveldioksyd</u>	19
4.3 <u>Svevestøv</u>	20
4.4 <u>Støvfall</u>	20
5 <u>RESULTATER OG DISKUSJON</u>	21
5.1 <u>Meteorologi</u>	21
5.2 <u>Svoveldioksyd</u>	24
5.2.1 <u>Resultater</u>	24
5.2.2 <u>Sammenligning med normer for SO₂</u>	29
5.2.3 <u>Sammenheng mellom SO₂-kilder - spredning - inmisjon</u>	30
5.2.4 <u>Spredningsberegninger</u>	33
5.3 <u>Svevestøv</u>	36
5.4 <u>Støvfall</u>	38
5.4.1 <u>Resultater</u>	38
5.4.2 <u>Sammenhengen mellom støvkilder og støvfall</u>	43
5.4.3 <u>Sammenligning med normer for støvfall og med støvfall i andre byer</u>	52
6 <u>KONKLUSJON</u>	54
7 <u>FORSLAG TIL FRAMTIDIGE MÅLEPROGRAM</u>	57
8 <u>LITTERATUR</u>	59

Blank

SAMMENDRAG

Hensikten med målingene i Kristiansand var å vurdere forurensningssituasjonen av svoveldioksyd og støv. Målingene ble utført av Elkem Spigerverket a/s - Fiskaa Verk, Falconbridge Nikkelverk A/S og Kristiansand Helseråd.

Døgnmiddelverdiene av SO₂-konsentrasjonene ble målt på 12 steder i området. De fleste steder var måleperioden minst 2 år (høsten 1971 - høsten 1973). Dessuten ble det under en 9 måneders periode målt halvtimesmiddelverdier av SO₂ på Dueknipen og Slettheia for å undersøke de lokale virkninger av utslippet fra Falconbridge Nikkelverk A/S.

Databearbeidelsen viser at Kristiansand med hensyn til SO₂-belastningen stort sett kan deles i en østlig og en vestlig sone med karakteristiske forskjeller.

I den østlige bydelen, innbefattet sentrumsområdet, varierer de midlere SO₂-konsentrasjoner i sentrumsområdet stort sett med årstiden, med 30-40 µg SO₂/m³ som typisk månedsmiddelverdi om vinteren og 10-15 µg SO₂/m³ om sommeren, som er normalt for norske byer uten dominerende industri. Målingene indikerer at sentrumsområdet får en midlere SO₂-belastning fra utslippet på Falconbridge Nikkelverk A/S på 10-20 µg SO₂/m³ når vindretningen er fra bedriften mot sentrum. Den høyeste døgnmiddelverdi ble målt 4. oktober 1972 i Tollbodgt. til 105 µg SO₂/m³. Døgn og halvårsmiddelverdier på alle stasjonene i denne bydelen ligger godt under WHO's (World Health Organization) og de svenske retningslinjer for luftkvalitet.

I den vestlige bydel viser halvtimes- og døgnmiddelverdiene for SO₂ at området er relativt sterkt belastet av utslippet fra industrien. På basis av målingene er på Dueknipen de høyeste halvtimes belastninger anslått til å være opp mot

1000 $\mu\text{g SO}_2/\text{m}^3$. Spredningsberegningene indikerer at ved ugunstige spredningsforhold vil en kunne vente de høyeste SO_2 -konsentrasjoner innenfor en radius av ca. 1500 meter i flatt lende fra bedriften. Meget store korttidsbelastninger kan forekomme når gassrensaneanlegg 1 er ute av drift, men en kan også få relativt høye belastninger fra de øvrige utslippene. Målingene av SO_2 -halvtimesmiddelverdier viser imidlertid ingen overskridelse av den svenske "norm" for timesverdier. Det ble imidlertid i løpet av 2 døgn i august 1973 målt 8 timesmiddelverdier på omkring $700 \mu\text{g SO}_2/\text{m}^3$ på Dueknipen. SO_2 -middelkonsentrasjonen i området omkring Falconbridge ligger i sommerkvartalet $10-20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ og i vinterkvartalet ca $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ høyere enn det en skulle vente uten industri i området.

En sammenligning av målte SO_2 -døgnmiddelverdier ved forskjellige middelvindretninger på Falconbridge viste også at ved vind fra Falconbridge mot Dueknipen var den midlere SO_2 -belastning $60-70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ høyere enn ved vind fra andre retninger. Ved de andre stasjonene var bidraget vesentlig lavere og stort sett avtakende med avstanden fra Falconbridge. På Myren var bidraget $25-35 \mu\text{g SO}_2/\text{m}^3$.

Den svenske langsiktige målsetting for døgnlige middelkonsentrasjoner ble overskredet på Dueknipen vinteren 1972/73 idet 4 døgn hadde middelkonsentrasjoner høyere enn $200 \mu\text{g SO}_2/\text{m}^3$ (maksimumsverdi $326 \mu\text{g SO}_2/\text{m}^3$). Høyere døgnmiddelkonsentrasjoner enn "grenseverdien" ble for øvrig målt ialt 10 ganger, på Dueknipen (7 døgn), Slettheia (2 døgn) og Myren (1 døgn).

På alle stasjonene ligger middelkonsentrasjonene for vinterhalvåret godt under den svenske langsiktige målsetting ($60 \mu\text{g SO}_2/\text{m}^3$).

Støvfallet er undersøkt i perioden januar 1972 - desember 1974. 7 støvfallsmålere ble plassert i de vestlige bydeler omkring Fiskaa Verk som er største støvkilden i Kristiansand.

Fra april 1973 ble ytterligere 6 støvfallsmålere etablert i de sentrale og nordlige deler av byen. På to av stedene (Jernstøperiet og NKL Krossen) var målerne plassert i nærheten av et pukkverk, og målingene er derfor ikke representative for et større område.

Fordelingen av det totale støvfall i Kristiansand indikerer 3 maksimumsoner: omkring Fiskaa Verk, med høyeste verdi $18.5 \text{ g/m}^2 \cdot 30 \text{ døgn}$ på Fiskåtangen; sentrumsområdet, med høyeste verdi $16.3 \text{ g/m}^2 \cdot 30 \text{ døgn}$ ved Sentrum; ved Krossen, med høyeste verdi $63 \text{ g/m}^2 \cdot 30 \text{ døgn}$ ved Jernstøperiet. Det sterke nedfallet på Jernstøperiet skyldes vesentlig at stasjonene er plassert nær et pukkverk.

Ifølge den svenske "tommelfingerregel" (og den finske norm) var det totale støvfallet "ikke tilfredsstillende" (større enn $10 \text{ g/m}^2 \cdot 30 \text{ døgn}$) på Fiskåtangen, Skyllingsheia, Dallona, Slettheia og Kronmarka i henholdsvis 7, 6, 6, 4 og 1 måneder av en måleperiode på 36 måneder. "Normen" ble overskredet ved Sentrum, Arkivet og Jernstøperiet i henholdsvis 4, 1 og 6 måneder av ialt 20 måneder.

Støvfallet var "ubehagelig" (større enn $15 \text{ g/m}^2 \cdot 30 \text{ døgn}$) 3 måneder på Fiskåtangen og Jernstøperiet, 2 måneder på Skyllingsheia og 1 måned i Sentrum.

Når det var sterkt støvfall, var den gjennomsnittelige prosentvise fordeling av komponentene i støvfallet omlag den samme som for hele materialet. Dette tyder på at variasjonen i støvfallet vesentlig skyldes de meteorologiske forhold.

Overskridelsene var omtrent likt fordelt på høst-, vinter- og vårkvartalene, mens det var få overskridelser i sommerkvartalene.

Nedfallet av vannløselig støv utgjør i middel for alle stasjonene ca 37% av det totale støvfall. En del av nedfallet er salter fra nedbøren, som antas å være jevnt fordelt over hele området. Nedfallet avtar noe innover land, med antydning til maksimumssoner omkring Fiskaa Verk og sentrum. En antar at variasjonen vesentlig skyldes salter fra sjøsprøyt, men at lokale utslipp og analysemetoder av støvet kan være medvirkende årsaker til variasjonen.

Nedfallet av vannløselig støv omkring Fiskaa Verk var 3-4 g/m²·30 døgn større, og i sentrumsområdet 2-3 g/m²·30 døgn større enn i omgivelsene av Kristiansand. Sammenligning av middelverdier for vannløselig støvfall i Kristiansand med andre byer og industristeder viser at støvfallsbelastningen i villastrøket omkring Fiskaa Verk var av samme størrelse som i boligområdene i industristedene Sauda og Slemmestad, og 2-3 ganger høyere enn i lignende boligstrøk uten industri. Også i sentrum av Kristiansand var det vannløselige støvfall høyt i forhold til hva en finner f.eks. i Gjøvik og Tromsø.

Den eneste betydelige SiO₂-kilden i byen er Fiskaa Verk. Verket har i måleperioden hatt et gjennomsnittlig årlig utslipp på ca. 11 200 tonn støv, som er 66% av årlig støvproduksjon i perioden. De resterende 34% er filtrert fra. Størstedelen av SiO₂-utslippet fra Fiskaa Verk må betraktes som svevestøv som spres over større områder. Fordelingen indikerer likevel 2 maksimumssoner i byområdet; omkring Fiskaa Verk og sentrum (Kvadraturen). I begge soner var belastningene omkring 1.5 g SiO₂/m²·30 døgn høyere enn bakgrunnsverdien (ca. 0.5 g/m²·30 døgn).

Maksimumssonen omkring Fiskaa Verk må vesentlig skyldes nedfallet av den grovkornete del av utslippet (ifølge Fiskaa Verk ca. 5% av totalutslippet). Maksimumssonen for SiO₂-nedfall omkring sentrum kan skyldes at alle støvfallsmålerne, unntatt Dueknipen, var plassert ved gater og åpne plasser hvor støv virvles lett opp ved trafikk og vind, mens målerne omkring Fiskaa Verk var plassert i vegetasjonsrike villaområder med lite trafikk.

Den store forskjellen i midlere SiO₂-prosent i de to sonene (Fiskåområdet 29%, sentrumsområdet 39%) kan delvis skyldes denne forskjell i stasjonsplassering mellom de to soner.

Målingene tyder på at det også er en maksimumssone av forbrennbart vannuløselig nedfall omkring Fiskaa Verk med en belastning som er ca. 2 g/m²·30 døgn høyere enn bakgrunnsbelastningen. Dette tyder på at det er relativt store nedfall av denne type (organisk materiale) i Fiskå-området.

Det er foretatt analyse av svevestøvmengdene (partikler mindre enn 10 µm) i to 14-dagers perioder med forurensningsepisoder. Alle konsentrasjonene var langt under de foreslåtte normer for svevestøv. Det må imidlertid påpekes at den anvendte målemetode gir for lave verdier for det lyse SiO₂-støvet.

Blank

LUFTFORURENSNINGER I KRISTIANSAND S

1 INNLEDNING

Kristiansand kommune startet i september 1971 en undersøkelse av luftforurensningene i byen. Støvfallsmålinger på 14 stasjoner ble utført av Elkem Spigerverket a/s - Fiskaa Verk, senere kalt Fiskaa Verk. Målinger av svoveldioksyd (SO_2) ble foretatt som døgnmidler på 12 stasjoner av Kristiansand Helseråd. Falconbridge Nikkelverk A/S, senere kalt Falconbridge, utførte målinger av SO_2 -halvtimesmiddelverdier på 2 stasjoner, samt vindregistreringer på 2 stasjoner. De fleste SO_2 -målinger ble avsluttet høsten 1973 og støvmålingene vinteren 1975.

Alle data er overlatt NILU for videre bearbeidelse. Hensikten med arbeidet er å belyse de forskjellige kildenes betydning for luftforurensningssituasjonen i Kristiansand.

En foreløpig rapport, utarbeidet i april 1973 (1), omhandlet målinger utført i tidsrommet 14.9.1971 - 30.9.1972. Disse målingene er også tatt med i denne sluttrapport.

Måledataene er samlet i en egen rapport (bilag 1,2 og 3).

2 UTSLIPP AV SVOVELDIOKSYD OG STØV

En skiller spredningsmessig mellom to hovedtyper av utslipp eller kilder for forurensning: punktkilder og arealkilder. En punktkilde kan være en skorstein hvor utslippet er over en viss størrelse. En arealkilde er et område med en mengde små kilder, f.eks. et boligområde. Konsentrasjonen ved de målepunktene som vesentlig påvirkes av arealkilder vil variere i takt. De målepunktene som er influert av en punktkilde, vil variere mer eller mindre i utakt, avhengig av punktkildenes styrke i forhold til arealkildene, midlingstiden for konsentrasjonsmålingene og endelig forskjellene i retning fra punktkilden til de forskjellige målepunktene.

2.1 Svoveldioksyd

Utslipp av SO₂ skjer hovedsakelig ved forbrenning av fossilt brensel og ved industrielle prosesser. De største utslippene i kommunen skjer fra Falconbridge og Fiskaa Verk. Disse verk oppgir følgende tall for egne totale utslipp av SO₂ ved prosesser og oljeforbruk:

Falconbridge : ca. 1500 tonn SO₂/år
Fiskaa Verk : ca. 1000 tonn SO₂/år

Utslippene er nærmere spesifisert slik:

Falconbridge	Utslipp tonn SO ₂ /år	Utslippshøyde m.o.h.	Skorsteins- høyde (m)
Gassrense- anlegg 1	140 - 280	68 og 65	28 og 25
Gassrense- anlegg 2	90 - 180	73	38
Kjelhus	960	49 og 54	29 og 34
Høy skorstein	200 - 270 (1973)	130	105
Sum	ca 1500		

Det kan dessuten forekomme kortere perioder med driftsstans i gassrensaneanlegget. I 1973 har gassrensaneanlegg 1 vært ute av drift tilsammen 67 timer. I disse periodene er utslippsmengden 3 - 4 tonn SO₂/h, som slippes ut gjennom bedriftens høye skorstein.

Fiskaa Verk	Utslipp tonn SO ₂ /år	Utslippshøyde m.o.h.
Smelteverket	665	60
Elektrodemasse- fabrikk	325	27 - 30
Oljeoppvarming	9	-
Sum	ca. 1000	

Det totale utslippet av SO₂ i Kristiansand kan anslås til omlag 2750 tonn pr. år fordelt slik:

Husoppvarming	140 tonn SO ₂ /år
Oljeforbruk Falconbridge 960	
Oljeforbruk Fiskaa Verk 10	
Oljeforbruk annen industri <u>90</u>	1 060 " "
Prosessutslipp fra Falcon- bridge og Fiskaa Verk	1 570 " "
<hr/>	
Total	ca. 2 770 tonn SO ₂ /år

Tallene er beregnet på grunnlag av oljeselskapenes oljestatistikk for 1972 og opplysninger fra bedriftene.

2.2 Støy

Data om støvutslipp er usikre. Fiskaa Verk antyder for perioden januar 1972 - desember 1974 et gjennomsnittlig støvutslipp på 1280 kg/time eller 11 200 tonn/år. Fiskaa Verk hadde i denne perioden 2 filtre i drift. Siden 1. mars 1976 er ytterligere et posefilter tatt i bruk, og støvutslippet fra Fiskaa Verk er for tiden ca. 400 kg/time.

Ifølge en svensk publikasjon (2) kan en generelt anta at støvpartikler fra ferrosilisiumverk består av to fraksjoner. En grovkornet del, med diameter fra noen få til flere hundre μm^* , utgjør 10-20% av totalmengden. Partiklene består hovedsakelig av koks, kull, kvarts og jernoksyder. Den finkornete del utgjør 80-90% av støvet, og den består av amorfe SiO_2 -partikler med størrelsen 0.1 - 1 μm . Fiskaa Verk opplyser at den grovkornete delen som de skiller ut i sine forsykloner, utgjør ca. 5%. Tallet vil være avhengig av utformingen av rørledninger og sykkloner.

Analyser av ovnstøvet fra Fiskaa Verk har gitt et gjennomsnittlig SiO_2 -innhold på ca. 93%. Støvet vil hovedsakelig være vannuløselig, og denne delen av støvet vil transporteres over lengre avstander enn grovere partikler. Støvet som faller ned nær verket har følgelig lavere SiO_2 -innhold enn nedfallet lengre unna. Det er ikke gitt opplysninger om støvutslipp fra Falconbridge, men det antas at dette er lite.

Ellers bringes uspesifiserte mengder av støv opp i luften ved forbrenningsprosesser, ved industrielle prosesser og ved oppvirvling av støv fra landbruk og biltrafikk i tørt vær.

3 NORMER FOR SVOVELDIOKSYD OG STØV

3.1 Svoveldioksyd og svevestøv

For å unngå helseeffekter, er det i de senere år blitt klart at en ikke bør se på enkeltkomponenter som f. eks. svevestøv alene. Støvets kjemiske sammensetning har betydning, og dessuten om det forekommer sammen med f. eks. svoveldioksyd (SO_2).

Det er i Norge ikke fastsatt retningslinjer (normer) for luftens innhold av SO_2 og svevestøv.

* $\mu\text{m} = \frac{1}{1000} \text{ mm}$

Ved bedømmelse av SO₂ og støvforurensning har ofte svenske retningslinjer vært lagt til grunn. Nedenfor er gjengitt de svenske retningslinjer for SO₂ (Tabell 1) og svevestøv (sot) i uteluft (3).

Høyeste tillatte verdi	Langsiktig målsetning	Midlingstid	Anmerkning
100	60	Vinterhalvår (oktober-mars)	
300	200	24 timer	Kan overskrides høyst 2% av tiden (3 dager) i vinterhalvåret. Disse dagene skal ikke inntreffe etter hverandre
750		1 time	Kan overskrides høyst 1% av tiden pr 30 dager

Tabell 1: Svenske retningslinjer for SO₂ i uteluft ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Høyeste tillatte verdier for svevestøv er 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ som vintermiddel, og døgnmiddelverdier over 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ kan bare overskrides 2% av tiden. Det er for svevestøv ikke utarbeidet langsiktig målsetting for luftkvaliteten. Målemetoden for svevestøv er svertningsmålinger utført ifølge OECDs retningslinjer og med OECDs standardkurve (4).

De foreslåtte svenske "normer" for SO₂ (langsiktig målsetting) og for svevestøv i lufta baserer seg på normer som en ekspertkomité innen World Health Organization (WHO) har anbefalt (5). Eneste forskjell er at i Sverige skal normene bare gjelde vinterhalvåret istedenfor på årsbasis, fordi forurensningsnivået er høyest om vinteren. En vil med andre ord ikke godta høye konsentrasjoner om vinteren fordi nivået er lavt om sommeren.

3.2 Støvfall

I Norge er det heller ikke fastsatt normer for støvfall (større partikler). Slike normer synes ofte å være fastsatt etter de generelle forurensningsforhold i de enkelte land. Sverige har ingen offisielle retningslinjer for støvfall, men Statens Naturvårdsverk har i brev til NILU skrevet at de anbefaler at støvfall bør måles med samme type støvsamler som anvendes ved NILU, og at de bedømmer støvfallsmålingene ut fra følgende "tommelfingerregel".

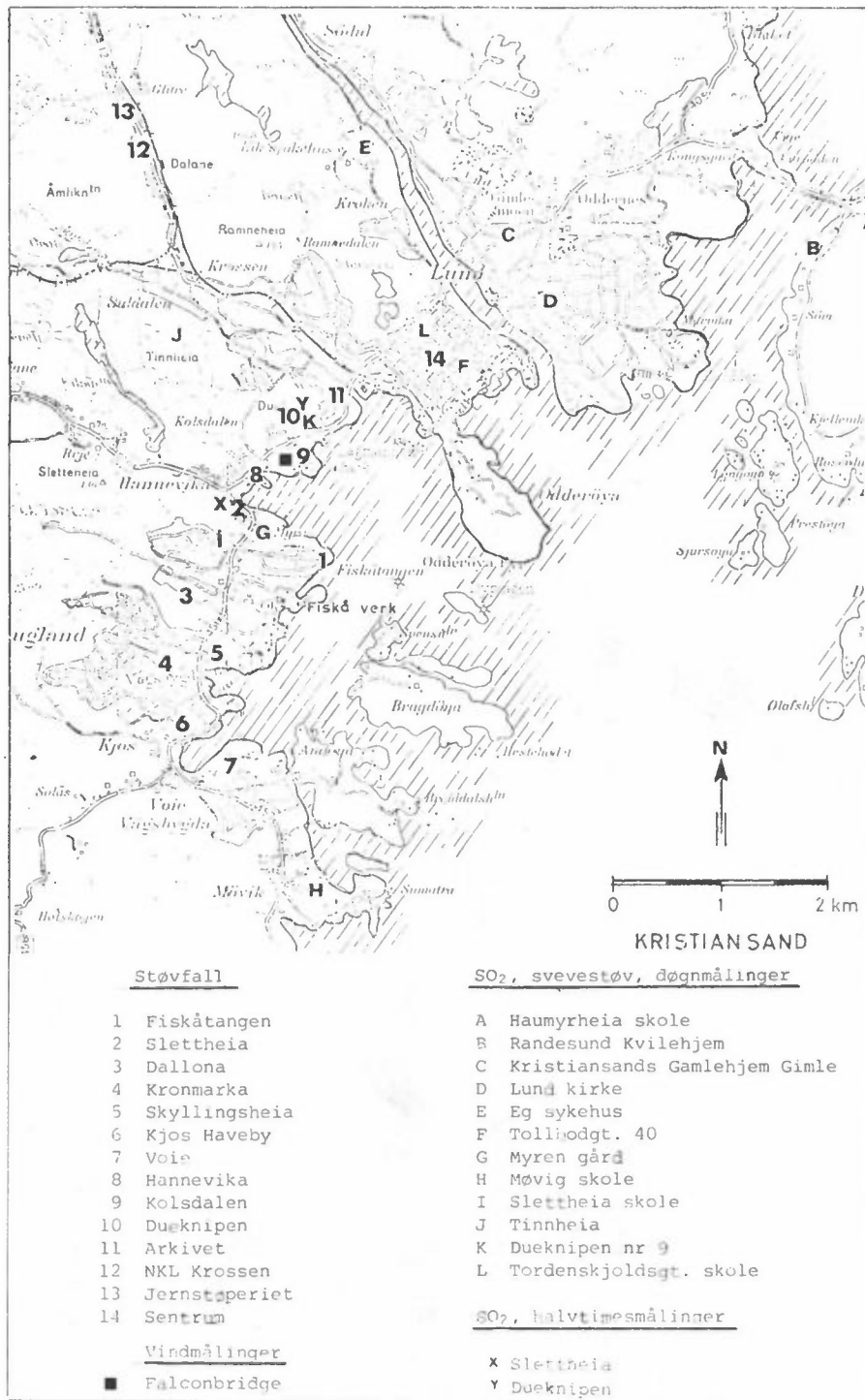
	1 - 2 g/m ² · 30 døgn	Bakgrunnsforurensning
større enn 5 -	" "	Tilfredsstillende
" 10	" "	Ikke tilfredsstillende
" 15	" "	Ubehagelig

Uten at det er spesifisert, antar en at dette gjelder totalt støvfall. På bakgrunn av dette vil en karakterisere det som "utilfredsstillende" når totalt støvfall i Kristiansand overstiger 10 g/m² · 30 døgn.

Den svenske anbefaling ligger for øvrig svært nær opp til de finske normer for totalt støvfall (6).

4 MÅLEPROGRAM OG METODER

Alle benyttede målestasjoner er inntegnet på kartet i figur 1. Tidsrammen for drift av de enkelte stasjoner framgår av figur 2.



Figur 1: Kart over Kristiansand-området med alle stasjoner inntegnet.

STASJON		1971	-72					-73					-74					-75															
		A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M
SO ₂ DØGNMÅLINGER	1 Haugmyrheia	—————																															
	2 Randesund	—————																															
	3 Gamlehjem Gisle	—————																															
	4 Lund kirke	—————																															
	5 Eg sykehus	—————																															
	6 Tollbodgt 40	—————																															
	7 Myren gård	—————																															
	8 Møvig/Fjellhaug	—————																															
	9 Slettheia skole	—————																															
	10 Tinnheia skole	—————																															
	11 Dueknipen nr 9	—————																															
	12 Tordenskjoldsgt skole	—————																															
SO ₂ 1/2t.målinger	Dueknipen																																
	Slettheia																																
VIND	Falconbridge	—————																															
	Tinnheia																																
STØVMÅLINGER	1 Fiskåtangen	—————																															
	2 Slettheia	—————																															
	3 Dallona	—————																															
	4 Kronmarka	—————																															
	5 Skyllingsheia	—————																															
	6 Kjos Haveby	—————																															
	7 Voie	—————																															
	8 Hamevika	—————																															
	9 Kolsdalen	—————																															
	10 Dueknipen	—————																															
	11 Arkivet	—————																															
	12 NKL Krossen	—————																															
	13 Jernstøperiet	—————																															
	14 Sentrum	—————																															

Figur 2: Tidsramme for drift av målestasjonene.

*Stasjon Møvig flyttet høsten 1973 til Fjellhaug.

4.1 Meteorologiske målinger

Vindretning og vindstyrke er målt av Falconbridge Nikkelverk A/S ved hjelp av en kontinuerlig registrerende vindmåler av typen Lambrecht Woelfle plassert på taket av fabrikken. Vindregistreringene for perioden 22.10.1971 - 9.10.1973 er velvilligst stilt til rådighet for vurdering av forurensningsdataene. Etter 9.10.1973 har en del tekniske problemer ført til at registreringene er mangelfulle. I noen perioder ble det av Falconbridge også målt vind på Tinnheia.

4.2 Svoveldioksyd

Døgnmiddelkonsentrasjoner av SO₂ er målt ved hjelp av såkalte "kommunekasser", en automatisk luftprøvetaker som er utviklet ved NILU. Luften suges inn gjennom en trakt, passerer et filter og bobler gjennom en gassvaskeflaske. Her absorberes svoveldioksyd. Mengden bestemmes ved analyse etter Thorinmetoden (7).

Tolv målestasjoner har vært i drift fra september 1971 (fig.2). I løpet av 1973 ble 8 stasjoner nedlagt. Ytterligere 2 stasjoner ble stanset 1.6.1974. Målingene er utført av Kristiansand Helseråd. Stasjon nr. 8, Møvig skole, ble høsten 1973 flyttet til Fjellhaug bedehus.

Det er benyttet to IMCO-metre av typen Bran & Lübbe tilhørende Falconbridge for automatisk registrering av halvtimes- eller kvartersmidler av SO₂. Ettersyn av instrumentene er utført av Falconbridge og Kristiansand Helseråd. Instrumentene har vært i drift i perioden 15.2. - 8.11.1973. De var plassert nord og sørvest for fabrikken ved Dueknipen og Slettheia (fig. 1) for å undersøke den lokale virkning av utslippet fra denne bedrift. På grunn av forskjellige tekniske vanskeligheter har det vært en del kortere avbrudd i registreringene og enkelte feilregistreringer er annullert.

4.3 Svevestøv

Luftens innhold av svevestøv (partikler mindre enn 10 μm) samles opp på filtrene i de automatiske luftprøvetakere. Svevestøvkonsentrasjonen bestemmes ved å måle filtrenes sverting reflektrometrisk etter en metode standardisert innen OECD (4).

Forholdet mellom vekten av støvet på et filter og den relative sverting tas fra en kalibreringskurve basert på den støvsammensetning en vanligvis finner i større byer. Dersom svevestøvet har lys farge, vil målemetoden gi for lave støvkonsentrasjoner. SiO_2 -støvet er lyst, og bestemmelsen av svevestøvmengden med OECD-metoden i Kristiansand har sannsynligvis gitt for lave verdier. Svevestøvet på filtrene er bare bestemt for periodene 15. - 31. januar og 3. - 18. juli 1972.

4.4 Støvfall

Støvfall måles i månedlige perioder ved oppsamling av støvet i en egnet beholder (støvmåler). En regner at slike beholdere hovedsakelig samler partikler større enn ca. 10 μm i tillegg til stoff som føres ned med nedbøren.

Fiskaa Verk har et eget nett av målestasjoner (stasjon 1 - 7). Målingene utføres med en type apparatur som er utviklet ved Sentralinstituttet for Industriell Forskning (SI) (8).

Samlekaret er en Panco-bøtte av polyetylen. Over samlekaret er tilpasset en standardisert, sylindrisk samleåpning med indre diameter 200 mm og oppsamlingsflate 314 cm^2 . Alle målere er plassert i villastrøk og tilbaketrukket fra hovedveier og andre lokale støvkilder. Målingene har pågått i en rekke år, men kun målinger for årene 1972 - 1974 er bearbeidet i denne rapporten.

Sju målestasjoner har vært drevet av Kristiansand Helseråd i perioden 1.4.1973 - 31.3.1975. Stasjonene ble opprettet rundt Falconbridge, i Kristiansand sentrum og nær et pukkverk i

Suldalen, for å få oversikt over støvfallsnivået i disse områder. Til målingene ble benyttet NILU's støvmåler, som er utformet som en sylindrisk plastbeholder etter den amerikanske modell APCA og ASTM med diameter 200 mm i åpningen.

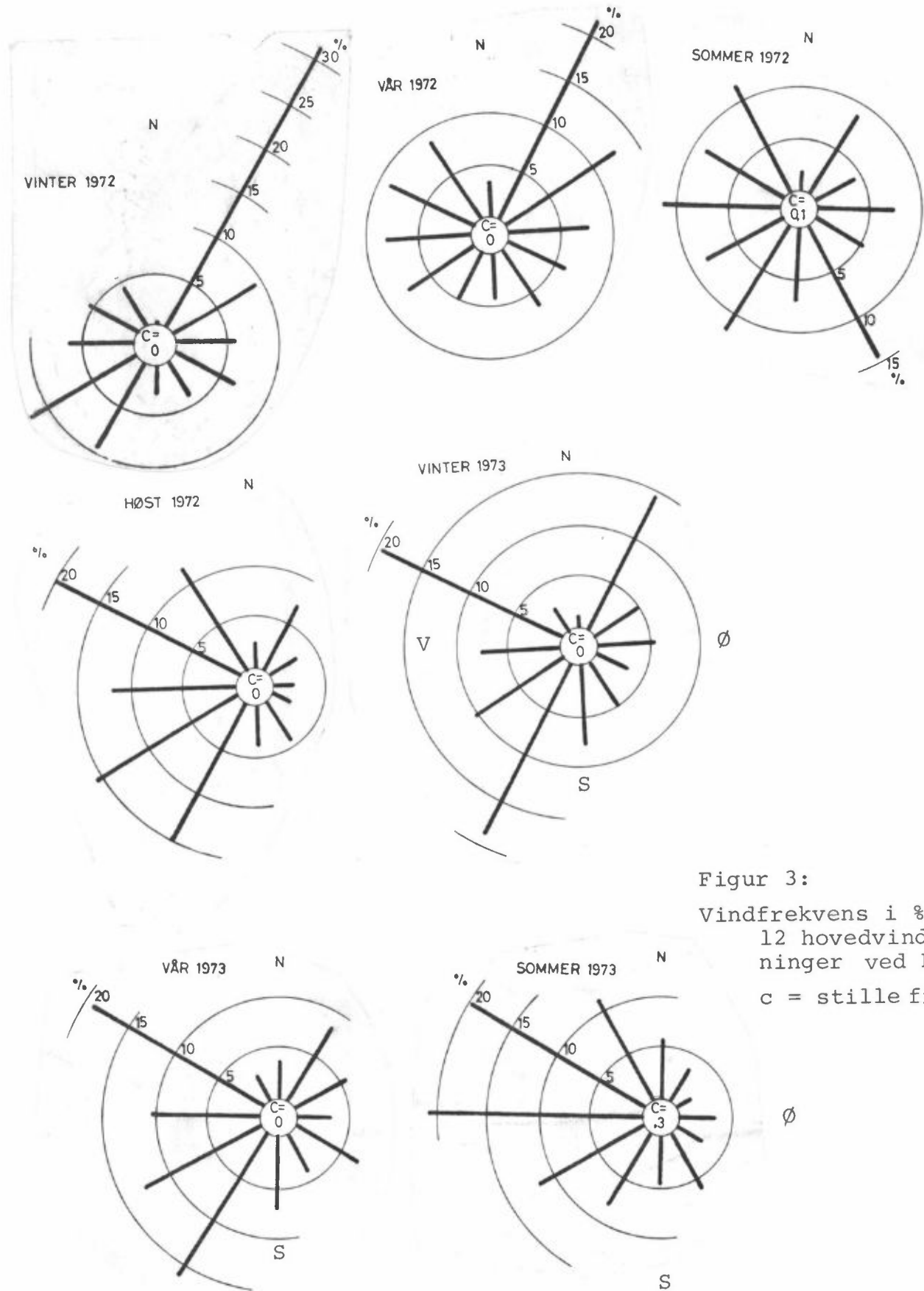
5 RESULTATER OG DISKUSJON

5.1 Meteorologi

Vinddataene fra Falconbridge vindmåler er presentert i figur 3 som vindroser for 3 måneders perioder i tiden desember 1971 - august 1973. Vinter representerer månedene desember, januar, februar. Vår: mars, april, mai. Sommer: juni, juli, august. Høst: september, oktober, november. Vindfrekvensene angir antall prosent av tiden med vind fra de 12 vindsektorene. En sammenligning mellom vindmålingene på Tinnheia og Falconbridge har vist god sammenheng. I fortsettelsen brukes derfor bare vinddataene fra Falconbridge. Målingene på Falconbridge viser at vindforholdene i Kristiansand er meget variable. Vindfordelingene varierer noe med årstiden. Vind fra nordøst (50°) forekommer hyppigere om vinteren enn om sommeren og vind fra sørøst (150°) til sørvest (210°) er hyppigst om sommeren. Figur 3 viser for øvrig at vinteren 1972 og våren 1972 var vind fra nordøst dominerende, mens det fra høsten 1972 til sommeren 1973 var vinder i sektoren 210° - 300° som dominerte.

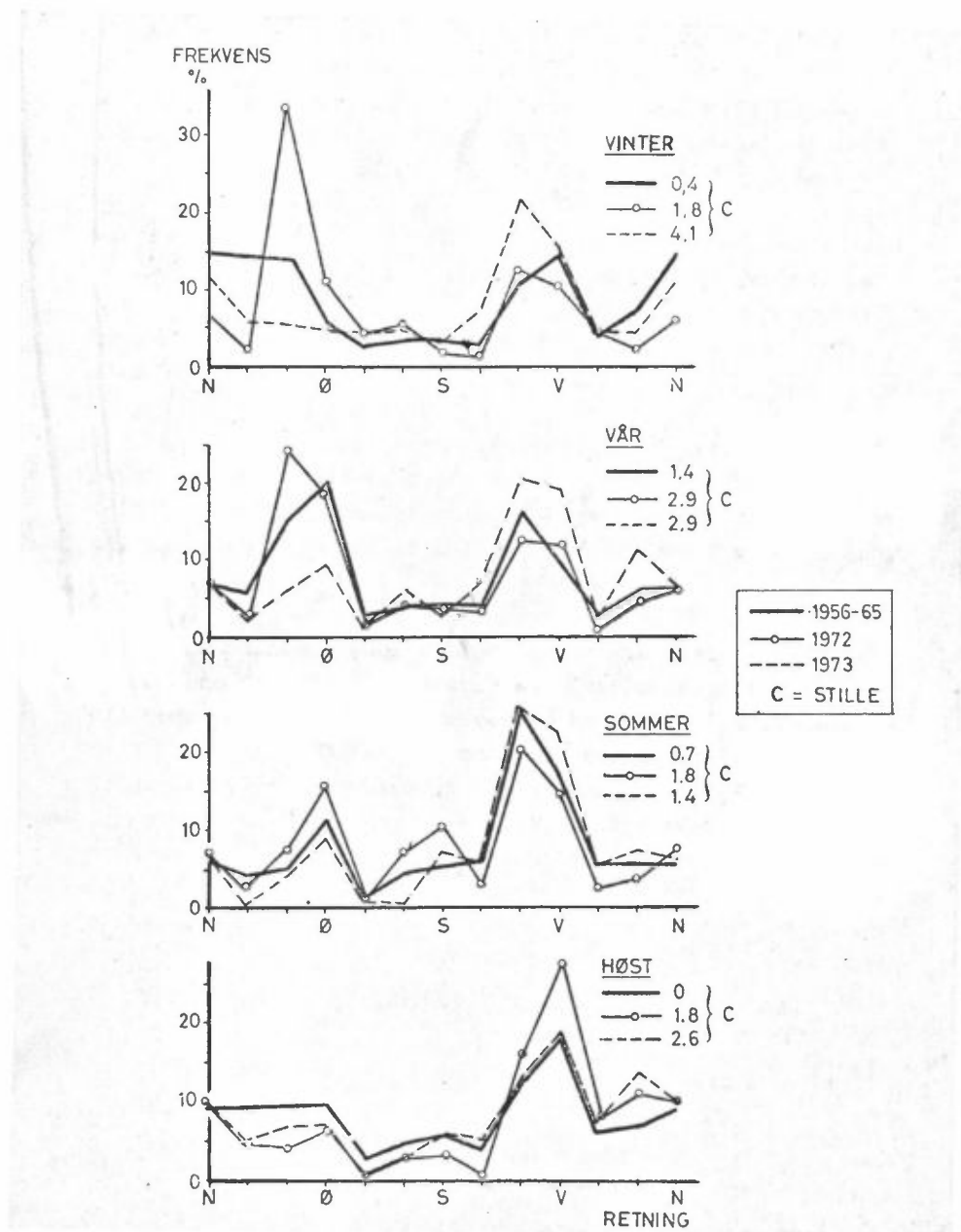
For undersøkelse av vindforholdenes representativitet, har en i figur 4 sammenlignet kvartalsvis vindstatistikkene for Oksøy utenfor Kristiansand for årene 1956-65 med 1972 og 1973 (9).

Figur 4 viser at de fremherskende vindretninger fra nordøst vinter og vår 1972 og fra vest fra høsten 1972 til våren 1973 (fig.3) for en stor del skyldes hyppigere vind fra disse sektorer enn normalt. Begge somrene 1972 og 1973 var vindfordelingene omkring det normale for årstiden.



Figur 3:

Vindfrekvens i % fra
12 hovedvindret-
ninger ved Falconbrøen.
c = stille frekvens

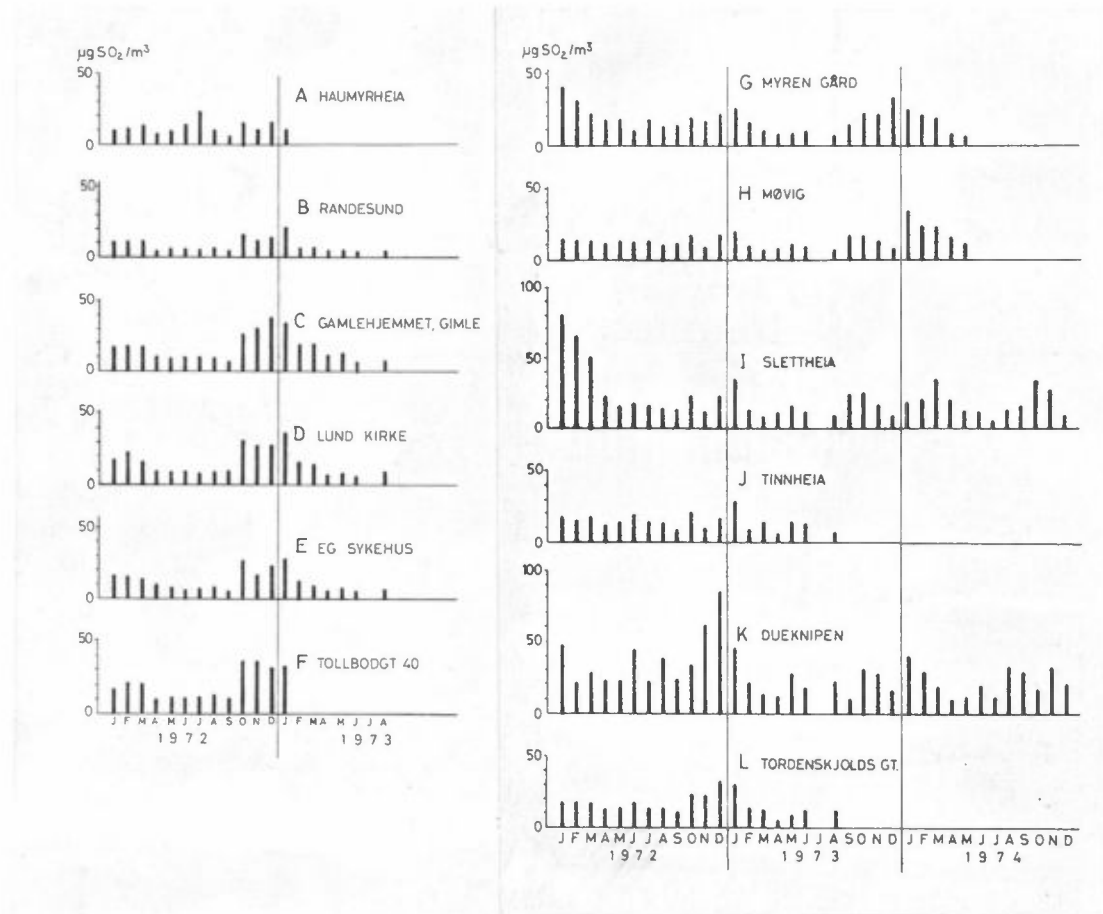


Figur 4: Vindfrekvens i prosent fra 12 hovedvindretninger på Oksøy.

5.2 Svoveldioksyd

5.2.1 Resultater

Samtlige resultater av døgnmålingene av SO₂-konsentrasjonen i luft ved 12 målestasjoner for perioden september 1971 - desember 1974 er gitt i bilag 1. I tillegg til døgnmiddelverdiene er det angitt minimums-, maksimums- og middelverdier for hver måned. I figur 5 er vist månedsmiddelverdiene for alle stasjoner i 1972, 1973 og 1974.



Figur 5: Månedsmiddel av SO₂-konsentrasjoner.

De høyeste månedsmiddelkonsentrasjonene ble målt på Slettheia i januar 1972 (80 µg/m³) og ved Dueknipen i desember 1972 (86 µg/m³). De fleste stasjonene har en årlig variasjon i månedsmiddelverdiene med de høyeste SO₂-konsentrasjonene i vintermånedene november - februar. Middelverdiene for sommer-

månedene på alle stasjonene, unntatt Dueknipen, Slettheia og Tinnheia er ca. $10 \mu\text{g SO}_2/\text{m}^3$, nær det normale for norske byer uten dominerende industri.

Den økte belastning om vinteren skyldes større SO_2 -utslipp fra husoppvarming og tildels at spredningen av forurensninger er dårligere på grunn av stor hyppighet av temperaturinversjoner med svak vind.

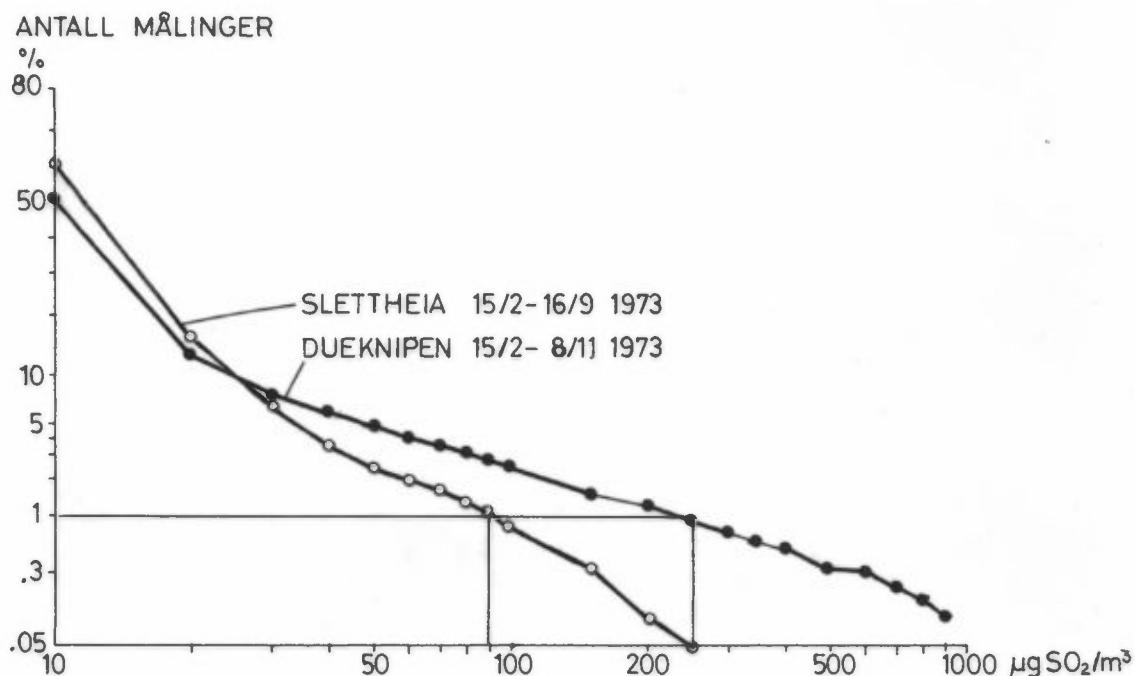
For å få oversikt over den geografiske fordeling av SO_2 -belastningen, er isolinjer tegnet inn på kart på basis av de observerte kvartalsmiddelverdiene. I figur 6 har vi begrenset oss til å vise isolinjene for vinter- og sommerkvartalene. Figurene viser at området omkring Falconbridge (Dueknipen) har størst midlere belastning, men at maksimum også kan ligge lenger sør omkring Slettheia. Sammenligning av isollinjene for alle kvartalene med de respektive vindroser for Falconbridge (figur 3) indikerer at de to kvartalene som har sitt maksimum ved Slettheia har relativt hyppig vind fra nord-nordøst. I de øvrige kvartalene med konsentrasjonsmaksimum på Dueknipen var det relativt hyppigere med vind fra sørvest. Denne sammenheng tyder på at Falconbridge Nikkelverk er den dominerende kilde for SO_2 -forurensningene i den vestlige del av Kristiansand. For øvrig viser isopletene for vinteren 1972/73 et svakt maksimum i bykjernen og at stasjonene A (Haumyrheia), B (Randesund) og H (Møvig) som ventet er minst belastet.

Figurene indikerer at SO_2 -middelkonsentrasjonene i området omkring Falconbridge om sommeren ligger $10-20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ høyere og om vinteren ca. $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ høyere enn det en skulle vente i tilsvarende områder uten industri.

Figur 7 viser hyppighetsfordelingene av de døgnlige SO₂-konsentrasjoner for samtlige stasjoner i 1972. Undersøkelser (10) har vist at måledata for en byatmosfære vanligvis gir en rett linje på den type skala som er anvendt. Stasjoner som er belastet av større enkeltutslipp kan gjennomgående ha et forholdsvis lavt konsentrasjonsnivå, men med konsentrasjonstopper når utslippet fra punktkilden treffer målestasjonen. Dette gir en kurve, som har mindre stigning enn for stasjoner som hovedsakelig er eksponert for arealkilder. Eksempelvis ser en at 50% av konsentrasjonene på Dueknipen ligger over 20 µg/m³ og 10% overstiger 90 µg/m³. Til sammenligning er det i Randesund målt høyere konsentrasjoner enn 20 µg/m³ i ca 7% av tiden, mens det ikke er målt verdier høyere enn 90 µg/m³. De vestligste stasjonene (samlet i øvre diagram) viser en mindre kurvehelning enn de østlige, og er derfor sterkest belastet av lokale punktkilder. Dette gjelder især Dueknipen, Myren, Slettheia og i noe mindre grad Tinnheia.

Instrumentene (imcometre) for måling av korttidsbelastninger av SO₂ var plassert på Dueknipen og Slettheia i perioden 15.2. - 8.11.1973. Høyeste halvtimesmiddel på Slettheia, 570 µg SO₂/m³, ble målt 22.10.1973. På Dueknipen har SO₂-konsentrasjonen ved flere anledninger overskredet det benyttede måleområdet (0-700 µg/m³) slik at skriveren ikke har kunnet registrere den reelle konsentrasjonen. Dette har skjedd den 6., 9., 10. og 14.8, tilsammen 18 ganger. Maksimal konsentrasjon på Dueknipen antas å ha forekommet 9.8.73 da den ble anslått til å være omlag 1000 µg/m³ (utenfor måleskalaen). I alle tilfeller med konsentrasjoner over 700 µg/m³ blåste det relativt sterk vind (3-6 m/s) i retning fra Falconbridge mot Dueknipen. Ifølge bedriftens driftsjournal var gassrensaneanlegg I i drift i disse perioder.

Figur 8 viser frekvensfordelingen av de målte halvtimesmidlete SO₂-konsentrasjoner på Slettheia og Dueknipen. Vel 50% av målingen på begge stasjonene er mindre enn 10 µg/m³, som også regnes for å være nedre målbare konsentrasjon av SO₂ for måleapparatet. 1% av målingen var høyere enn 230 µg/m³ på Dueknipen, og 90 µg/m³ på Slettheia.



Figur 8: Hyppighetsfordeling av målte SO₂-konsentrasjoner, halvtimesverdier (µg/m³).

(Eks.: 1% av observasjonene viser konsentrasjoner over 90 µg SO₂/m³ ved Slettheia.)

Helningsforskjellen viser at Dueknipen er mest påvirket av de store lokale punktkilder.

5.2.2 Sammenligning med normer for SO₂

Alle stasjonene ligger godt under WHO's og den svenske langsiktige målsetting for henholdsvis maksimal årsmiddelvei og halvårsmiddelvei (60 µg SO₂/m³). Den svenske langsiktige målsetting for døgnlige middelkonsentrasjoner av SO₂ (200 µg/m³ må ikke overskrides mer enn 3 dager i vinterhalvåret) ble overskredet 4 ganger på Dueknipen vinteren 1972/73. Ellers ble det målt høye konsentrasjoner på Slettheia i 2 døgn (14. januar 1972, 221 µg/m³ og 29. januar 1972, 208 µg/m³) og ett døgn på Myren (11. desember 1973, 413 µg/m³).

Stasjon	Periode	Vindretning	SO ₂ -middel- kons. µg/m ³	Antall døgn
Dueknipen	nov. 71 -mai 73	Minst 90% av døgnet i sektor 180 - 240° (fra sør til sørvest)	82	56
		90% av døgnet i sektor 40 - 100° (fra nordøst til øst, sentrum)	13	20
		Alle øvrige døgn	32	501
Tollbodgt.	okt. 71 -des.72	Minst 90% av døgnet i sektor 220 - 270° (fra sørvest til vest)	28	48
		Alle øvrige døgn	17	374
Torden- skioldsgt.	okt. 71 - mai 73	Minst 90% av døgnet i sektor 200 - 250° (fra sørvest)	17	74
		Alle øvrige døgn	15	492
Myren	nov.71 -mai 73	Minst 90% av døgnet i sektor 340 - 40° (fra nord)	46	42
		Alle øvrige døgn	14	521
Møvig	nov.71 - mai 73	Minst 90% av døgnet i sektor 330 - 30°	17	35
		Alle øvrige døgn	10	518
Lund	nov.71 -mai 73	Minst 90% av døgnet i sektor 220 - 260° (fra sørvest til vest)	16	37
		Alle øvrige døgn	14	519
Randesund	nov.71 - mai 73	Minst 90% av døgnet i sektor 220 - 260° (fra sørvest til vest)	9	35
		Alle øvrige døgn	7	523

Tabell 2: Middelkonsentrasjoner av SO₂ for døgn med vind i utvalgte sektorer ved en del målestasjoner.

For vurdering av korttidsbelastningen i området omkring Falconbridge, er i figur 10 vist de midlere SO₂-halvtimeskonsentrasjoner på Dueknipen og Slettheia for hver vindsektor, samt vindfrekvensen i hver sektor (stolper). Vindretningene fra Falconbridge mot Slettheia (45°) og Dueknipen (210°) er angitt med piler. For å ha direkte sammenlignbare data er det bare benyttet data fra tidspunkt hvor det foreligger målinger på begge stasjoner.

I periodene 15.2 - 30.4.1973 og 1.8 - 9.10.1973 er de høyeste middelkonsentrasjonene på begge stasjoner målt når det blåser fra Falconbridge mot målestasjonene.

Dersom bakgrunnsverdien antas å være 10 - 15 µg SO₂/m³, fikk stasjonene Slettheia og Dueknipen i perioden 1.8 - 9.10.1973 en ekstrabelastning ved vind fra Falconbridge mot stasjonene på henholdsvis 130 og 40 µg SO₂/m³.

I sommerperioden 1.5 - 3.7.1973 er variasjonen uregelmessig. Dette gjelder særlig i de østlige sektorene (N til ØSØ). Dette kan skyldes lave vindfrekvenser (få målinger) i disse sektorer, som gir usikre middelverdier.

Resultatene tyder på at Fiskaa Verk ikke er noen vesentlig kilde, på målestasjonene da det ikke er noe utslag på Slettheia i retning mot verket (120°). For Dueknipen er retningsforskjellen til Fiskaa Verk og Falconbridge under 30°, og det er derfor vanskelig å skille disse kildene fra hverandre.

5.2.4 Spredningsberegninger

For å få et mer fullstendig bilde av belastningen fra de største punktkildene på omgivelsene og den relative betydning av de enkelte punktkildene (se kap. 2.1), er i tabell 3 vist beregnet maksimalkonsentrasjoner på bakken og deres avstander fra kildene.

Beregningene er utført ved hjelp av vanlige spredningsformler (11) og er utført separat for utslippene på Fiskaa Verk og de fire største på Falconbridge. I tabellen er gitt de kombinasjoner av stabilitet og vindstyrke (overhøyde) for hvert utslipp som gir maksimumkonsentrasjon på bakken over $100 \mu\text{g SO}_2/\text{m}^3$. Spredningsberegningene gjelder kun for flatt lende. Dette innebærer at de beregnete maksimumskonsentrasjoner bare kan anvendes i retninger fra utslippet mot sjøsiden og mot sentrum (Kvadraturen).

Gassrenseanlegg 1 ved Falconbridge settes ut av drift i korte perioder en del ganger i året. Når renseanlegget står øker SO_2 -utslippet til 3 - 4 tonn/time som sendes ut gjennom en ca 110 meter høy skorstein. Disse sjokkutslipp skjer under værforhold når vindretningen er fra nord til nordvest, slik at røyken føres ut over sjøen. Dersom vindretningen dreier i ugunstig retning i løpet av en periode med driftstans, vil dette kunne medføre betydelig SO_2 -belastning i visse strøk av byen. Spredningsberegningene for dette utslippet indikerer at de høyeste korttidskonsentrasjonene opptrer i 1 - 2 km avstand fra skorsteinen i flatt lende når luften er ustabil, dvs fortrinnsvis på dagtid om sommeren. Sentrum ligger altså innenfor maksimumssonen. Dette synes å stemme overens med at klager er kommet fra kaiområdet i den sørvestre del av bykjernen. Ellers må en regne med hyppig SO_2 -belastning på Odderøya på grunn av den fremherskende vindretning i området fra vest-nordvest (VNV).

De øvrige permanente utslipp fra Falconbridge og især fra Kjelehuset kan forårsake korttidskonsentrasjoner av SO_2 i omgivelsen opptil ca. $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Av utslippene på Fiskaa Verk forårsaker elektrodemassefabrikken de høyeste korttidsbelastningene med $124 \mu\text{g SO}_2/\text{m}^3$ som maksimum. Det er brukt en veiet gasshastighet og pipediameter for disse utslippene. Varmeoverskuddet som tilføres utslippet utenfor pipene blir bestemmende for overhøyden og dermed bakkekonsentrasjonene. Smelteverket på Fiskaa Verk gir lave korttidsbelastninger (maksimum $25 \mu\text{g SO}_2/\text{m}^3$).

stor del var sterk forurensning fra kontinentet (se figur 9). De høyeste maksimum-verdiene ble imidlertid målt i perioden om sommeren på stasjonene Slettheia, Tinnheia og Dueknipen.

Det må imidlertid antas at den anvendte reflektometriske metode for måling av svevestøvkonsentrasjoner gir for lave verdier for det lyse SiO₂-støvet fra Fiskaa Verk, mens sot fra fyring og trafikk får en dominerende innflytelse.

Ingen av målingene viste svevestøvkonsentrasjoner i nærheten av noen av normene for svevestøv.

Stasjon	Vinter			Sommer		
	Middel	Maks	Min	Middel	Maks	Min
A Haumyrheia	19	40	9	7	17	2
B Randesund	21	42	8	7	14	3
C Gimle	26	52	8	10	20	6
D Lund	32	63	14	10	18	7
E Eg	24	49	9	8	15	4
F Tollbodgt	34	55	17	14	23	8
G Myren	29	52	10	11	21	6
H Møvig	22	47	8	8	16	5
I Slettheia	25	55	6	7	25	2
J Tinneheia	21	50	10	8	25	2
K Dueknipen	21	34	8	10	25	2
L Tordenskioldsgt	26	55	12	12	20	4

Tabell 4: Midlere svevestøvkonsentrasjoner i Kristiansand for en periode om vinteren (15-31.1.72) og en periode om sommeren (3-18.7.72). Enhet: $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Utslipps- sted	Utslipp g SO ₂ /s	Fys. pipe- høyde- m	Gass- temp °K	Gass- hast m/s	Pipe diam. m	Gass- mengde m ³ /s	Stabilitet	Vind- hast m/s	Maks kons. µg/m ³	Avst. til maks kons. km
Falconbridge, gassrense- anlegg 1	8,7	28 og 25	291	22.0	0.95	15.59	I ₂	1.0	147	0.7
							N ₁	2.0	133	0.8
Falconbridge, gassrense- anlegg 2	5.6	38	291	8.5	1.22	9.94	I ₂	0.5	140	0.5
Falconbridge, kjelhus	30	29 og 34	463	5.8	1.24	7.00	I ₂	2.5	249	0.6
							N ₁	3.0	231	0.9
							N ₂	4.0	154	1.6
							S ₁	2.0	126	4.3
Falconbridge gassrense- anlegg 1 ute av drift	1111	105	320	10.0	2.00	31.42	I ₂	1.0	2554	1.9
							N ₁	2.0	1887	2.6
							N ₂	2.0	780	9.3
							S ₁	2.0	615	15.4
							S ₂	2.0	211	51.5
Fiskaa, elektrodemas- sefabrikk	10.3	20	1023	10.0	0.84	5.45	I ₂	5.0	118	0.4
							N ₁	7.0	124	0.4
							N ₂	7.0	100	0.8

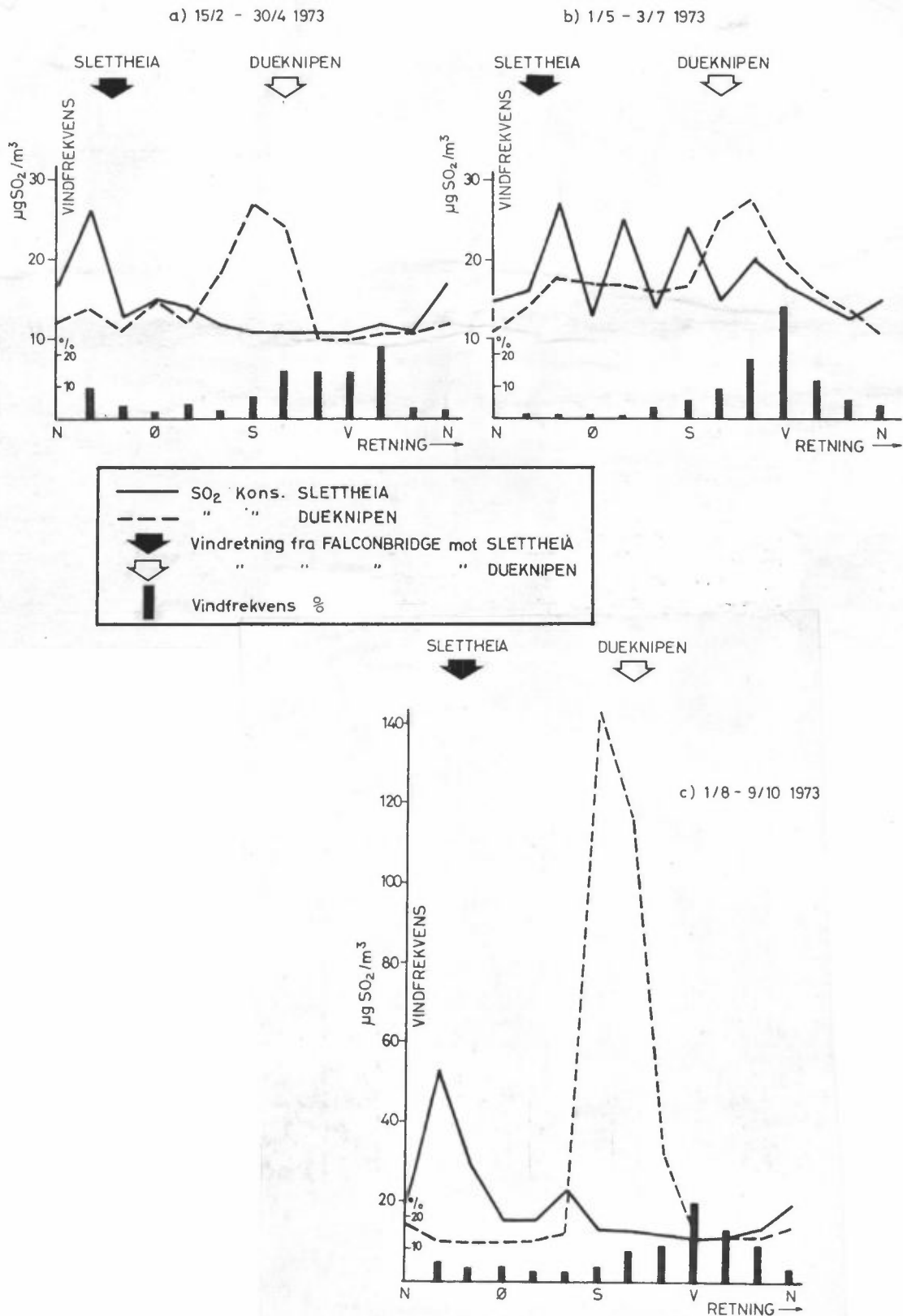
Tabell 3: Beregnede korttids maksimalkonsentrasjoner på bakken og deres avstander fra kilden.

I₂ = ustabil luftskiktning
 N₁ = nøytral "
 N₂ = nøytral "
 S₁ = stabil "
 S₂ = meget stabil "

5.3 Svevestøy

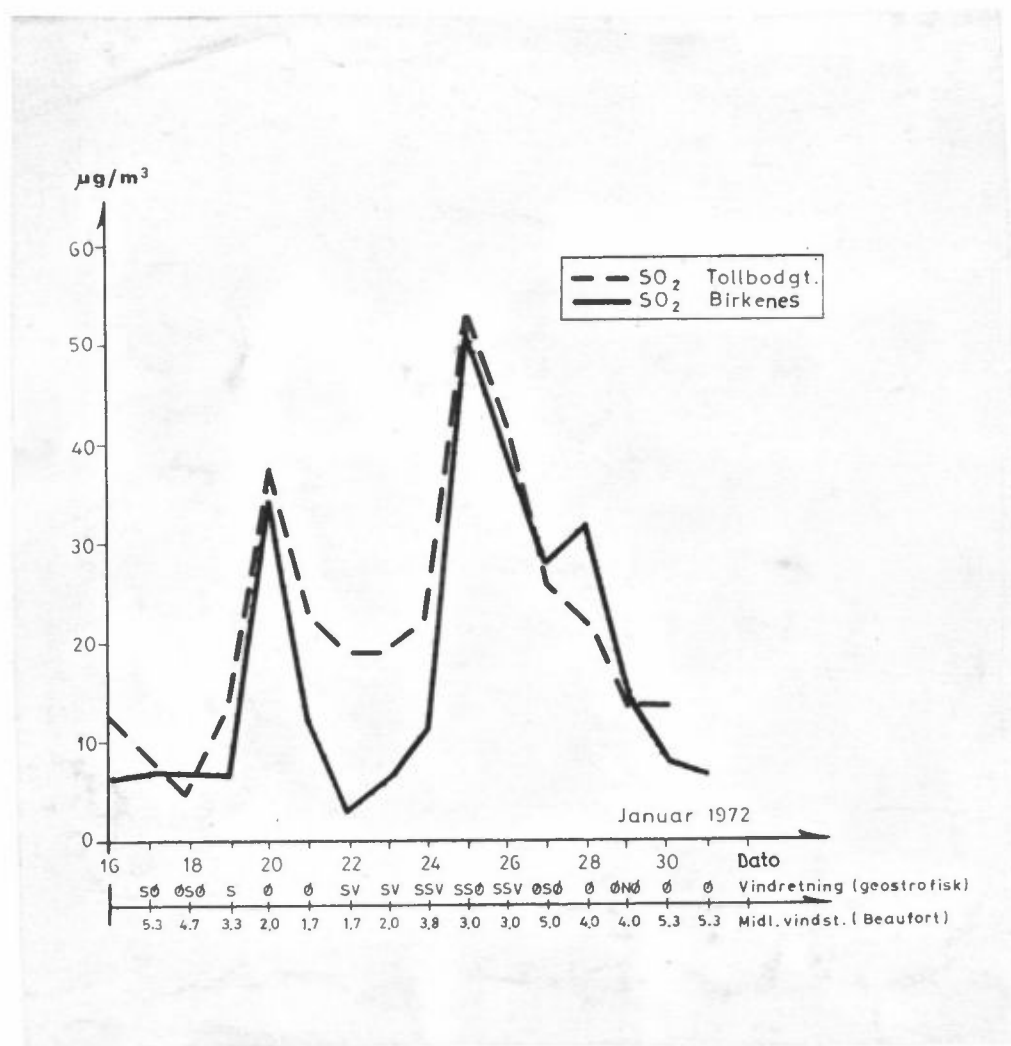
Etter avtale med Kristiansand Helseråd ble det foretatt reflektometrisk analyse av svevestøvkonsentrasjonene for alle målepunkter for periodene 15.-31.1 og 3.-18.7 1972. 14. dagers middelveidene for hver stasjon er vist i tabell 4. Døgnverdiene er gitt i bilag 3

Få målinger var over 50 µg/m³, og nivået avviker lite fra det som er vanlig i byer. De høyeste middelveidene ble målt i Sentrum (Tollbodgt) både sommer og vinter. Vinterperioden ga gjennomgående høyere verdier enn sommerperioden. Dette skyldes dels sterkere fyring kombinert med dårligere spredningsforhold, og dels at det i den valgte vinterperiode for en



Figur 10: Sammenheng mellom målt SO₂-belastning og vindretning (timeverdier).

Foruten de lokale kilder, kan episoder med langtransporterte forurensninger fra Europa gi konsentrasjoner opp til ca $50 \mu\text{g SO}_2/\text{m}^3$ over hele byen. I figur 9 er vist et eksempel på en slik episode, hvor stasjon F (Tollbodgt.) er sammenlignet med samtidige målinger på NILU's bakgrunnstasjon på Birkenes. Episodene intr traff ved vind fra øst til sørøst.



Figur 9: Variasjon i konsentrasjonene av SO_2 på stasjon F, Tollbodgt, sammenlignet med SO_2 -konsentrasjonene på NILU-OECD stasjonen Birkenes 15.-31. januar 1972. Skalaen nederst viser hovedvindretningene i området avledet av værkartet (isobarfeltet) og midlere vindstyrker målt på Oksøy.

Målingene av halvtimesmidler av SO₂ viser ingen overskridelse av den svenske retningslinje for timesverdier (750 µg SO₂/m³ overskrides høyst 7 timer pr 30 døgn). Døgnene 6. og 9. august 1973 ble det imidlertid målt 8 timesmiddelverdier av SO₂ på omkring 700 µg SO₂/m³.

5.2.3 Sammenheng mellom SO₂-kilder - spredning - immisjon

Ved å skille ut døgn hvor vinden overveiende har blåst fra de store enkeltkilder og arealkilder og beregne middelkonsentrasjoner for disse døgnene, kan en si noe om hvor stor andel av forurensningen ved målestasjonen som skyldes disse kildene. I tabell 2 har en gitt SO₂-middelkonsentrasjoner for en del stasjoner med vind i utvalgte sektorer. På Dueknipen ga vind fra sør og sørvest nesten tre ganger så høy middelkonsentrasjon som vind fra alle andre retninger. Vind fra nordøst og øst (fra sentrum) ga konsentrasjoner på bare en sjettedel av de tilfellene da det blåste fra sør og sørvest.

Dette indikerer at Falconbridge er kilde til en stor del av belastningen ved Dueknipen. Av de øvrige stasjonene ble det ved Myren og i Tollbodgaten målt høyeste SO₂-konsentrasjoner når vinden blåste fra Falconbridge, mens SO₂-nivået ved de øvrige stasjonene syntes å være tilnærmet uavhengig av vindretningen. Dersom bakgrunnsnivået settes lik 10-15 µg SO₂/m³, synes områdene representert ved stasjonene Dueknipen, Tollbodgaten og Myren i middel å ha en ekstrabelastning på henholdsvis 60-70, 10-20 og 25-35 µg SO₂/m³ når vinden blåser i retning fra Falconbridge mot områdene.

5.4 Støvfall

5.4.1 Resultater

Måledataene av støvfall er gitt som månedsmiddelverdier og omfatter periodene januar 1972 - desember 1974 og april 1973 - desember 1974 for henholdsvis Fiskaa Verks stasjonsnett og de øvrige målestasjonene (bilag 2). Årsmiddel, maksimal og minimal månedsverdi for hver stasjon, samt antall observasjoner pr. år er også angitt. Høyeste månedlige støvfallsverdi er målt i 1974 på Jernstøperiet til $63 \text{ g/m}^2 \cdot 30 \text{ døgn}$ (mars) og $30 \text{ g/m}^2 \cdot 30 \text{ døgn}$ (september). Hovedårsaken er at stasjonen er plassert like ved et pukkverk, og den er ikke representativ for større områder. Ellers er høyeste totale støvfallsverdi målt på Fiskåtangen i desember 1972 til $18.5 \text{ g/m}^2 \cdot 30 \text{ døgn}$.

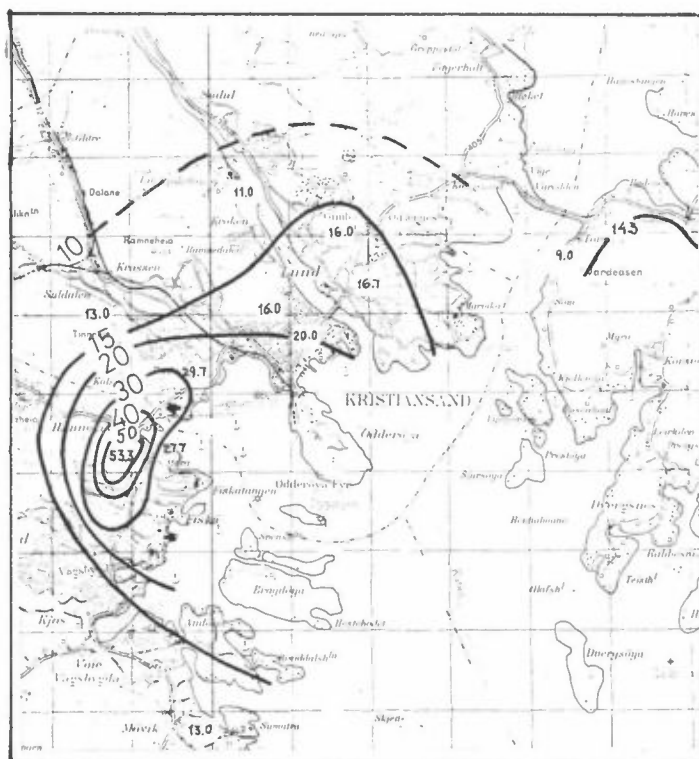
I figur 11 er støvmålingene (totalt støv, vannløselig støv og vannuløselig støv) presentert som kvartalsmiddelverdier.

De karakteristiske trekk er for:

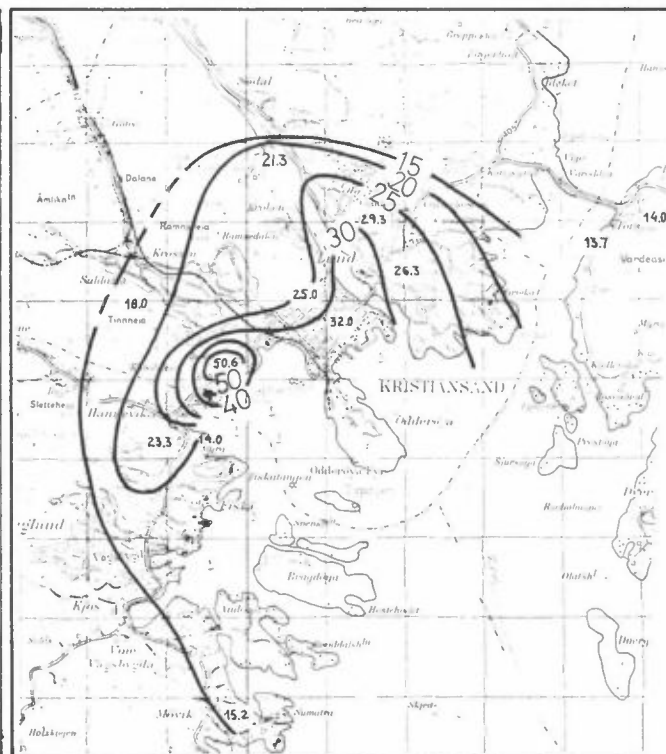
vannløselig støvfall: Liten variasjon i mengdene mellom stasjonene og årstidsvariasjonen er ensartet på alle stasjonene.

vannuløselig støvfall: Stor variasjon mellom stasjonene med høyeste verdier på stasjonene Fiskåtangen, Slettheia, Dallona, Skyllingsheia, Jernstøperiet og Sentrum og relativt mindre årstidsvariasjon.

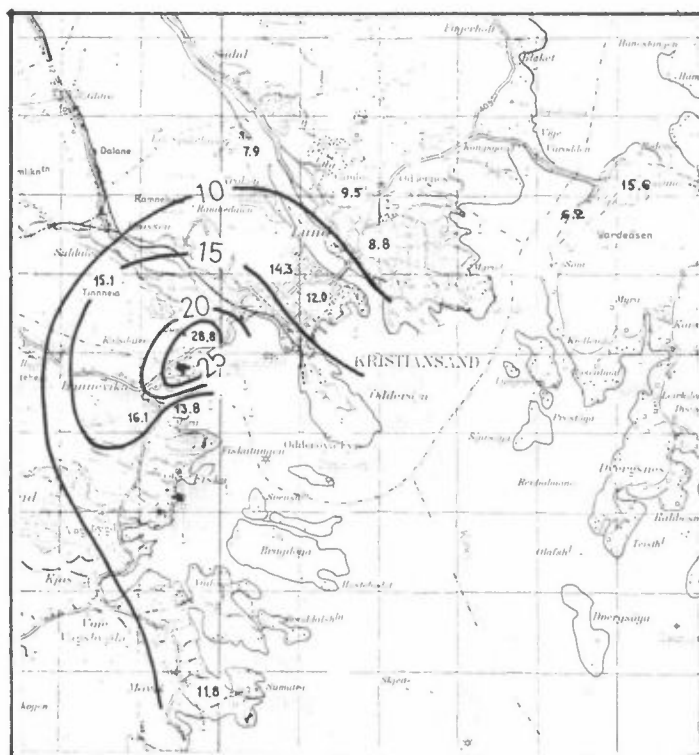
For å få oversikt over den geografiske fordelingen av støvfallsbelastningen, er i figur 12 midlete støvfallsdata ($\text{g/m}^2 \cdot 30 \text{ døgn}$) for april - desember 1973 og året 1974 plottet på kart over Kristiansand. Figurene a, b, c, d og e viser fordelingen av henholdsvis totalt støvfall, vannløselig støvfall, vannuløselig støvfall og SiO_2 -innholdet og den forbrennbare del av vannuløselig støvfall, det siste bare for 1974. Det må presiseres at de innregnede isolinjer er usikre særlig omkring bykjernen på grunn av for få stasjoner.



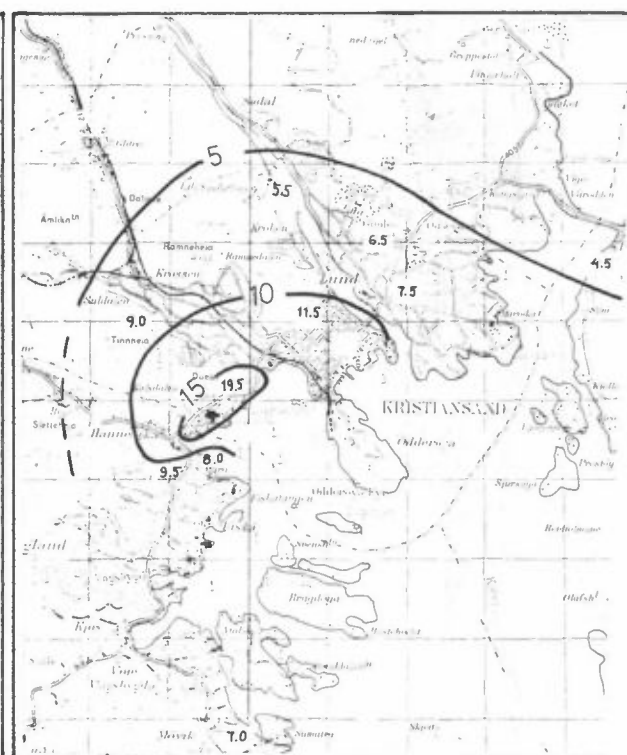
6a) Desember 1971 - februar 1972.



6b) Desember 1972 - februar 1973.

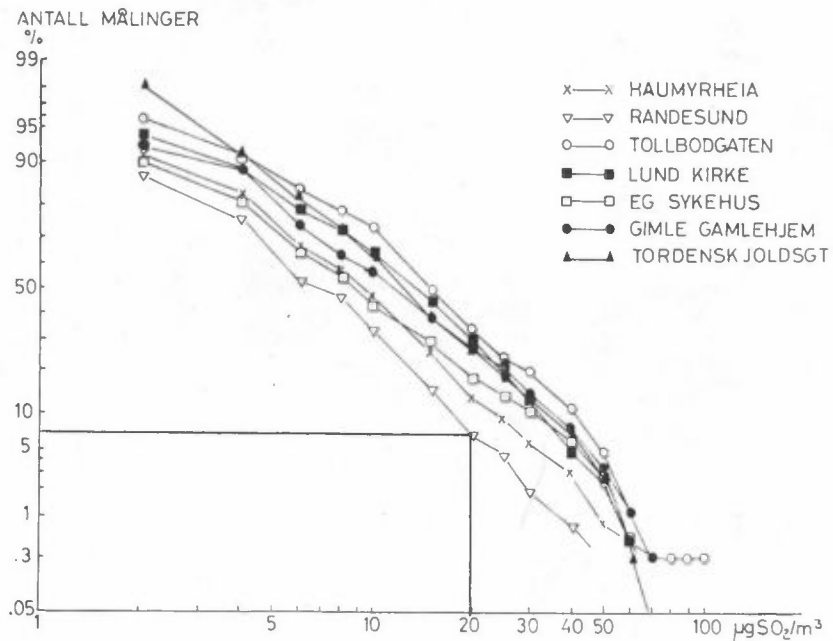
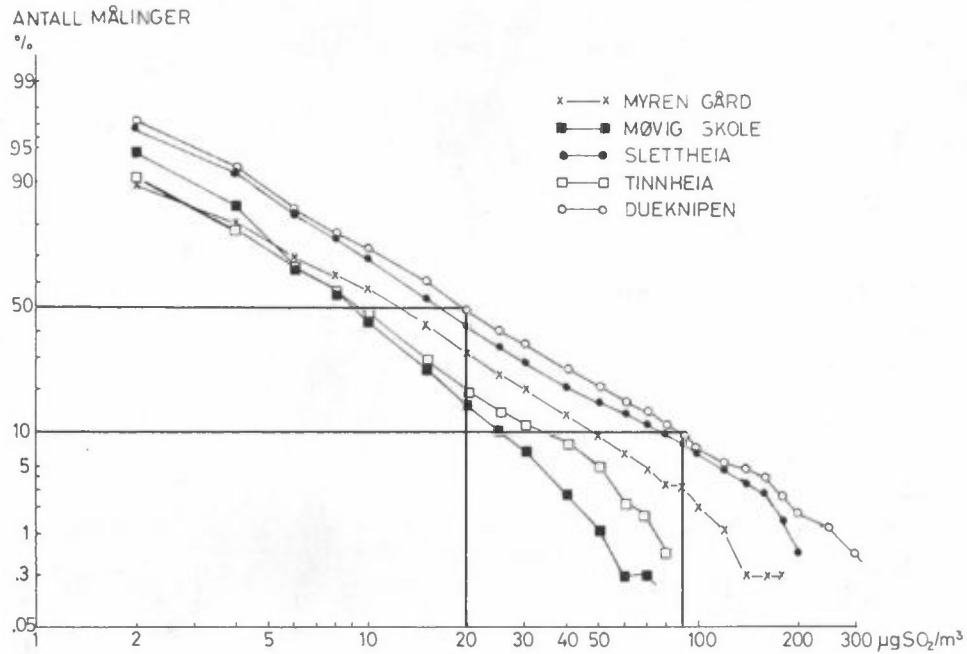


6c) Juni - august 1972



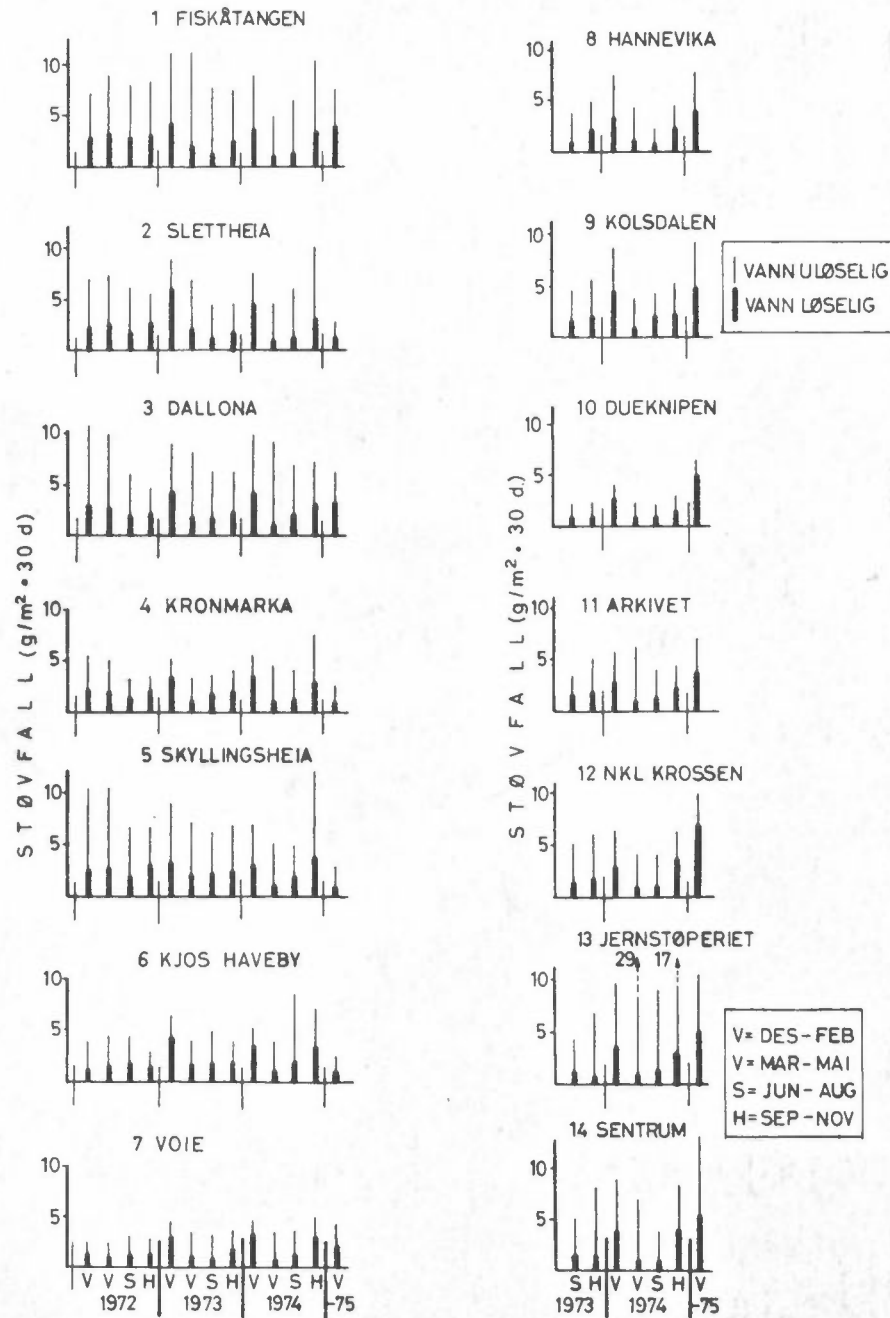
6d) Juni - august 1973

Figur 6: Isolinjer for SO₂-konsentrasjoner, kvartalsmiddelverdier i $\mu\text{g SO}_2/\text{m}^3$.

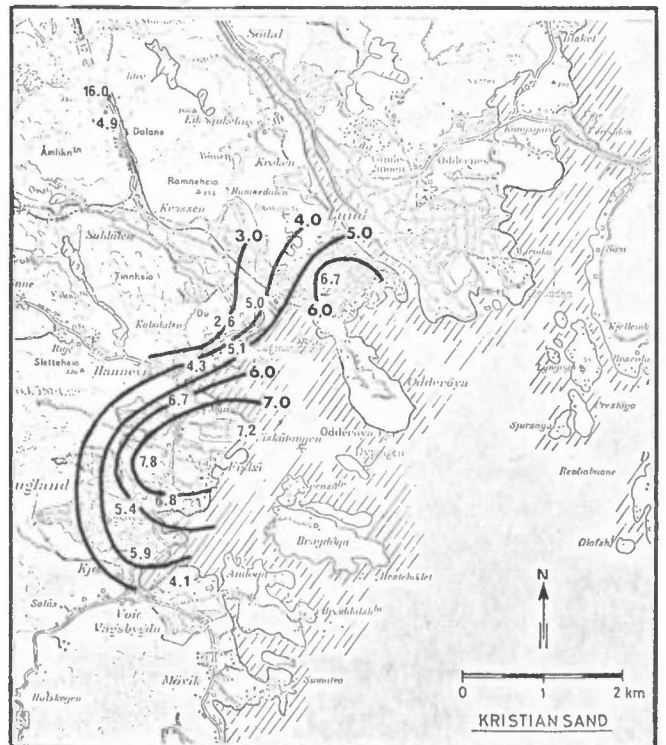
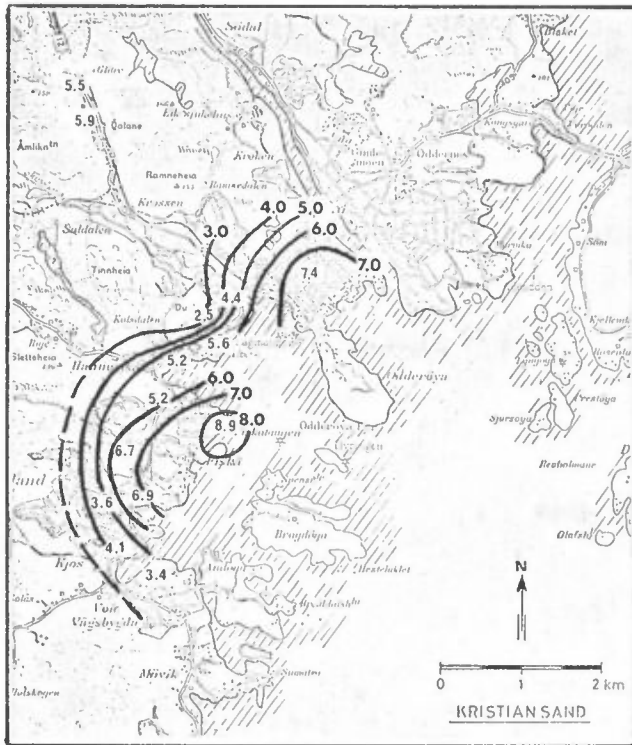


Figur 7: Hyppighetsfordeling av målte SO_2 -konsentrasjoner. Døgnverdier.

(Eks.: 50% av observasjonene på Dueknipen (øverst) var lavere enn $20 \mu\text{g SO}_2/\text{m}^3$ som døgnmiddel.)

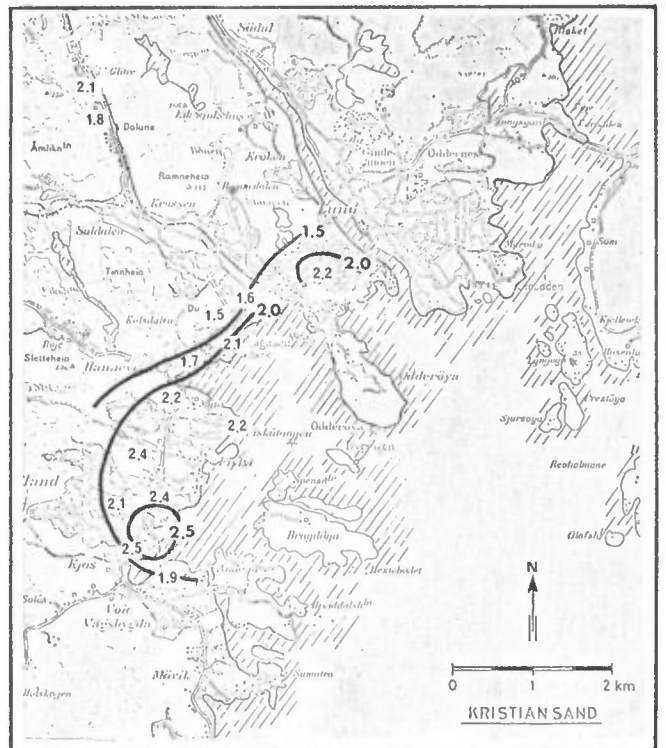
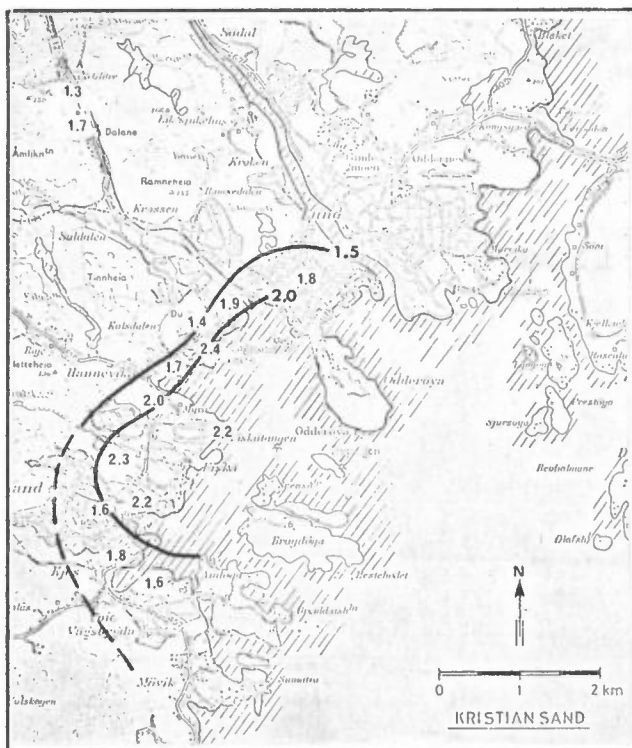


Figur 11: Kvartalsmiddelverdier av støvfall ved de enkelte stasjonene.



a) Apr-des 1973 Totalt støvfall

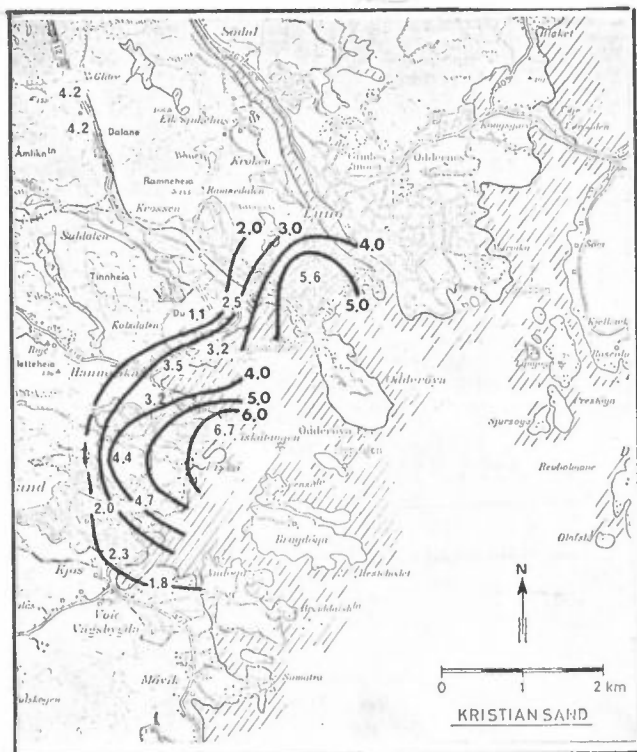
Jan-des 1974 Totalt støvfall



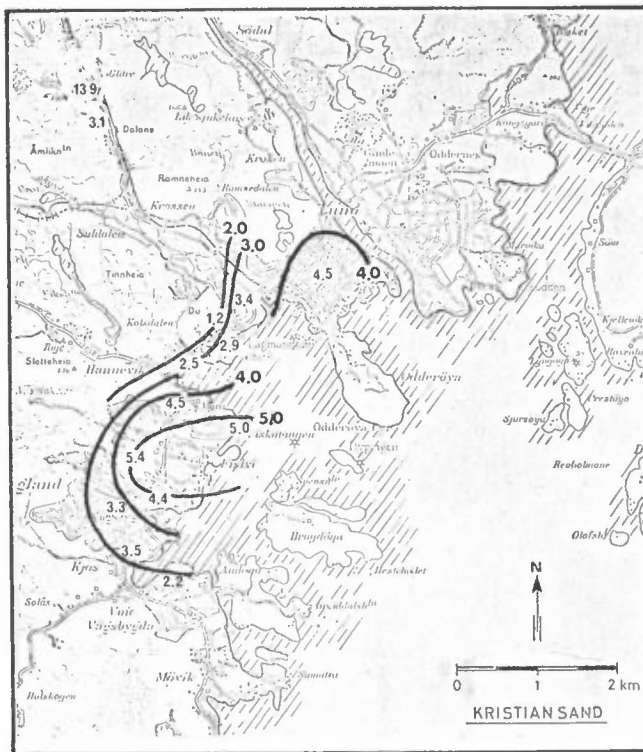
b) Apr-des 1973 Vannløselig

Jan-des 1974 Vannløselig

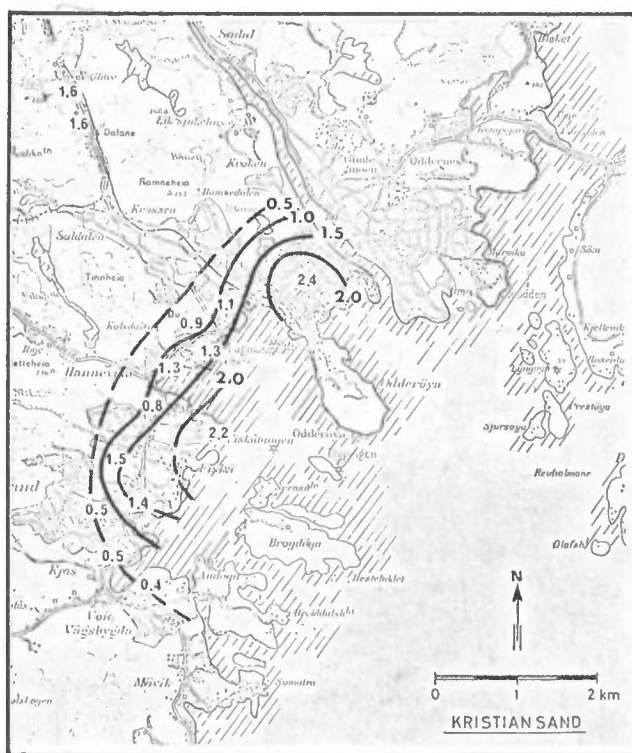
Figur 12: Isolinjer for totalt støvfall (a), vannløselig støv (b), vannuløselig støv (c) og SiO₂ i vannuløselig støv (d) for 1973 (april-des) og 1974 (jan-des), samt forbrennbar del av vannuløselig støv for perioden april 1973 - des 1974 (e). Enhet: g/m²·30 d.



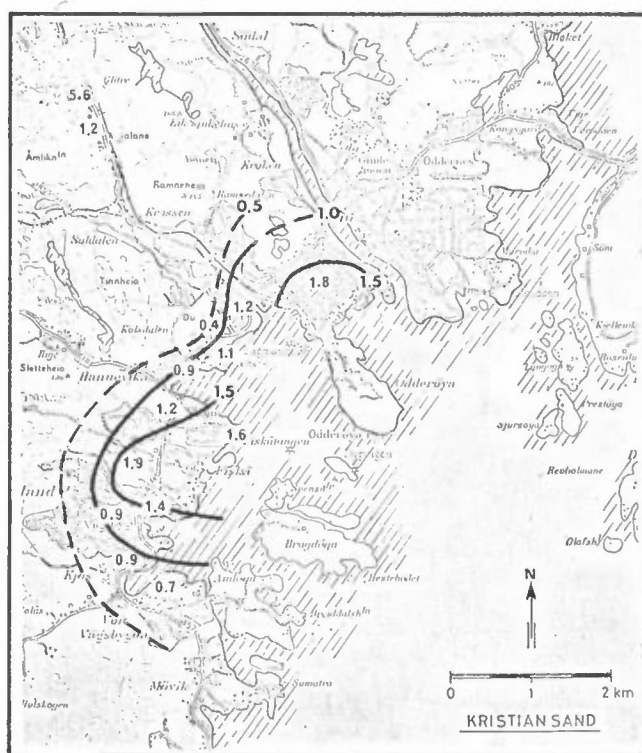
c) Apr-des 1973 Vannuløselig



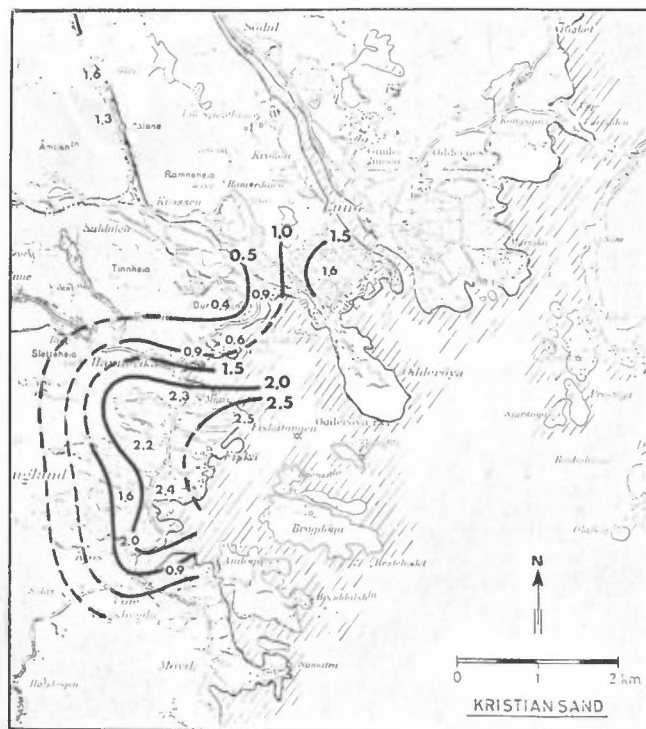
Jan-des 1974 Vannuløselig



d) Apr-des 1973 SiO₂ i vannuløselig



Jan-des 1974 SiO₂ i vannuløselig



e) Jan - des 1974. Forbrennbart materiale i vannløselig støv.

Figur 12 forts.

Den vannløselige delen av støvfallet er forholdsvis jevnt fordelt med mindre variasjoner. Lokale kilder bidrar således forholdsvis lite til denne delen av støvfallet.

Nedfallet av totalt støv, vannløselig støv, SiO_2 og forbrennbart vannløselig støv synes å ha en maksimumssone omkring Fiskå. Bysentret (Kvadraturen) synes også å representere en maksimumssone, best antydnet ved forskjellen mellom stasjonene Sentrum og Arkivet. I nord, nær Jernstøperiet, finnes et tredje maksimum.

5.4.2 Sammenhengen mellom støvkilder og støvfall

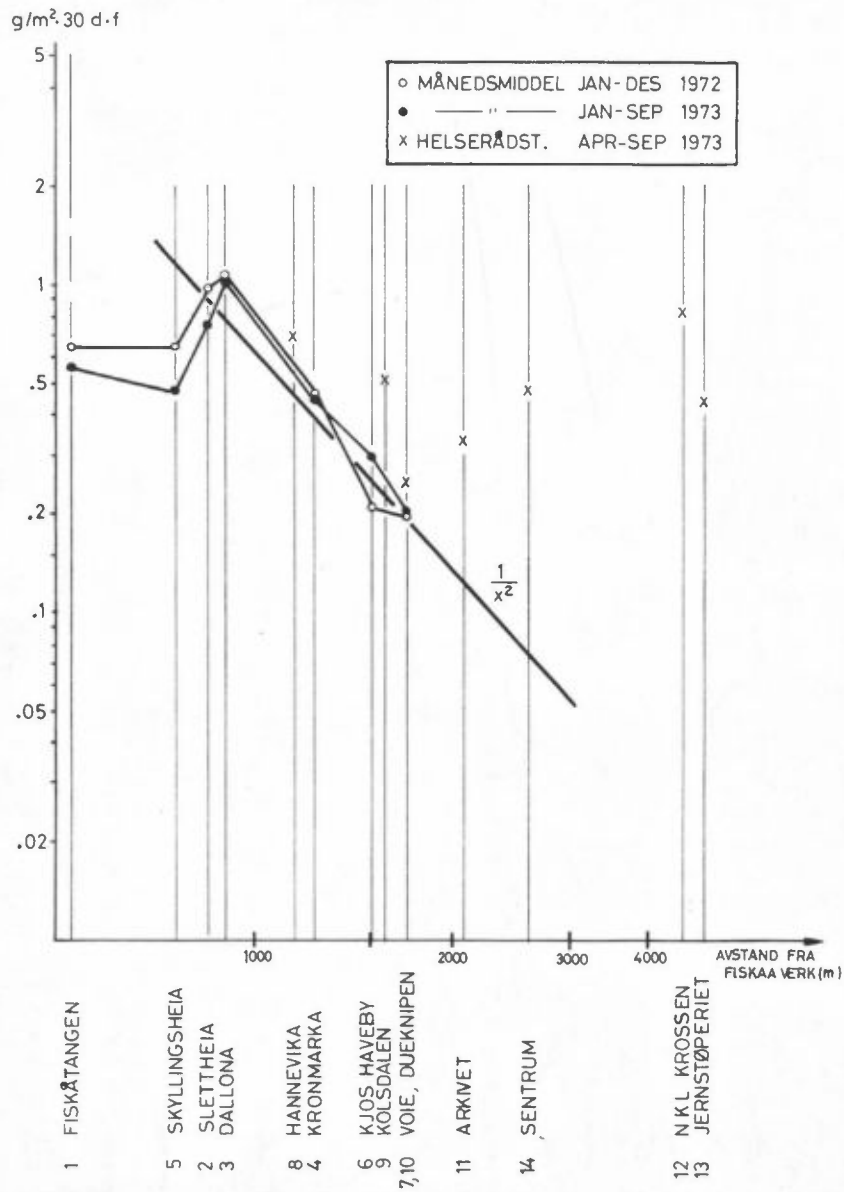
Årsakene til variasjonen i støvfallet fra stasjon til stasjon er først og fremst stasjonenes beliggenhet i forhold til lokale kilder og dernest utslippenes partikkelstørrelsesfordelinger, variasjon i utslippsmengde og utvasking av partikler med nedbøren.

Støvfallsmålerene samler i det vesentlige opp store partikler. I utslippet fra den antatt største støvkilden, Fiskaa Verk, utgjør grovkornete partikler ifølge verket bare 5% av totalmengden. En må derfor anta at bare en liten del av det totale utslipp er representert i støvfallsmålingene i området omkring bedriften. De små partiklene spres over større områder.

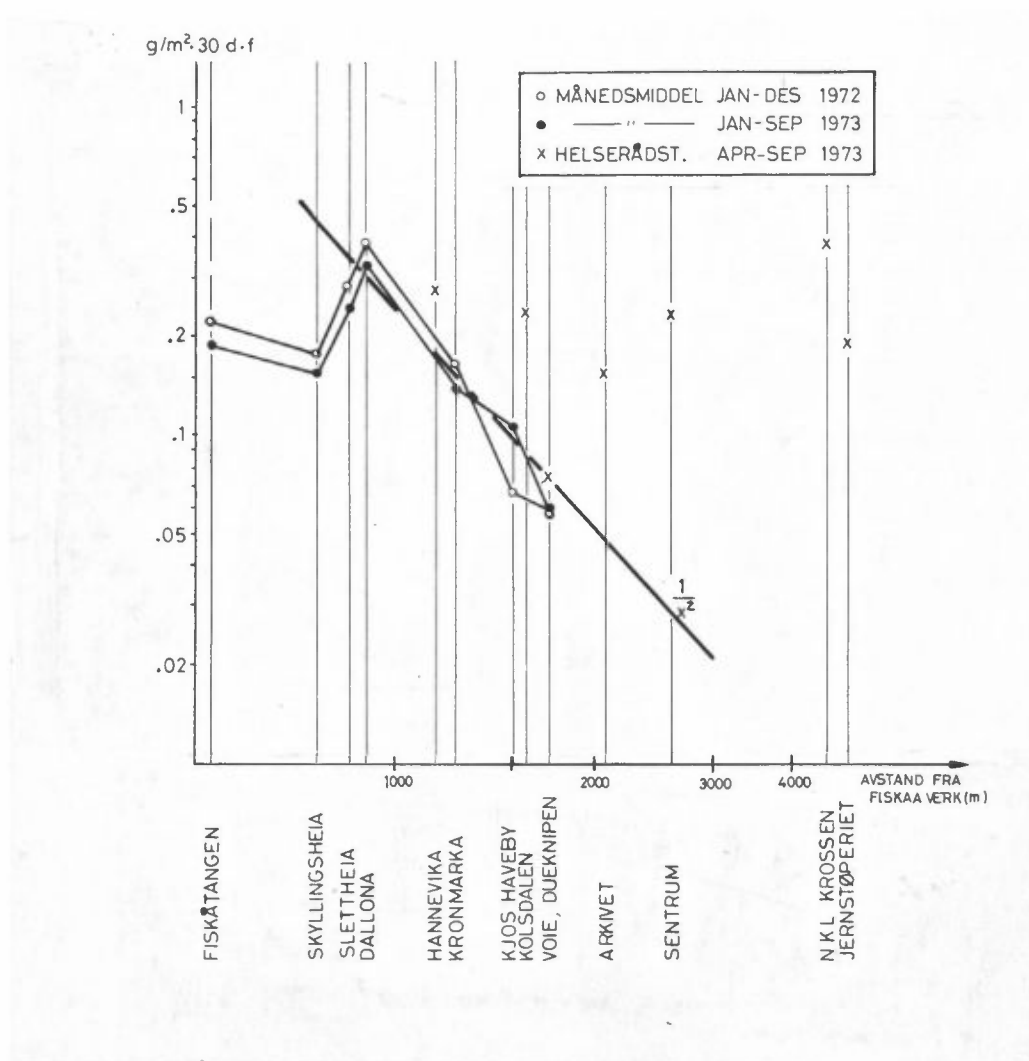
Dersom en vesentlig del av støvfallet skriver seg fra Fiskaa Verk, kan en vente å finne en sammenheng mellom støvfallet og avstanden fra verket. Nedfallet (N) vil avta med kvadratet av avstanden (x) fra utslippskilden ($N \sim \frac{1}{x^2}$). For å kunne undersøke en eventuell sammenheng, må målingene først gjøres innbyrdes sammenlignbare, dvs. en må ta hensyn til at stasjonene har vært eksponert for støv fra bedriften i forskjellige tidsrom. Som sammenlignbar størrelse kan vi bruke "normalisert" støvfall:

$$\text{Normalisert støvfall} = \frac{\text{Målt støvfall}}{\text{Relativ eksponeringstid}}$$

I dette tilfelle er det naturlig å bruke vindfrekvensene fra vindmåleren på Falconbridge Nikkelverk A/S som et mål for eksponeringstiden på målepunktene.



Figur 13 : Normalisert vannuløselig støvfall som funksjon av avstanden fra Fiskaa Verk (logaritmiske skalaer)



Figur 14: Mengde SiO₂ i normalisert vannuløselig støvfall som funksjon av avstanden fra Fiskaa Verk (logaritmiske skalaer).

For den vannuløselige del av støvfallet og dets SiO_2 -innhold (figur 13 og 14) er det tegnet inn en linje hvor støvfallet er omvendt proporsjonalt med kvadratet av avstanden. For en høy punktkilde vil denne linjen bare være representativ fra en viss avstand fra kilden, som er avhengig av pipehøyde og partikkelstørrelse. Nærmest pipa vil støvfallet hovedsaklig bestå av de tyngste partiklene.

Målestasjonene 2, 3, 4, 6, 7 og 8 grupperer seg bra rundt denne linjen. Målestasjonene 1 (Fiskåtangen) og 5 (Skyllingsheia) ligger imidlertid tydelig under linjen. Årsaken til dette er usikker. Muligens ligger målestasjonen på Skylingsheia noe skjermet for vind fra verket, og målestasjonen på Fiskåtangen ligger så nær verket at normalisering av nedfallet etter frekvens av vindretning på Falconbridge blir usikker.

Stasjonene Skylingsheia og Kjos Haveby ligger tilnærmet i samme retning fra pipa på Fiskaa Verk, og er dermed ensartet eksponert med hensyn til vind fra bedriften. Forskjellen mellom middelveiden for disse stasjonene (tabell 5) viser en reduksjon i støvbelastningen med avstanden fra Fiskaa Verk både i SiO_2 , annet vannuløselig støvfall og vannløselig støvfall.

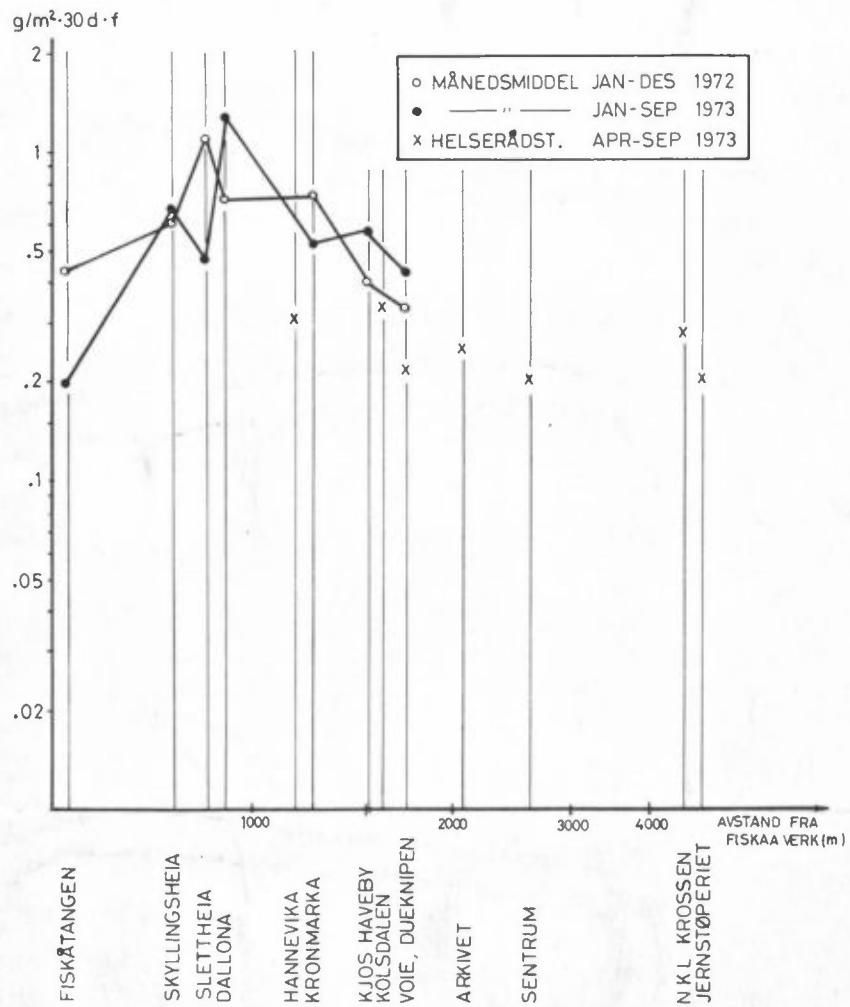
Stasjoner	Totalt støvfall	Vannuløselig støv	SiO ₂ i vannuløselig støv	Vannløselig støv
Skyllingsheia	7.5	4.6	1.4	2.9
Kjos Haveby	4.8	2.6	0.8	2.2

Tabell 5: Midlere totalt støvfall, vannuløselig støvfall, SiO₂ i vannuløselig støvfall og vannløselig støvfall for årene 1972, 1973 og 1974 på stasjonene Skyllingsheia og Kjos Haveby (g/m²·30 døgn).

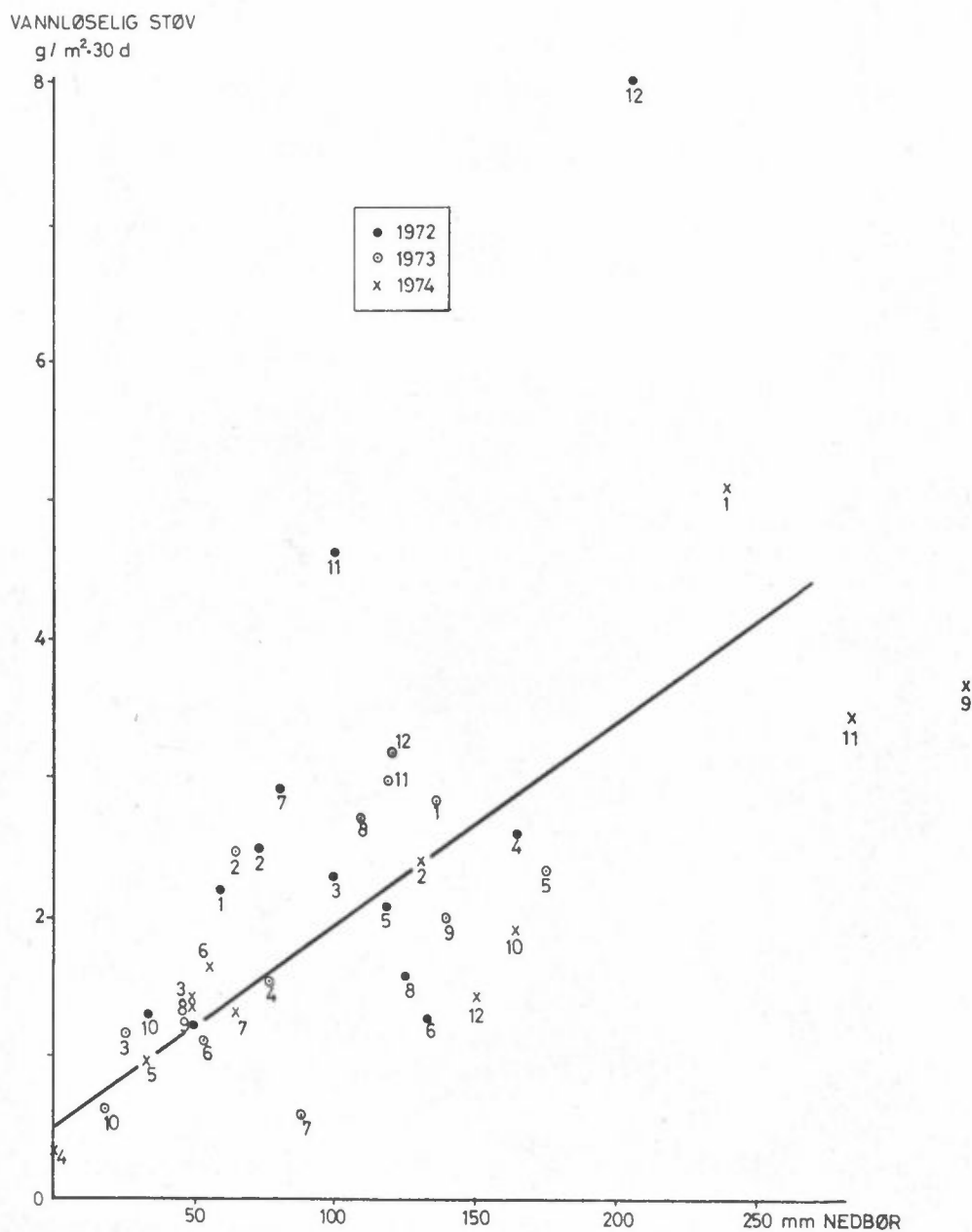
Dataene fra Helserådets stasjoner synes ikke å passe med en $1/x^2$ -avhengighet ved avstanden fra Fiskaa Verk. Eneste unntak er Dueknipen som i likhet med Fiskaa Verks stasjoner ligger i villastrøk.

Den vannløselige del av støvfallet synes også å ha et svakt maksimum omkring Fiskaa Verk. Variasjonen i de normaliserte verdiene (fig. 15) er imidlertid mindre, og belastningsverdiene er små. Årsaken til maksimumssonen er imidlertid usikker på grunn av de korte avstandene til sjøen. De lavere (normaliserte) verdiene på Helserådets stasjoner i byen enn på stasjonene omkring Fiskaa Verk (nærmere åpen sjø) tyder på innvirkning fra sjøen.

En del av det vannløselige støvet bringes også ned med nedbøren. Dette er vist i figur 16 ved sammenhengen mellom de midlere månedlige mengder av vannløselig støvfall samlet for alle stasjonene og de månedlige nedbørmengder.



Figur 15 : Normalisert vannløselig støvfall som funksjon av avstanden fra Fiskaa Verk (logaritmiske skalaer)



Figur 16: Vannløselig støv som funksjon av nedbørmengden
middelværdi for alle stasjoner hver måned.
Tallene angir månedsnummer.

For nærmere belysning av eventuelle forskjeller i sammensetningen av støvfallet på Fiskaa Verks stasjoner og Helserådets stasjoner, er i tabell 6 gitt årlige middelveier for totalt vannuløselig og vannløselig støvfall for hver av de to stasjonsgrupper. Stasjonene 12 og 13 er ikke medregnet på grunn av sterk lokal belastning.

Tabell 6 viser liten forskjell i midlere nedfall av vannløselig støv, mens nedfallet av vannuløselig støv var størst på Fiskaa Verks stasjoner. Det fremgår videre at mengden av totalt støvfall, vannløselig og vannuløselig støvfall har vært noenlunde konstant på Fiskaa Verks stasjoner i årene 1972 til 1974.

MIDDELVERDIER	1972	1973		1974	
	Fiskaa Verk 7 stasjoner	Fiskaa Verk 7 stasjoner	Kristiansand Helseråd april-des. 5 stasjoner	Fiskaa Verk 7 stasjoner	Kristiansand Helseråd 5 stasjoner
Totalt støvfall	6.3	* 5.6	5.1	6.3	4.8
Nedfall av vannuløselig støv	3.6	* 3.6	3.2	4.0	2.9
Nedfall av vannløselig støv	2.7	* 2.0	1.9	2.2	1.9

Tabell 6: Årlige middelveier av totalt støvfall, vannløselig og vannuløselig støvfall for Fiskaa Verks og Kristiansand Helseråds stasjoner (st 12 og 13 ikke medregnet).

* Middelveiene for perioden april-desember de samme som for hele året.

I tabell 7 er middelveidiene for alle målte komponenter i det vannuløselige støvfall beregnet for hele perioden (april 1973 - desember 1974) da begge stasjonsgruppene var i drift samtidig.

Vannuløselig støv, typer	Fiskaa Verks 7 stasjoner	Helserådets 5 stasjoner
Forbrennbart	2.0	0.9
Ikke forbrennbart: SiO ₂	1.1	1.2
Ikke forbrennbart: Øvrige aske	0.7	1.0
Total, vannuløselig støvfall	3.8	3.1
Midlere SiO ₂ -prosent	29	39

Tabell 7: Middelveidier (g/m²·30 døgn) for vannuløselig støvfall og dets komponenter for perioden april 1973 - desember 1974, adskilt for Fiskaa Verks stasjoner og stasjoner opprettet av Kristiansand Helseråd.

Det fremgår her at forskjellen i nedfallet av vannuløselig støvfall skyldes at det var større nedfall av forbrennbart eller organisk materiale på Fiskaa Verks stasjoner enn på Helserådets stasjoner. Overskuddet av forbrennbart, vannuløselig støvfall i Fiskå-området (se også figur 12e) kan skyldes at vegetasjonen i området bidrar med forbrennbart materiale i støvfallsmåleren, men også at det i Fiskå-området kan være utslipp av organisk materiale. En annen stor bedrift i området, Lumber Co A/S Henry Johansen, som produserer treprodukter som finér og sponplater. Det foreligger ikke oppgaver over støvutslipp til luften fra bedriften, men det er opplyst at støvfallet fra produksjonen brennes.

De midlere mengder av uforbrennbart materiale viser omtrent samme verdier for SiO_2 (og øvrig aske) på begge stasjonsnett.

Den midlere SiO_2 -prosenten på Helserådets stasjoner var høyest. Dette skyldes sannsynligvis at Helserådets stasjoner (unntatt Dueknipen) er utsatt for lokale støvkilder da de er plassert ved åpne plasser og sterkt trafikerte veier med liten eller ingen vegetasjon. En viss anrikning av SiO_2 kan også finne sted på disse stasjonene fordi de små SiO_2 -partiklene ($0.1 - 1 \mu\text{m}$) som gjennom årene har avsatt seg på bakken fra utslippet på Fiskaa Verk har lettest for å virvle opp fra bakken ved vind og trafikk. Fiskaa Verks stasjoner var på den annen side plassert tilbaketrukket fra sterk trafikk i villastrøk med mye vegetasjon og liten oppvirvling av støv. Den eneste av Helserådets stasjoner, Dueknipen, med ensartet lokalisering med Fiskaa Verks stasjoner hadde også det laveste SiO_2 -innhold av Helserådets stasjoner (33% i perioden juni 1973 - desember 1974).

5.4.3 Sammenligning med normer for støvfall og med støvfall i andre byer

Normen for "ikke tilfredsstillende" støvfall (større enn $10 \text{ g/m}^2 \cdot 30 \text{ døgn}$) ble overskredet flest måneder på stasjonene nær Fiskaa Verk. Av 36 måneder var det totale støvfall større enn $10 \text{ g/m}^2 \cdot 30 \text{ døgn}$ i 7 måneder på Fiskåtangen, 6 måneder på Skyllingsheia og Dallona, 4 måneder på Slettheia og 1 måned på Kronmarka. Ellers var det overskridelser i Sentrum, Arkivet og Jernstøperiet i henholdsvis 4, 1 og 6 måneder av 20 måneder. Overskridelsene var omtrent likt fordelt på høst-, vinter- og vårkvartalene, mens det var få overskridelser i sommerkvartalene. Normen for "ubehagelig" støvfall (større enn $15 \text{ g/m}^2 \cdot 30 \text{ døgn}$) ble overskredet på Fiskåtangen 3 måneder, Skyllingsheia 2 måneder, Sentrum 1 måned og Jernstøperiet 3 måneder.

For månedene med total støvfall over $10 \text{ g/m}^2 \cdot 30 \text{ døgn}$ var middelverdiene for vannuløselig støvfall og vannløselig støvfall for disse stasjonene unntatt Jernstøperiet henholdsvis

8.1 og 4.7 g/m²·30 døgn, mens den midlere SiO₂-prosenten var 34.6%. Forholdet mellom vannuløselig og vannløselig støvfall og SiO₂-prosenten avviker lite fra de tilsvarende verdier for alle måneder og stasjoner (tabell 6 og 7). Dataene tyder derfor på at overskridelsene ikke skyldes noen enkelt kilde, men at støvfallet varierer med de meteorologiske forhold.

En sammenligning av støvfallet i Kristiansand med andre norske byer er vist i tabellene 8 og 9 (12):

Stasjon	Måleperiode	Midlere vannuløselig støvfall, g/m ² ·30 d
Kristiansand, Sentrum	jan 74 - des 74	4.6
Kristiansand, Arkivet	jan 74 - des 74	3.9
Sandefjord, Grønli	nov 74 - mar 75	2.0
Gjøvik, Bygartner	nov 74 - mar 75	2.8
Tromsø, Sentral-sykehuset	nov 74 - mar 75	1.1

Tabell 8: Vannuløselig støvfall i noen norske bysentra.

Tabell 8 viser at det vannuløselige støvfallet i Kristiansand sentrum er omtrent det dobbelte av støvfallet i gjennomsnitt for andre bysentra som er topografisk og størrelsesmessig sammenlignbare.

Stasjonene omkring Fiskaa Verk er sammenlignet med boligområder i industristeder i Norge (Ind) og boligområder uten større industri (Villa) i Tabell 9.

Stasjon	Type	Måleperiode	Midlere vannuløselig støvfall, g/m ² ·30 d
Fiskåtangen	Ind	jan 74 - des 74	5.1
Skyllingsheia	"	"	4.2
Voie	"	"	2.1
Slemmestad	"	nov 74 - mar 75	3.6
Mosjøen	"	des 73 - mar 75	1.1
Sauda	"	"	4.3
Sandefjord	Villa	nov 74 - mar 75	0.6
Gjøvik	"	"	1.7
Tromsø	"	"	1.3

Tabell 9: Vannuløselig støv i boligområder i noen byer og tettsteder.

Av tabell 9 fremgår at støvfallsbelastningen i villaområdet omkring Fiskaa Verk var like stor som i boligområdene på industristedene. Belastningen var 2-3 ganger høyere enn i lignende boligstrøk uten industri.

6 KONKLUSJON

Målingene i Kristiansand viser at kommunen kan deles i en østlig og en vestlig sone. I den østlige bydel varierer SO₂-konsentrasjonen på stasjonene i sentrum stort sett med årstidene. Typisk månedsmiddelverdi om vinteren er 30-40 µg SO₂/m³ og omkring 10 µg SO₂/m³ om sommeren, som er nær det normale for norske byer uten dominerende industri.

Målingene indikerer at sentrumsområdet får en midlere SO₂-belastning fra utslippet på Falconbridge på 10-20 µg/m³ når vindretningen er fra bedriften mot sentrum.

I den vestlige bydel er de døgnlige SO₂-konsentrasjonene gjennomgående høyere, med månedsmiddelverdier om vinteren opp til 80-85 µg SO₂/m³ på Dueknipen og Slettheia og opptil 40-45 µg SO₂/m³ om sommeren på Dueknipen. Døgnmålingene viste at med vindretning fra Falconbridge mot Dueknipen, var SO₂-konsentrasjonen på Dueknipen i middel ca. 70 µg/m³ høyere enn ved vind fra andre retninger. Ved de andre stasjonene i området var bidraget vesentlig lavere, på Myren eksempelvis ca. 30 µg SO₂/m³.

På alle stasjonene i Kristiansand lå SO₂-konsentrasjonene godt under WHO's og de svenske retningslinjer for henholdsvis årsmiddel og vinterhalvårsmiddelverdi. WHO's og Sveriges langsiktige "norm" for døgnmiddelverdi ble såvidt overskredet på Dueknipen.

Halvtimesmålingene av SO₂ på Dueknipen og Slettheia antyder at høye kortperiodiske belastninger kan forekomme omkring Falconbridge med nærmere 1000 µg/m³ som maksimal verdi på Dueknipen. De svenske retningslinjer for timesmiddelverdier ble imidlertid ikke overskredet på de to målestasjonene. Spredningsberegningene indikerer at de største SO₂-belastninger kommer i de perioder gassrensaneanlegg 1 er ute av drift. Ved ugunstige spredningsforhold vil en kunne vente de høyeste SO₂-konsentrasjoner innenfor en radius av ca. 1500 m fra utslippet i flatt lende.

Fordeling av det totale støvfall i Kristiansand indikerer 3 maksimumssoner; omkring Fiskaa Verk, i sentrumsområdet og nord for Krossen på grunn av et pukkverk i området.

I Fiskå-området var det totale støvfallet ifølge den svenske "tommelfingerregel" og den finske norm "ikke tilfredsstillende" opp til 7 måneder og "ubehagelig" i 3 måneder av ialt 36 måneder. Også Skyllingsheia og Dallona viser en del meget høye verdier for totalt støvfall.

På de øvrige stasjonene var det totale støvfallet "ikke tilfredsstillende" ved Sentrum, Arkivet og Jernstøperiet i henholdsvis 4, 1 og 6 måneder av ialt 20 måneder, og "ubehagelig" ved Jernstøperiet og Sentrum i henholdsvis 3 og 1 måneder.

Når det var sterkt støvfall, var den gjennomsnittlige prosentvise fordeling av de målte komponentene i støvfallet omlag den samme som for hele materialet. Dette tyder på at variasjonen i støvfallet vesentlig skyldes de meteorologiske forhold.

Nedfallet av vannløselig støv var i middel for alle stasjonene i Kristiansand 37% av det totale støvfall. Nedfallet avtar noe innover land med antydning til maksimumssonene i Fiskå-området og i Sentrum. En antar at variasjonen vesentlig skyldes salter fra sjøsprøyt, men at lokale utslipp og den anvendte analysemetode av støvet kan være medvirkende årsaker.

Fordelingen av SiO_2 -nedfallet indikerer maksimumssoner omkring Fiskaa Verk og i sentrumsområdet. I begge soner var ekstra-belastningen omkring $1.5 \text{ g SiO}_2/\text{m}^2 \cdot 30 \text{ døgn}$ relativt til "bakgrunnsnivået". SiO_2 -støvet som slippes ut fra Fiskaa Verk må for det meste betraktes som svevestøv (mindre enn $10 \mu\text{m}$) som spres over store områder. Maksimumssonen omkring Fiskaa Verk må derfor vesentlig skyldes nedfallet av den grovkornete del av utslippet (ca. 5% av totalutslippet). Maksimumssonen for SiO_2 -nedfall i sentrumsområdet kan skyldes at alle støvfallsmålerne var plassert ved gater og åpne plasser med mye oppvirvling av støv, mens målerne omkring Fiskaa Verk var plassert i villastrøk uten trafikk. Den relativt høye gjennomsnittlige SiO_2 -prosenten i støvfallet i sentrumsområdet kan delvis skyldes denne forskjellen i stasjonsplasseringen.

Målingene tyder på at det også finner sted nedfall av forbrennbart (organisk) materiale fra bedrifter i Fiskå-området.

Nedfallet av vannuløselig støv omkring Fiskaa Verk var 3-4 g/m²·30 døgn større enn bakgrunnsverdien og av samme størrelse som i boligområder i industristeder som Sauda og Slemmestad. Også i sentrum var nedfallet høyt i forhold til andre undersøkte bysentre.

Konsentrasjonene av svevestøv synes ikke å være høy og ligger godt under foreslåtte normer for Sverige. Ved den anvendte målemetoden (svertingsmålinger) undervurderes imidlertid støvmengden fordi en stor del av svevestøvet har lys farge.

7 FORSLAG TIL FREMTIDIGE MÅLEPROGRAM

De konklusjoner som trekkes angående støvforurensningen i Kristiansand gjelder for den aktuelle måleperioden. Senere installasjoner av renseanlegg ved Fiskaa Verk har redusert støvutslippene fra denne bedriften til ca. 1/3 av utslippet i måleperioden. Forholdene i de deler av byen som ble påvirket av bedriften er derfor sannsynligvis forbedret.

Når installasjonen av renseanleggene ved Fiskaa Verk er ferdig, vil det være nyttig å iverksette et tidsbegrenset måleprogram med støvfallsmålinger i Kristiansand for kontroll av endringen. Fiskaa Verks stasjoner fortsetter uavbrutt. Måleprogrammet bør i tillegg omfatte gjenopprettelse av 2 målestasjoner i sentrumsområdet og opprettelse av 2 nye stasjoner i typiske villastrøk i den østlige bydel for å få en reell sammenligning med stasjonene omkring Fiskaa Verk og derved en bedre viten om spredningen til de øvrige byområder. Støvfallsprøvene bør analyseres som tidligere for vannløselig- og vannuløselig støvfall og SiO₂-innhold. Målingene bør pågå 2 år.

Størstedelen av SiO_2 -utslippet fra Fiskaa Verk består av svevestøv (meget fint støv). Støvfallsmålerne er lite egnet til oppsamling av slike små partikler. Også den anvendte reflektometriske metode for måling av svevestøv er lite egnet på grunn av den lyse farge på SiO_2 -støvet. En vil kunne få en mer entydig registrering av støvspredningen fra Fiskaa Verk ved måling med "high volume samplere" i tre avstander med ensartede omgivelser med hensyn til andre forurensninger. Partiklene samles på filtere, og mengdene måles ved veiing. Ytterligere informasjon om støvets sammensetning får en ved hjelp av såkalte kaskadeimpaktorer, hvor det oppsamlete støvet separeres i forskjellige partikkelstørrelsesklasser som analyseres hver for seg. Disse målinger kan være kortperiodiske (ca $\frac{1}{2}$ år).

Av hensyn til den nasjonale overvåkning av luftkvaliteten bør døgnlige målinger av SO_2 -konsentrasjonen fortsette på minst en stasjon i hver av de ovenfor nevnte bysoner. En vil anbefale målinger ved Dueknipen og Tollbodgaten.

Størst ulempe for omgivelsen har de kortvarige konsentrasjonstopper av SO_2 forårsaket. De anvendte måleinstrumentene (imcometre) har ikke vist seg helt velegnet for registrering av disse topper. Det kreves instrumenter som kan registrere øyeblikksverdier eller middelveidier av SO_2 over noen få minutter. NILU har under utvikling et instrument (Novak-celle) som en regner med vil være velegnet til dette formålet. Instrumentene bør plasseres på steder hvor en vil vente konsentrasjonsmaksimum og hvor det hyppig klages over luftforurensninger. Novak-cellen er billigere enn et imcometer, slik at utgiftene til målinger for dette formålet ikke vil bli urimelig store.

7 LITTERATUR

- (1) Magnus, A.J. Luftforurensningsmålinger i Kristiansand S. (Foreløpig rapport). NILU Oppdragsrapport nr 54/73.
- (2) Luftvårdsproblem ved jern-, stål- og ferrolegeringsverk. Statens Naturvårdsverk, 1969.
- (3) Riktvärden för luftkvalitet. Svaveldioxid och stoft. Statens Naturvårdsverk. Publ.1976:8
- (4) OECD Methods of Measuring Air Pollution. OECD, Paris 1964.
- (5) Air Quality Criteria and Guides for Urban Air Pollutants. World Health Organization Technical Report Series No. 506, Geneva 1972.
- (6) Laamanen, A. Particulates in the outdoor air of Finland. Work-Environment-Health 6, 1969.
- (7) Larsen, J.B., Thrane, K.E. Analyseforskrifter. NILU Teknisk notat nr 35/72.
- (8) Strømsøe, S. Valg av apparatur for måling av støvfall. NILU Oppdragsrapport nr 21/71.
- (9) Johannesen, T.W., Håland, L. Standard Normals 1931-60 of monthly wind summaries for Norway. Det Norske Meteorologiske Institutt, Oslo, 1969.
- (10) Larsen, R.I. A mathematical model for relating air quality measurements to air quality standards. Environmental Protection Agency. North Carolina, 1971.

(11) Turner, D.B.

Workbook of Atmospheric Dispersion Estimates. US Department of Health, Education and Welfare. Publ. Health Service Publication No. 999-AP-26, 1970.

(12) Hagen, L.O.

Landsoversikt over luftforurensningstilstanden i Norge. NILU Oppdragsrapport. Under utarbeidelse.