



# Statlig program for forurensningsovervåking

RAPPORT NR 232/86

Oppdragsgiver

Statens forurensningstilsyn

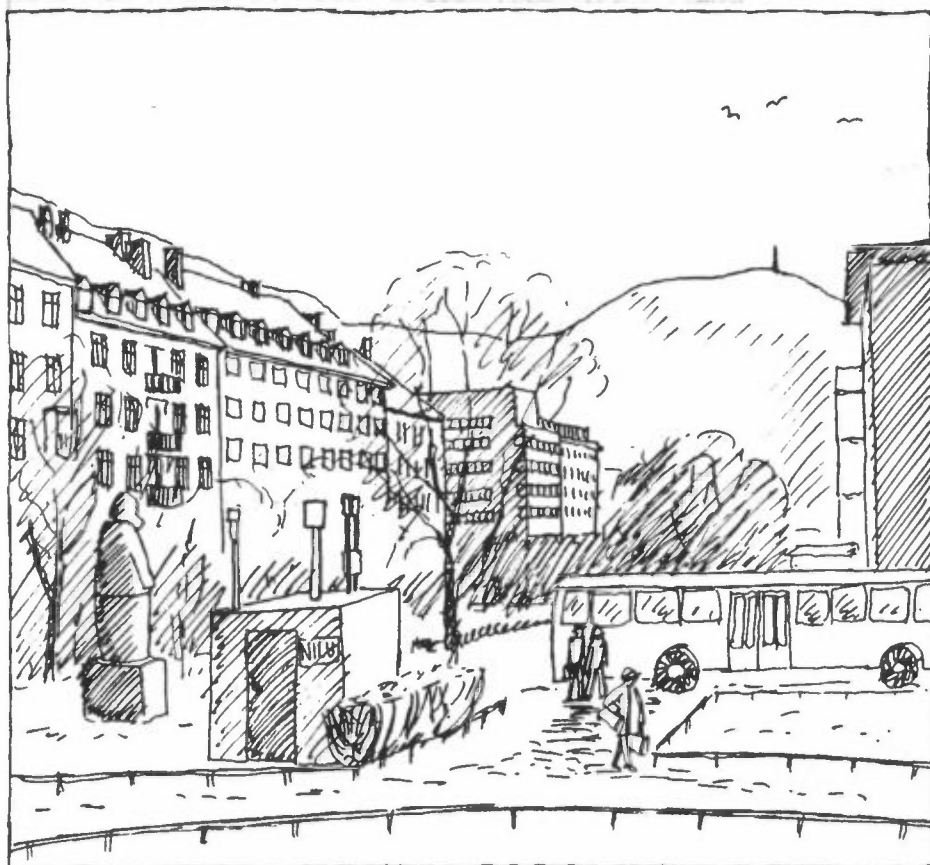
Deltagende institusjon

NILU

## BASISUNDERSØKELSE AV LUFTKVALITETEN I BERGEN, 1983 – 1985

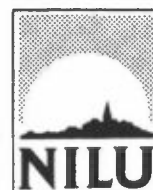
- Målinger av meteorologi og luftkvalitet
- Eksponering og helsevirkninger

DELRAPPORT A



Norsk institutt for luftforskning

Postboks 130 – 2001 Lillestrøm



NILU : 54/86  
REFERANSE: O-8249  
DATO : SEPTEMBER 1986  
ISBN 82-7247-729-7

**BASISUNDERSØKELSE AV LUFTKVALITETEN  
I BERGEN 1983-85**

DELRAPPORT A:  
MÅLINGER AV METEOROLOGI OG LUFTKVALITET.  
EKSPONERING OG HELSEVIRKNINGER.

Steinar Larssen og Leif Otto Hagen<sup>\*</sup>  
Jon E. Dahl og Jan Hongslo<sup>\*\*</sup>

Utført etter oppdrag fra Statens forurensningstilsyn

\* Norsk institutt for luftforskning  
Postboks 130, 2001 Lillestrøm

\*\* Statens institutt for folkehelse  
Geitmyrsvn. 75, 0462 Oslo 4

## FORORD

Etter oppdrag fra Statens forurensningstilsyn (SFT) har Norsk institutt for luftforskning (NILU) gjennomført en basisundersøkelse av luftkvaliteten i Bergen i perioden 1983-1985 som et ledd i Statlig program for forurensningsovervåking.

Hensikten med basisundersøkelsen har vært å gi

- informasjon om konsentrasjonsnivåer og befolkningens eksponering for luftforurensninger
- grunnlag for å vurdere tiltak mot luftforurensninger
- grunnlag for å vurdere behovet for rutinemessig overvåking av luftkvaliteten i framtiden.

Undersøkelsen vil bli etterfulgt av en analyse der ulike forurensningsbegrensende tiltak vurderes. Analysen skal munne ut i en prioritert rekkefølge av forurensningsbegrensende tiltak som bør settes i verk. Tiltakene skal vurderes ut fra kostnadseffektivitet.

Resultatene av undersøkelsen dokumenteres med rapportene på listen nedenfor.

Hovedrapporten og Delrapport A er skrevet med aktive overskrifter som oppsummerer resultatene av hvert delement i undersøkelsen. Disse understrekede avsnitt gir en oversikt over hovedresultatene av undersøkelsen.

### Rapportliste

Hovedrapport		SFT rapport 236/86 NILU rapport OR 58/86
Delrapport A.	Målinger av meteorologi og luftkvalitet. Eksponering og helseeffekter.	SFT rapport 232/86 NILU rapport OR 54/86
Delrapport B.	Korrosjon og miljø.	SFT rapport 233/86 NILU rapport OR 56/86

Delrapport C. Spredningsberegninger.	SFT rapport 234/86 NILU rapport OR 49/86
Delrapport D. Utslippskartlegging.	SFT rapport 235/86 NILU rapport OR 57/86
Datarapport I. Måleresultater januar-august 1983. Kartlegging av oljeforbruk 1982.	SFT rapport 198/85 NILU rapport OR 55/85
Datarapport II. Måleresultater september 1983- februar 1984. Kartlegging av olje- forbruk 1983.	SFT rapport 212/86 NILU rapport OR 6/86
Parameterisering av nettostrålingen og den følbare varmeflux i Bergen.	NILU rapport TR 12/83
A numerical model suitable for the simulation of a broad class of circulation systems on the atmos- pheric mesoscale.	NILU rapport (under arbeid 1986)
Forslag til plan for basisundersøkelsen i Bergen 1983-1985.	NILU rapport OR 4/86

Rapportene kan fåes ved henvendelse til NILU og Statens forurensningstilsyn.

Under basisundersøkelsen har NILU hatt samarbeide med og betydelig hjelp fra følgende institusjoner i Bergen: Geofysisk institutt ved Universitetet i Bergen, Kjemiavd. ved Bergen Ingeniørhøgskole, Helseseksjonen og Feiervesenet i Bergen kommune, Hordaland fylkeslaboratorium og Vervaslinga på Vestlandet.

Statens institutt for folkehelse (SIFF) har utført vurderingen av helseeffekter. Konklusjoner og grunnlagsmateriale vedrørende helseeffekter er skrevet av laboratoriesjef Jon E. Dahl og forsker Jan Hongslo ved SIFF.

**INNHOLD**

	Side
KONKLUSJON .....	5
SAMMENDRAG .....	7
GRUNNLAGSMATERIALE 1: Måleresultater, meteorologi .....	13
GRUNNLAGSMATERIALE 2: Måleresultater, luftkvalitet .....	39
GRUNNLAGSMATERIALE 3: Forurensningsepisoder .....	85
GRUNNLAGSMATERIALE 4: Befolkningens eksponering til luftforurensninger	93
GRUNNLAGSMATERIALE 5: Helsevirkninger av luftforurensninger i Bergensområdet .....	119
GRUNNLAGSMATERIALE 6: Forslag til framtidig måleprogram for luft- kvalitet .....	137
GRUNNLAGSMATERIALE 7: Prosjektbeskrivelse .....	141
GRUNNLAGSMATERIALE 8: Grenseverdier og vurderingsgrunnlag for luftkvalitet .....	155



## KONKLUSJON

Luftkvalitetsmålingene viste at nitrogendioksid ( $\text{NO}_2$ ), karbonmonoksid (CO) og sotinnhold i svevestøv er de største luftforurensningsproblemer i Bergen.  $\text{NO}_2$  og sot er de komponenter som oftest overskred de anbefalte grenseverdiene. Dette skjedde i perioder om vinteren med stille, klart vær. Vinteren 1983-84 var det i alt 7 døgn med overskridelser, og høyeste målte verdier var for både  $\text{NO}_2$  og sot 70-80% høyere enn grenseverdien. Målingene viste at sentrum og Kronstad-Minde er de mest forurensede områder.

Det er grenseverdiene for korttids-eksponering som overskrides i Bergen (døgnmiddelverdier av  $\text{NO}_2$  og sot, 8-timers middelverdier av CO og timesmiddelverdier av  $\text{NO}_2$ ). I forurensningsepisoder kan de mest forurensede områder klassifiseres som mye forurenset. Grenseverdier for langtids-eksponering (halvår og år) overskrides ikke i Bergen, bortsett fra områder ut til 10-40 meter fra hovedveinettet, avhengig av trafikkmengden. Der kan lufta i gjennomsnitt klassifiseres for middels eller mye forurenset.

Vinteren 1983-84 bodde ca 46 000 personer i områder der  $\text{NO}_2$ -konsentrasjonen ble beregnet å overskride nedre grenseverdi på  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Overskridelser av grenseverdier for sot og CO ble beregnet å omfatte henholdsvis ca 39 000 og vel 15 000 personer. Grenseverdier for halvårsmiddelverdi overskrides ikke i Bergen. Det gjelder alle målte forurensningskomponenter.

Forurensning med  $\text{NO}_2$  og CO synes å være det som har størst helsemessig betydning i Bergen. I enkelte episoder har forurensningen med  $\text{SO}_2$  og sot vært i nivåer hvor det er økt risiko for helseeffekter hos de mest sårbare individene.

Biltrafikken er den kilden i Bergen som gir størst bidrag til CO- og  $\text{NO}_2$ -forurensningen.

Hyppigheten av forurensningsepisoder (perioder med stille, klart og kaldt vær) som gir høye konsentrasjoner av forurensninger, varierer mye fra vinter til vinter. Vinteren 1982-83 var det knapt noen slike perioder, mens det vinteren 1983-84 var slike forhold, med overskridelse av grenseverdier, i 7-10 dager i løpet av vinteren.

Det rutinemessige overvåkingsprogrammet i Bergen bør fortsette med tre målestasjoner som nå, men stasjonsplasseringer bør revurderes. Målingene på Ravneberget kan avsluttes, og stasjonen flyttes til trafikkeksponert område i sentrum. Kronstad og CMI bør opprettholdes, eventuelt kan CMI-stasjonen vurderes flyttet inn mot sentrum. Det foreslås en utvidelse av måleprogrammet til å omfatte  $\text{NO}_2$ , svevestøv og CO på noen stasjoner.



## SAMMENDRAG

Denne delrapporten presenterer sammendrag av måleresultatene av luftkvalitet og meteorologiske forhold i Bergen for perioden januar 1983-februar 1984, samt resultater av beregning av befolkningens eksponering til luftforurensninger og en vurdering av luftforurensningens helsevirkninger. Rapporten inneholder også en kortfattet prosjektbeskrivelse av basisundersøkelsen, samt et forslag til framtidig program for overvåking av luftkvaliteten i Bergen.

Målinger av luftkvalitet og meteorologiske forhold ble gjennomført på ialt henholdsvis 15 og 11 målestasjoner. Luftkvalitetsmålingene omfattet stoffene svoveldioksid ( $\text{SO}_2$ ), nitrogenoksider ( $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$ ), karbonmonoksid ( $\text{CO}$ ), svevestøv, sot, bly og polysykliske aromatiske hydrokarboner (PAH). En nærmere beskrivelse av måleprogrammet er gitt i Grunnlagsmateriale 7.

De meteorologiske forholdene har stor betydning for utslippsmengden av forurensende stoffer og for spredningen av utslippene i atmosfæren. Resultatene av de meteorologiske målinger er beskrevet i Grunnlagsmateriale 1. Om vinteren er hovedvindretningen i Bergens-området fra sør og sørøst. Utslippene føres da nordover langs Bergensdalen og så mot nordvest utover Bergen sentrum. Denne vinden har en gjennomsnittshastighet på 4-5 m/s, målt 30-40 meter over bakken. Dette gir god spredning av forurensningsutslipp det meste av tiden. Hver vinter opptrer imidlertid høytrykksperioder med klarvær, svake vinder og lav temperatur som gir økt utslipp og dårlig spredning av utslippene. En har da ofte inversjon (temperaturen avtar ned mot bakken) som holder forurensningene nede i bakkesjiktet. Under slike forhold (forurensningsepisoder) kan forurensningsnivået bli svært høyt i Bergen.

Om sommeren er nordvestlig vind like hyppig som sørøstlig. Spredningsforholdene er vanligvis langt bedre enn om vinteren, utslippene mindre og forurensningsnivået derved vesentlig lavere.

Spredningsforholdene i Bergen var vinteren 1982-1983 langt bedre enn normalt, med relativt høy temperatur og sterk vind. Vinteren 1983-84 var mere normal hva gjelder vind- og temperaturforhold. Forurensningsforholdene var derved gode vinteren 1982-83, mens de var mer som normalt vinteren etter. I januar 1984 opptrådte noen sterke forurensningsepisoder med foru-

rensningsnivå som er noe av det høyeste en venter vil opptre i Bergen med nåværende utslippsforhold.

Luftkvalitetsmålingene viste at området Kronstad-Minde og Bergen sentrum er de mest forurensede områder. Sandviken og Laksevåg har mindre forurensning enn i sentrum, og forurensningsnivået blir raskt lavere med avstand fra og høyde over sentrum. Dette bildet av det generelle forurensningsnivå i prosjektområdet gjelder områder som ligger mer enn 50 meter fra trafikkerte veier. Langs de sterkest trafikkerte veiene er det utslippet fra biltrafikken som dominerer luftforurensningen.

Ut fra nærmere angitte kriterier kan luften i Bergen stort sett klassifiseres som "lite" forurensset det meste av tiden, når en ser bort fra områdene langs de sterkest trafikkerte veiene. De mest forurensede områder i sentrum og Kronstad-Minde ligger imidlertid som vintergjennomsnitt nær klassifiseringen "middels" forurensset på grunn av  $\text{NO}_2$ -nivået. Grenseverdier for vinterhalvåret overskrides ikke. Gjennomsnittlig luftforurensningsnivå om vinteren ligger for  $\text{SO}_2$  og sot nær eller under halvparten av grenseverdien, mens  $\text{NO}_2$ -nivået kan komme opp mot 75% av grenseverdien. Nær hovedveinettet (nærmere enn anslagsvis 10-40 meter, avhengig av trafikkmengden) kan imidlertid luften i gjennomsnitt karakteriseres som "middels" og "mye" forurensset.

Under forurensningsepisoder blir luftkvaliteten generelt i sentrumsområdet, ikke bare nær veier, dårligere enn det som tilsvarende grenseverdier for middelverdier for ett døgn eller kortere. Ved 4 av 15 målesteder i sentrum og Kronstad-Minde kan luften klassifiseres som "mye" forurensset i forurensningsepisoder, på grunn av høye konsentrasjoner av  $\text{NO}_2$  og sot. Grunnlaget for klassifiseringen er gitt i Grunnlagsmateriale 8.

Grenseverdiene for  $\text{NO}_2$ , sot og CO ble overskredet på et antall dager i Bergen sentrum og Kronstad-Minde spesielt vinteren 1983-84. De høyeste verdier var betydelig høyere enn grenseverdiene. Også  $\text{SO}_2$ -nivået overskred såvidt grenseverdien. Vinteren 1982-83 var det betydelig færre overskridelser enn vinteren 1983-84, som avvek lite fra normale forhold, hva gjelder temperatur og spredning.

Overskridelsene var størst og mest omfattende for  $\text{NO}_2$  og sot. Høyeste målte verdi lå for begge komponentene 70-80% over grenseverdien, og grenseverdien ble vinteren 1983-84 overskredet på 6-7 døgn i Kronstad-Minde-området og noe færre døgn i sentrum.

Målinger av  $\text{SO}_2$  og sot på CMI og Kronstad siden 1970 har vist at forurensningen av disse stoffer har sunket betraktelig siden da.  $\text{SO}_2$ -nivået om vinteren er sunket til en tredjedel, og sot-nivået til ca. halvparten. Blymålinger startet i 1977, og siden da er blykonsentrasjonen blitt redusert med mer enn 60%, på grunn av reduksjonen i blyinnholdet i bensin.

Forurensningen av svoveldioksid ( $\text{SO}_2$ ) var i gjennomsnitt noe høyere i Kronstad-Minde-området enn i sentrum (Bergenshalvøya). Døgnverdiene kunne bli omtrent like høye i begge områdene. Sandviken og Laksevåg hadde lavere  $\text{SO}_2$ -nivå enn sentrum. I områder høyere enn ca. 100 m.o.h. og i Fyllingsdalen og Nesttun var  $\text{SO}_2$ -nivået lavt.

Hovedkilden til sot er dieselavgasser og utslipp fra større fyringsanlegg. Sotforurensningen påvirkes derfor av stasjonens nærhet til sterkt trafikkerte veier. Høyest sotforurensning ble målt på Minde. Forholdet mellom stasjoner i sentrum og utkantene var mindre enn for  $\text{SO}_2$ .

Hovedkilden til nitrogendioksid ( $\text{NO}_2$ ) er utslippene av  $\text{NO}$  og  $\text{NO}_2$  fra biltrafikk og oljefyring.  $\text{NO}$  oksideres til  $\text{NO}_2$  i atmosfæren. Høyest  $\text{NO}_2$ -nivå ble målt i Teaterparken. Forholdet mellom sentrum og utkantene var som for sot, mindre enn for  $\text{SO}_2$ . Målingene viser at  $\text{NO}_2$ -konsentrasjonen i området ikke varierer så mye verken i rom eller tid som  $\text{SO}_2$ , sot og andre komponenter, fordi  $\text{NO}_2$  i stor grad er en sekundær forurensningskomponent dannet ved oksidasjon av  $\text{NO}$ .

Biltrafikken er hovedkilden til  $\text{CO}$ .  $\text{CO}$  ble målt bare i Teaterparken.  $\text{CO}$ -konsentrasjonen der var godt korrelert med sot og  $\text{NO}_x$ .  $\text{CO}$ -konsentrasjonen ved målestasjonen i Teaterparken overskred grenseverdien på 5 dager i løpet av vinteren 1983-84. Langs de sterkest trafikkerte veiene overskrides denne grenseverdien relativt hyppig, spesielt om vinteren.

Biltrafikken er den helt dominerende kilden til bly i luft. Blykonsentrasjonen bestemmes av avstanden fra trafikkerte veier. Størst blykonsentrasjon

ble målt på stasjonen på Minde. Blynivået gikk betraktelig ned fra vinteren 1983 til vinteren 1983-84, på grunn av reduksjonen i blyinnhold i høyoktan bensin som ble innført pr 1.9.1983.

Hovedkilder til svevestøv i luft er oljefyring, bileksos, spesielt dieselsos og veistøv. Avfallsforbrenning og industriutslipp bidrar også.

Konsentrasjonen av inhalerbare partikler ble målt på opptil 5 stasjoner, og konsentrasjonen var størst på Minde. De høyeste målte svevestøvverdier lå høyere enn grenseverdier foreslått i USA.

Hovedkilder til polysykliske aromatiske hydrokarboner (PAH) er bileksos og utslipp fra oljefyring. Målinger ble utført i Teaterparken og på Minde vinteren 1983-84. PAH-konsentrasjonen var i gjennomsnitt 35% høyere på Minde enn i Teaterparken.

Det er utført beregninger av hvor mange personer som er bosatt i områder med luftforurensning over gitte nivåer (Grunnlagsmateriale 4). En vurdering av mulige helsevirkninger av luftforurensninger er utført av Statens institutt for folkehelse (Grunnlagsmateriale 5).

Anslagsvis 13.000 mennesker bor i områder der døgnmiddelverdiene av  $\text{SO}_2$  og sot vinteren 1983-84 begge overskred nedre grenseverdi på  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Rundt 10.000 mennesker bor i områder der øvre grenseverdi for sot ( $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) ble overskredet, og rundt 39.000 der nedre grenseverdi ( $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) ble overskredet.

Halvårsmiddelverdien for  $\text{NO}_2$  ble ikke overskredet i Bergen i løpet av måleperioden, bortsett fra tett ved de sterkest trafikkerte veiene. Anslagsvis 39.000 mennesker bor i områder der halvårsmiddelverdien var over  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Ca. 13.000 mennesker bor i områder der øvre grenseverdi for  $\text{NO}_2$  (døgnmiddelverdi) overskrides. Tilsvarende tall for nedre grenseverdi er 46.000 mennesker.

$\text{CO}$ -konsentrasjonen i Bergen overskrider grenseverdien for 8 timer i deler av sentrum og langs de sterkt trafikkerte innfartsveier. Anslagsvis 15.000 mennesker bor eller arbeider i områder tett ved sterkt trafikkerte veier der

8-timersgrenseverdien er beregnet å bli overskredet, en eller flere ganger pr. år.

For bens(a)pyren som er en indikator for organiske forurensninger med genotoksisk effekt, finnes ingen grenseverdier. Omtrent 15.000 mennesker bor i områder der konsentrasjonen av bens(a)pyren var over  $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$  vinteren 1983-84.

Forurensning med  $\text{NO}_2$  og CO synes å være det som har størst helsemessig betydning (Grunnlagsmateriale 5). Det var langt hyppigere overskridelser av grenseverdiene for  $\text{NO}_2$  enn det som anbefales i kommentarene til grenseverdiene, og enkelte timesverdier lå på et nivå hvor det er registrert helseeffekter i kontrollerte forsøk med friske individer. Det er beregnet CO-konsentrasjoner langs en del gater/veier som kan gi helseeffekter hos friske mennesker, samtidig som pasienter med framskredet åreforkalkning vil føle økt ubehag av sin sykdom. Det har vært enkelte overskridelser av grenseverdiene for  $\text{SO}_2$  og sot. I slike episoder er det økt sjanse for at helseeffekter opptrer blant de mest sårbare gruppene, pasienter med hjerte- og lungelidelser og eldre.

Det nåværende rutinemessige overvåkningsprogram i Bergen omfatter tre målestasjoner: CMI (nåværende Bergen ingeniørhøgskole), Kronstad skole og Ravneberget. Måleprogrammet omfatter stoffene  $\text{SO}_2$ , sot og bly. Resultatene av basisundersøkelsen gir grunnlag for å foreslå enkelte endringer i den rutinemessige overvåkingen (Grunnlagsmateriale 6). Programmet bør fortsette med tre stasjoner, men stasjonen på Ravneberget foreslås nedlagt og en ny stasjon opprettet i et trafikkeksponert område i sentrum. Kronstad og CMI bør fortsette, eventuelt kan CMI-stasjonen flyttes inn mot sentrum av det mest forurensede området på Bergenshalvøya. Det foreslås en utvidelse av måleprogrammet til også å omfatte  $\text{NO}_2$  og svevestøv, og på den nyopprettede trafikkeksponerte stasjonen bør også CO-målinger inngå.



## GRUNNLAGSMATERIALE 1 - MÅLERESULTATER, METEOROLOGI

Meteorologiske data er viktige inngangsparametre i spredningsmodellene. De benyttes også til å vurdere representativiteten av luftkvalitetsmålingene.

Beskrivelse av vindfelt og spredningsparametre krever meteorologiske data. Det er derfor i en basisundersøkelse behov for å utføre meteorologiske målinger på flere punkter, avhengig av topografi, klimaforhold og fordeling av utslippskilder.

Meteorologiske data er også viktige for å vurdere hvor representativ undersøkelsesperioden er. Fyringsutslippene avhenger av den midlere temperaturen. Luftkvaliteten avhenger av bl a temperatur, stabilitet, vindstyrke og vindretning.

Ved hjelp av meteorologiske data kan en også beregne/vurdere bidraget fra ulike kilder/kildegrupper til de målte/beregnete luftkonsentrasjonene. Dette har betydning for vurdering av eventuelle utslippsreduserende tiltak.

I det følgende beskrives resultatene av de meteorologiske målinger utført i perioden januar 1983-februar 1984. Detaljert presentasjon av måleresultater er også gitt i Datarapport I og II fra basisundersøkelsen (NILU rapport 55/85 og 6/86).

Vindmålingene viste at sørøstlige vinder var mest hyppig om vinteren, mens nordvestlige vinder forekom oftest om sommeren. Vindfeltet følger i hovedtrekk dalaksen i Bergensdalen.

Figurene 1-5 viser vindroser for henholdsvis følgende perioder: vinteren 1983 (januar-februar), våren 1983 (mars-mai), sommeren 1983 (juni-august), høsten 1983 (september-november) og vinteren 1983/84 (desember-februar).

En vindrose gir et visuelt bilde av frekvensen av vind i bestemte retninger, dvs hvor ofte det blåser fra disse retningene. I figurene 1-5 er frekvensene gitt for følgende 12 30<sup>0</sup>-sektorer: nord (360<sup>0</sup>, dvs alle målinger i 10<sup>0</sup>-sektorene 350<sup>0</sup>, 360<sup>0</sup> og 10<sup>0</sup>), nord-nordøst (30<sup>0</sup>), øst-nordøst (60<sup>0</sup>), øst (90<sup>0</sup>), øst-sørøst (120<sup>0</sup>), sør-sørøst (150<sup>0</sup>), sør (180<sup>0</sup>), sør-sørvest (210<sup>0</sup>), vest-

sørvest ( $240^0$ ), vest ( $270^0$ ), vest-nordvest ( $300^0$ ) og nord-nordvest ( $330^0$ ). Symbolet C i midten av vindrosene står for frekvensen av vindstille. Med vindstille forstås her at timesmiddelverdien av vindstyrken er mindre eller lik 0.3 m/s.

På de fleste stasjonene er målingene av vindretning og vindstyrke utført 10 m over bakken (m.o.b.). På Meteorologisk institutts (MIs) stasjon Florida er målingene gjort 41 m.o.b., mens målingene på Skjold var 36 m.o.b. (vindstyrke også 10 m.o.b.).

Målingene på MIs stasjon Flesland viste at hovedvindretningene var sør-sørøst (mest markert om vinteren) og nord-nordvest (mest markert om sommeren). Dette betyr at hovedvindretningene er langs kysten. Om våren og høsten var vindfrekvensen i de to hovedvindretningene noenlunde jevnt fordelt.

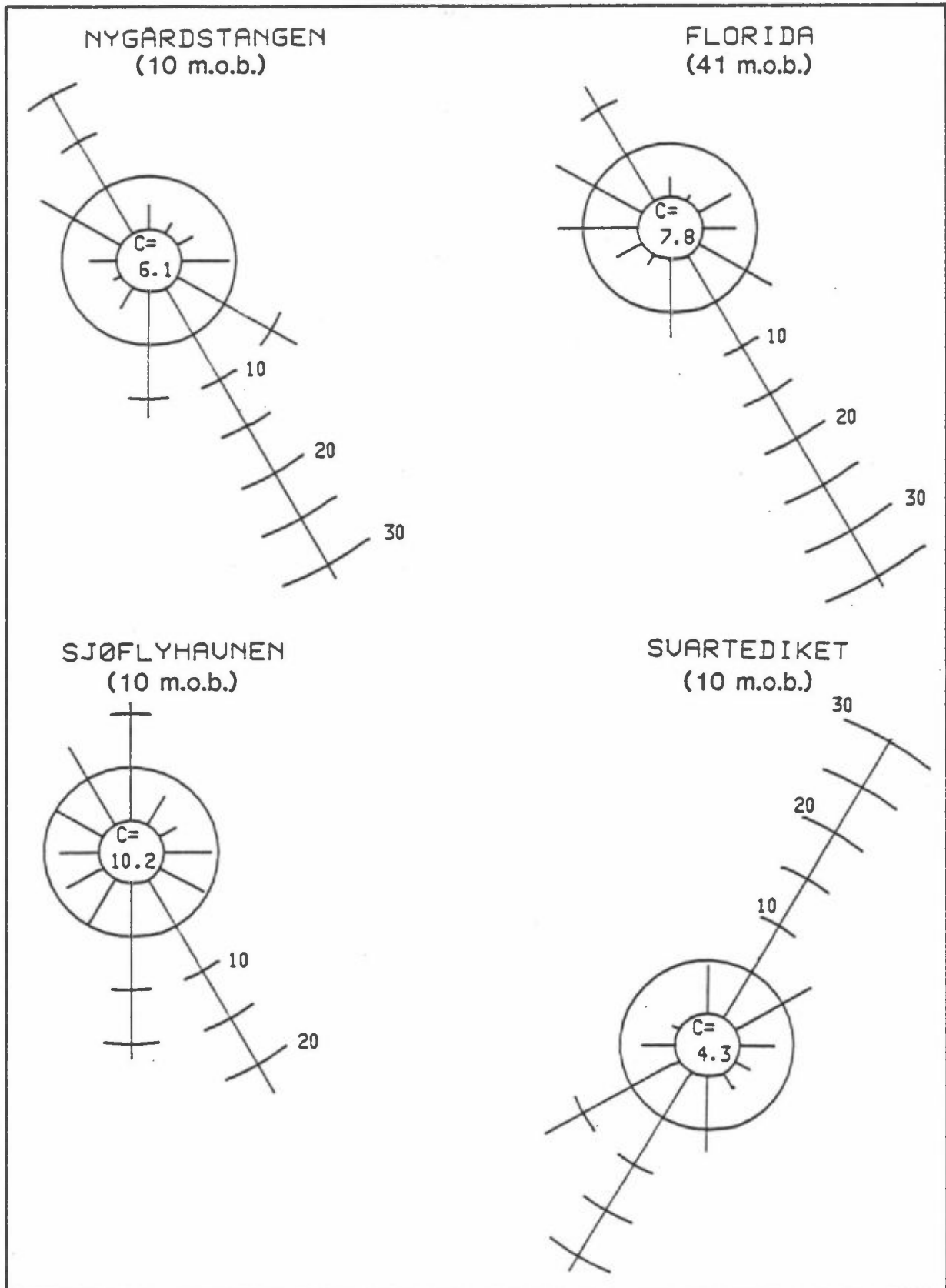
Målingene på stasjonene i og nær Bergen sentrum (Florida, Nygårdstangen, Sjøflyhavnen og Laksevåg) viste omtrent samme form på vindrosene som på Flesland, men med en enda høyere frekvens fra sør-sørøst. Grunnen til dette er at vindfeltet følger nedre del av Bergensdalen, dvs vindfeltet kanaliseres langs dalaksen.

Lenger opp i Bergensdalen, på Storetveit, er dalaksen i retningen nord-nordøst - sør-sørvest. Dette vises klart i vindrosene. Sørøstlig vind på Florida er derfor sørlig og sørvestlig på Storetveit, mens nordvestlig vind på Florida er nordøstlig på Storetveit.

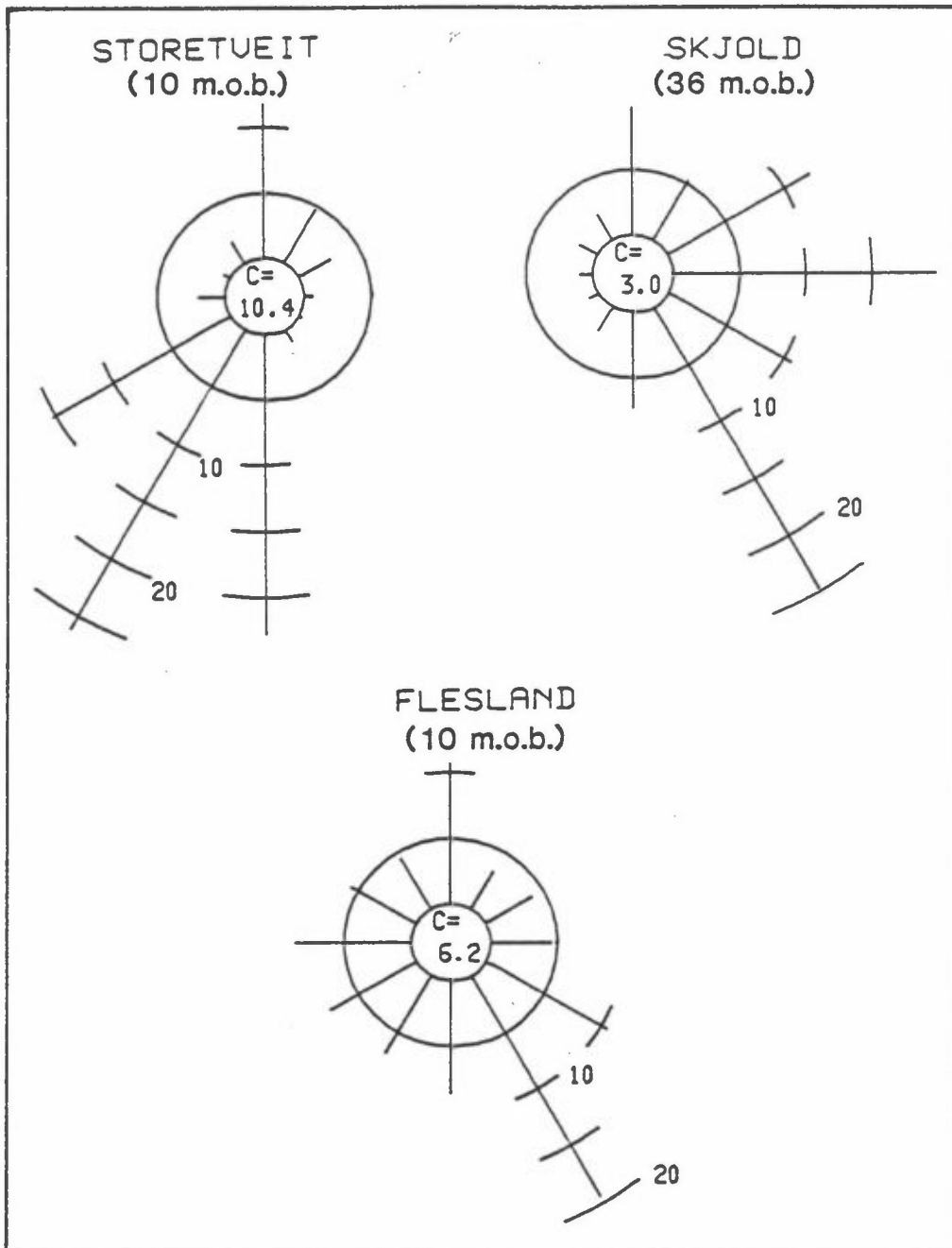
Skjold og Fyllingsdalen ligger i mer åpne og småkuperte områder enn stasjonene i Bergensdalen og er derfor ikke så påvirket av topografiske forhold. Vindrosene på disse stasjonene er noe mer runde i formen, og likner i hovedsak på Flesland.

Den mest spesielle vindstasjonen er Svartediket som viser sterk kanalisering i to bestemte retninger: sør-sørvest og nord-nordøst, i samsvar med dalretningen. Vind som på Florida blåser i en bred sektor fra nord-nordvest ( $330^0$ ) over nord og øst til øst-sørøst ( $120^0$ ) finnes i de aller fleste tilfellene igjen som vind ned Isdalen (fra nordøstlig kant). Vind på Florida i en bred sektor fra sør ( $180^0$ ) til vest-nordvest ( $300^0$ ) er sørvestlig på Svartediket. Vind i hovedvindretningen på Florida (sør-sørøst) er enten opp

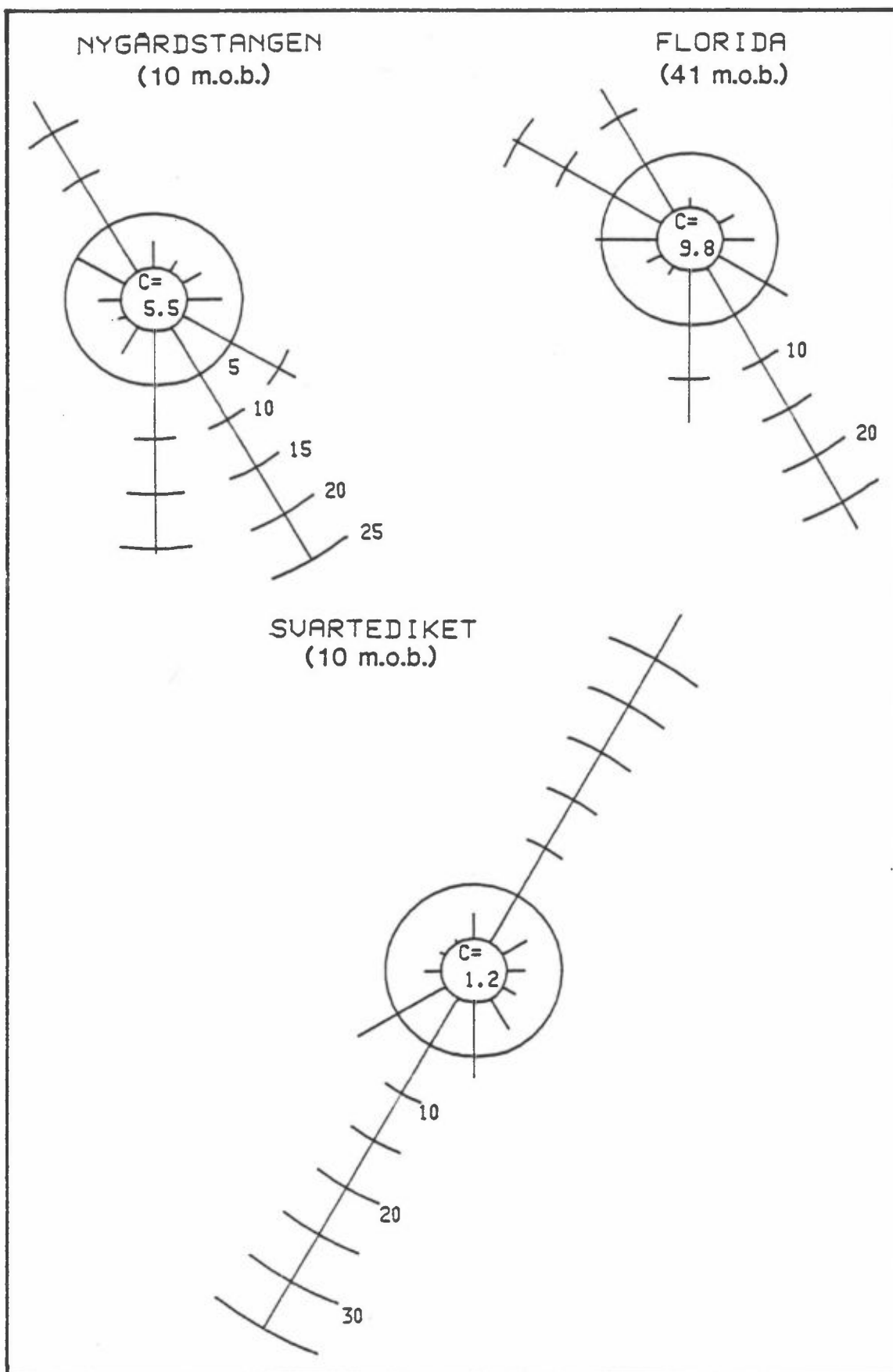




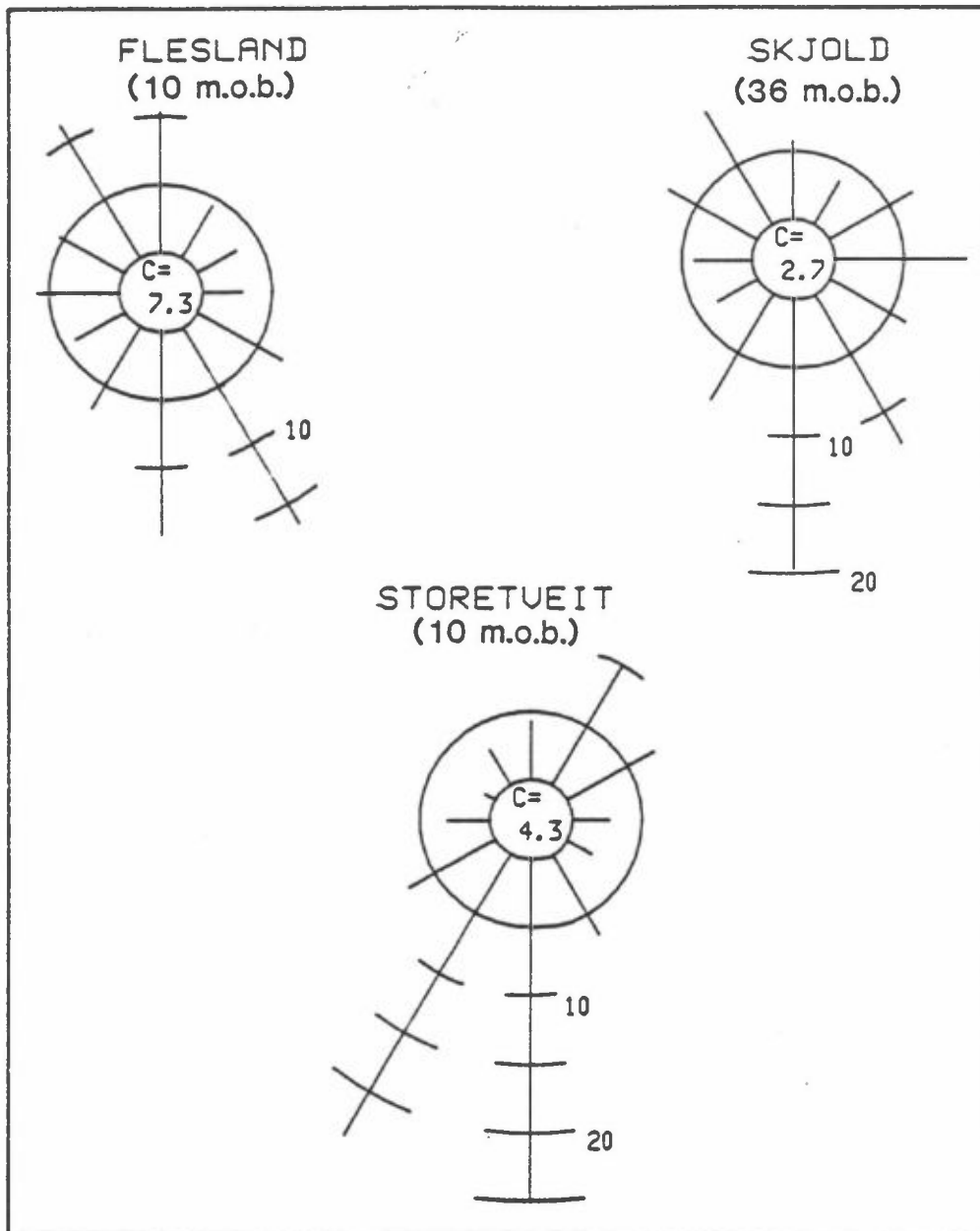
Figur 1: Vindroser for perioden januar-februar 1983 (for Skjold bare februar 83). C: vindstillefrekvens, m.o.b.: meter over bakken.



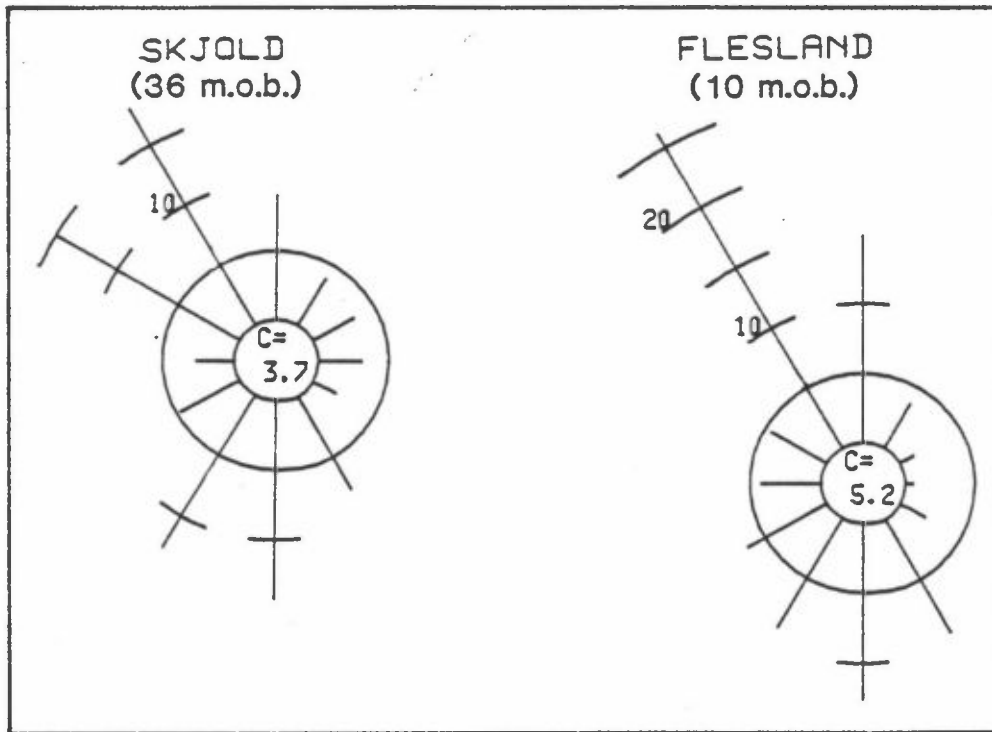
Figur 1: forts.



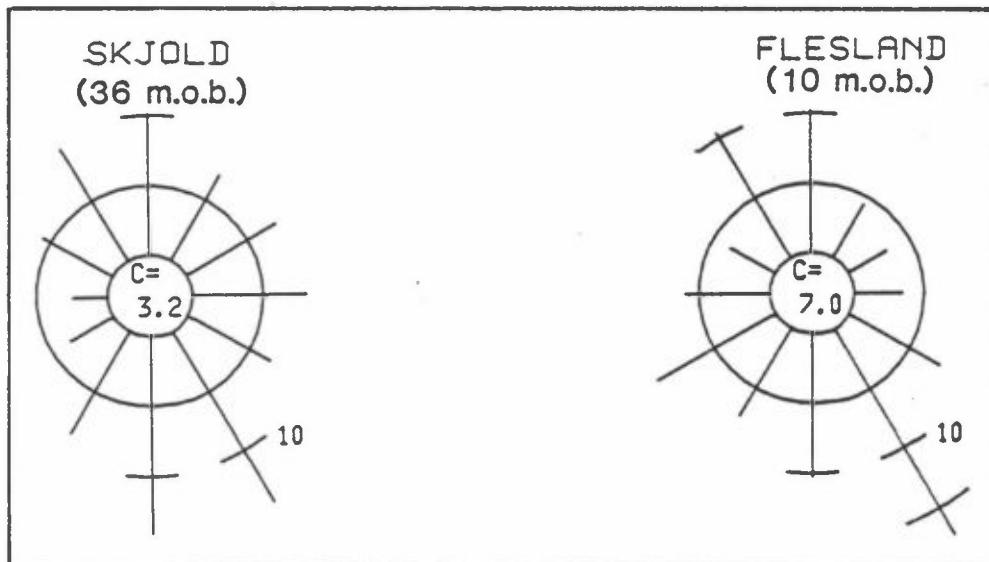
Figur 2: Vindroser for perioden mars-mai 1983. C: vindstillefrekvens.



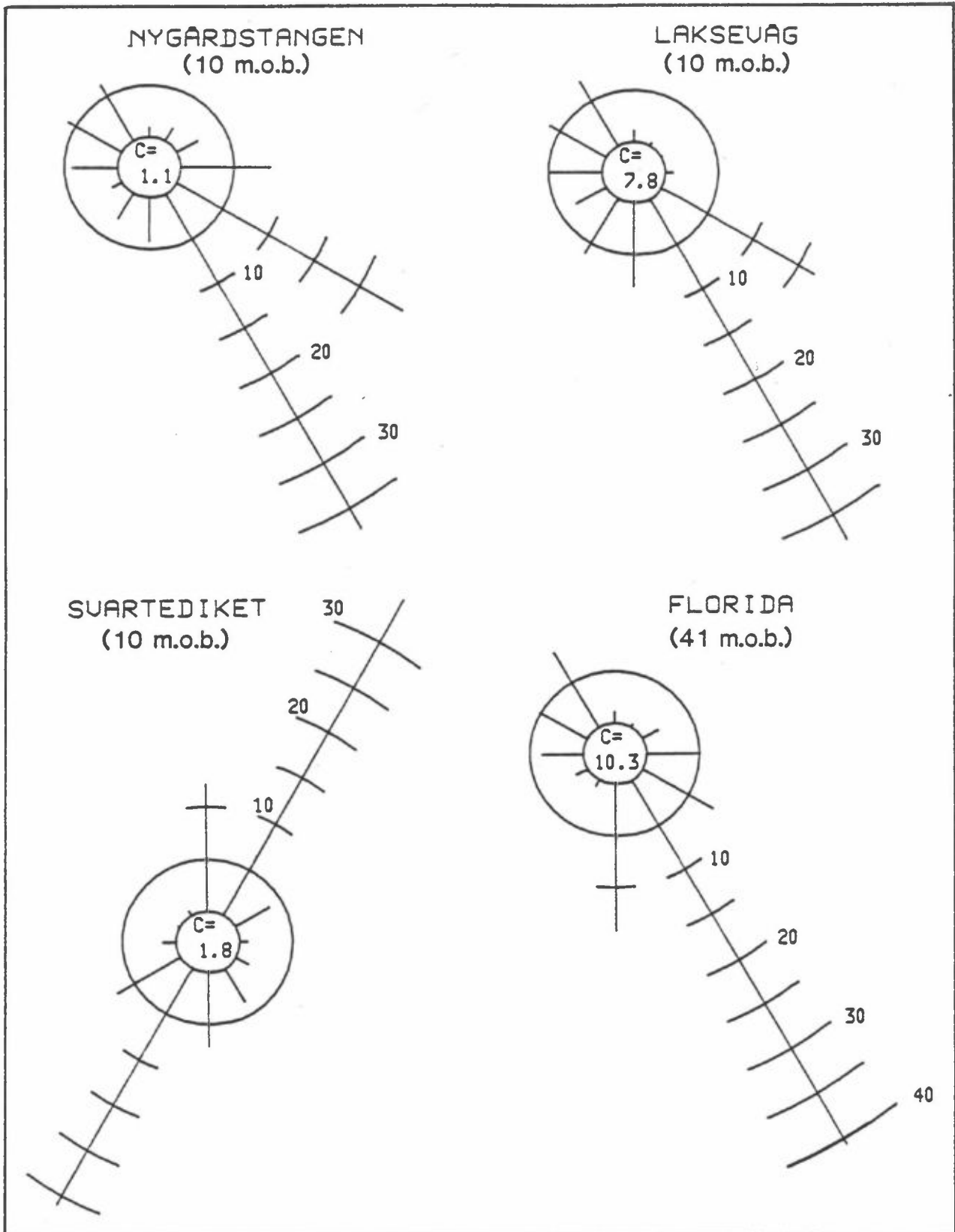
Figur 2: forts.



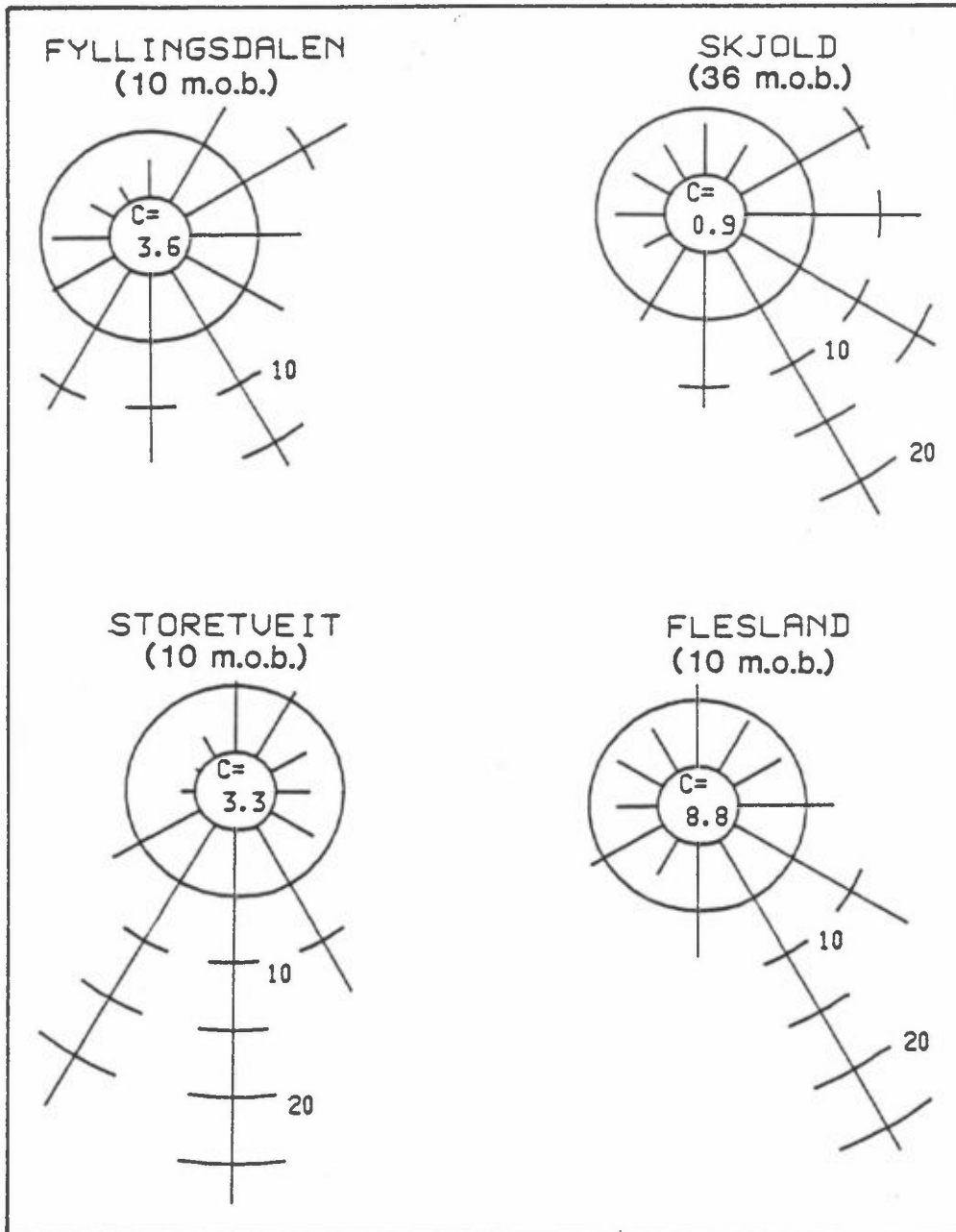
Figur 3: Vindroser for perioden juni-august 1983. C: vindstillefrekvens.



Figur 4: Vindroser for perioden september-november 1983. C: vindstillefrekvens.



Figur 5: Vindroser for perioden desember 1983-februar 1984.  
C: vindstillefrekvens.



Figur 5: forts.

eller ned Isdalen, avhengig av vindstyrken på Florida. Svake sørøstlige vinder på Florida (under 2-3 m/s) gir vind ned Isdalen, mens sterkere sørøstlige vinder gir vind opp Isdalen. En del tilfeller av sterk vind forekommer ned Isdalen. Disse vindene er østlige i nedre del av Bergensdalen.

Frekvensfordelingen av vindretninger har vist forholdsvis små avvik fra "normalt" i måleperioden. Den milde vinteren 1983 (særlig januar) gav mer vind fra nordvestlig kant og mindre vind fra sørøstlig kant enn "normalt".

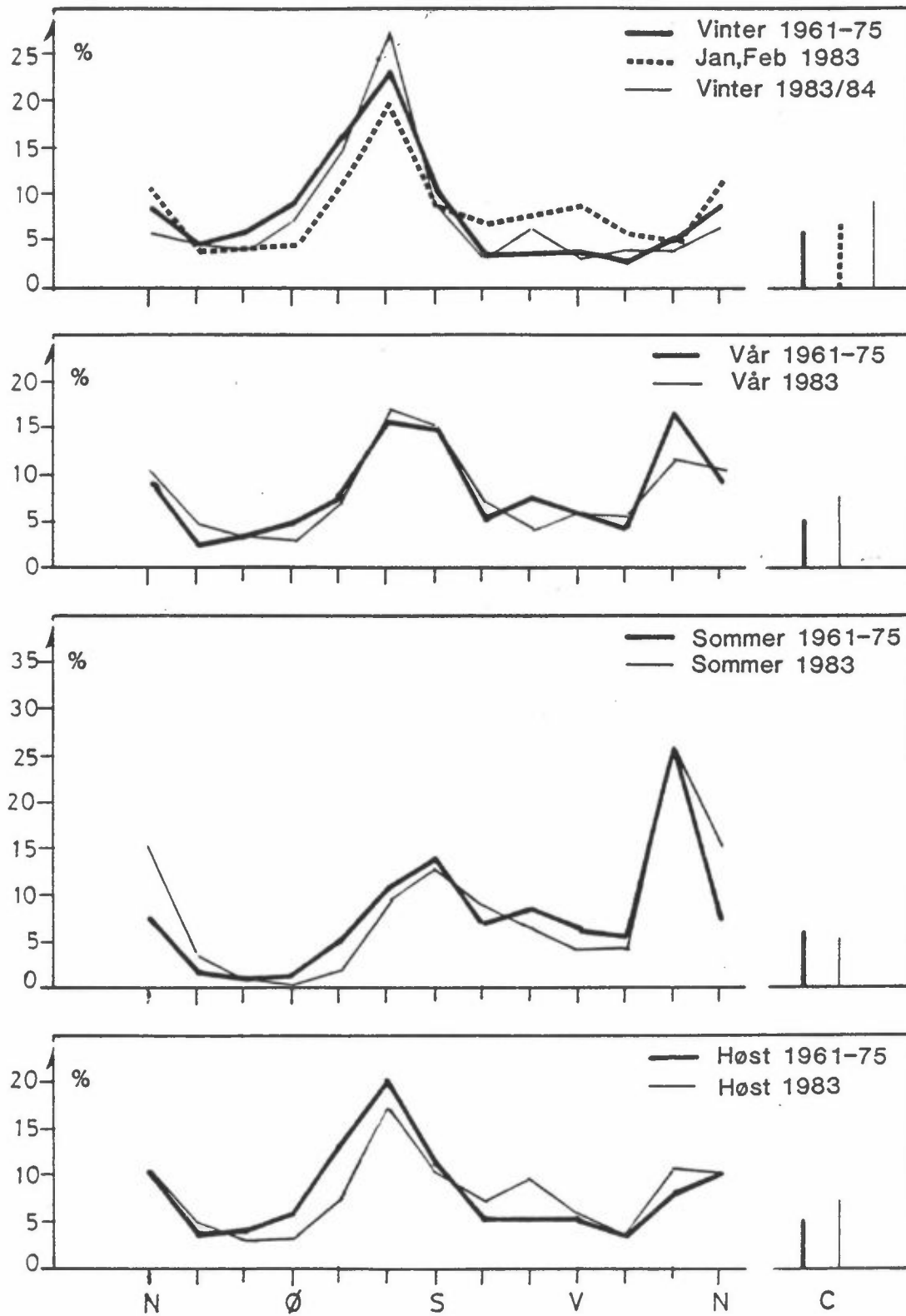
I figur 6 er det vist frekvensfordelinger av vindretninger fra Meteorologisk institutts stasjon Florida for hver årstid i undersøkelsesperioden og for hver årstid i "normalperioden" 1961-1975. "Normalperioden" er her altså definert som gjennomsnittet for årene 1961-1975. "Normalen" vil derfor kunne variere, avhengig av hvilken periode som velges.

Vinteren 1983 var det mindre vind enn "normalt" i en sektor fra øst til sør og tilsvarende mer i en sektor fra sørvest til nordvest. Dette har sammenheng med det relativt milde været, særlig januar 1983 var relativt varm. Vinteren 1983/84 viste en ganske "normal" vindfrekvensfordeling. Også temperaturen avvek lite fra "normalen" denne vinteren.

Både våren og sommeren 1983 har hatt en relativt "normal" vindretningsfordeling.

Høsten 1983 hadde lavere frekvens av østlige og sørøstlige vinder enn "normalt" og tilsvarende høyere frekvens av sørvestlige vinder.





Figur 6: Vindretningsfordeling, Florida, i 1983-84 og i perioden 1961-75.  
C: vindstillefrekvens.

Vindstyrken var høyest om høsten og vinteren, økte med høyden over bakken, var høyere om dagen enn om natta vår og sommer og var lavere i Bergen sentrum enn utenfor byen.

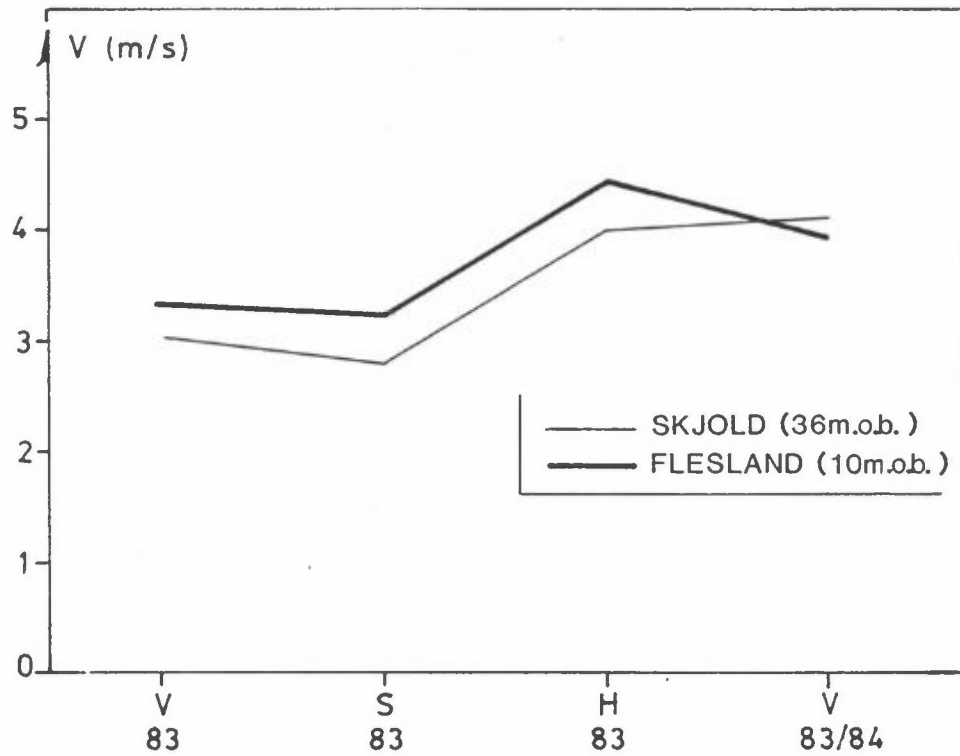
Figur 7 viser midlere vindstyrke for hver årstid på Skjold (36 m.o.b.) og Flesland (10 m.o.b.) (de to eneste stasjonene med data hele perioden). Begge stasjonene viste høyest vindstyrke høsten 1983 og vinteren 1983/84. Vindstyrken på Flesland, som ligger nærmest kysten, var vanligvis høyere enn på Skjold.

Figur 8a viser at vindstyrken på Skjold var høyere vinteren 1983/84 enn sommeren 1983 i alle vindretningene. Dessuten var vindstyrken høyere 36 m.o.b. enn 10 m.o.b.. Lavere vindstyrker ned mot bakken skyldes friksjonen mot underlaget.

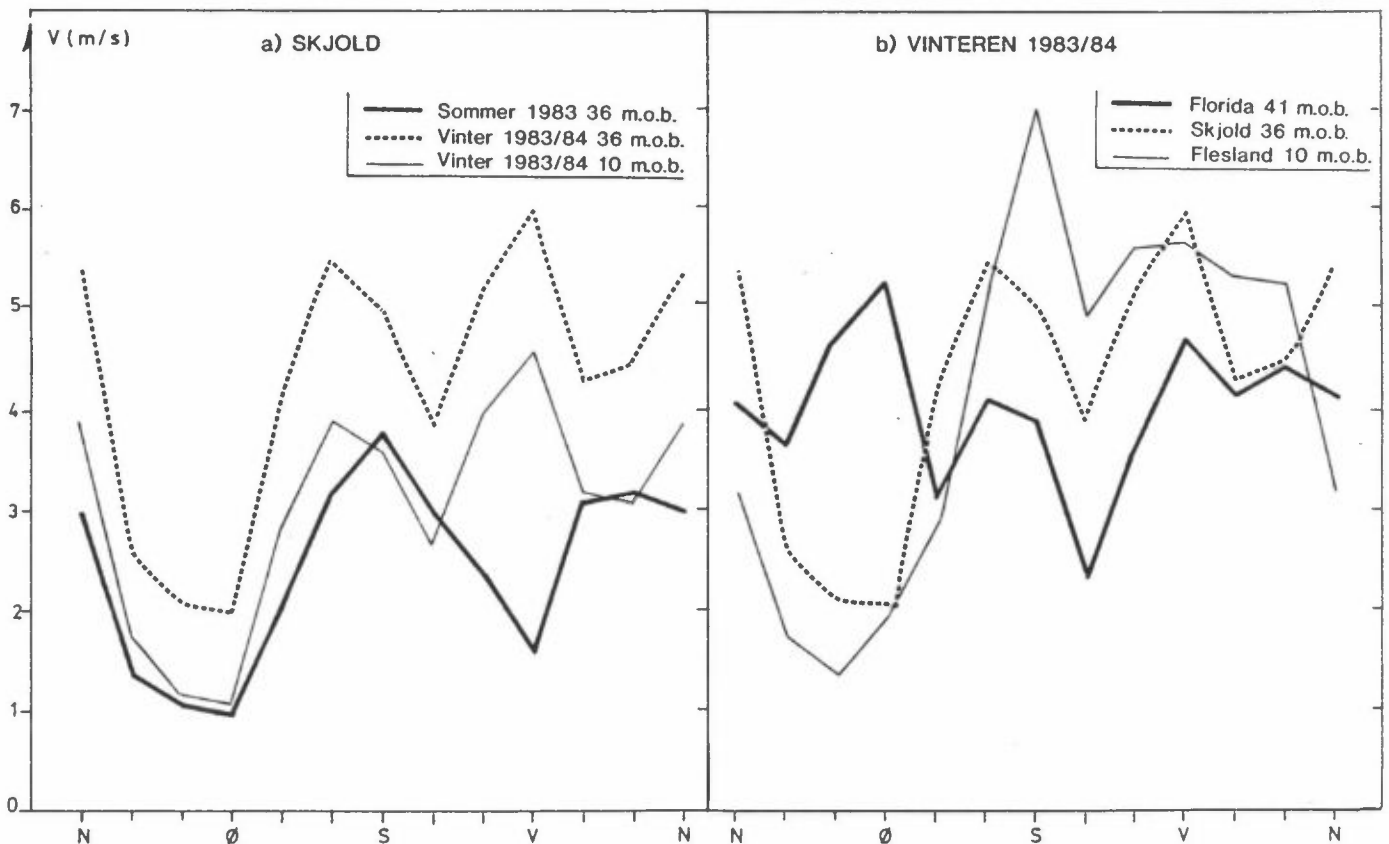
De svakeste vindene på Skjold var fra nordøst og øst (om sommeren også fra vest). De sterkeste vindene var fra vest om vinteren.

Figur 8b viser at vindstyrken i Bergen sentrum (her representert ved Florida) vanligvis er lavere enn ved Skjold og Flesland for de fleste vindretningene. Et markert unntak er øst-nordøstlig og østlig vind som har sammenheng med den kraftige fallvinden ned Isdalen.

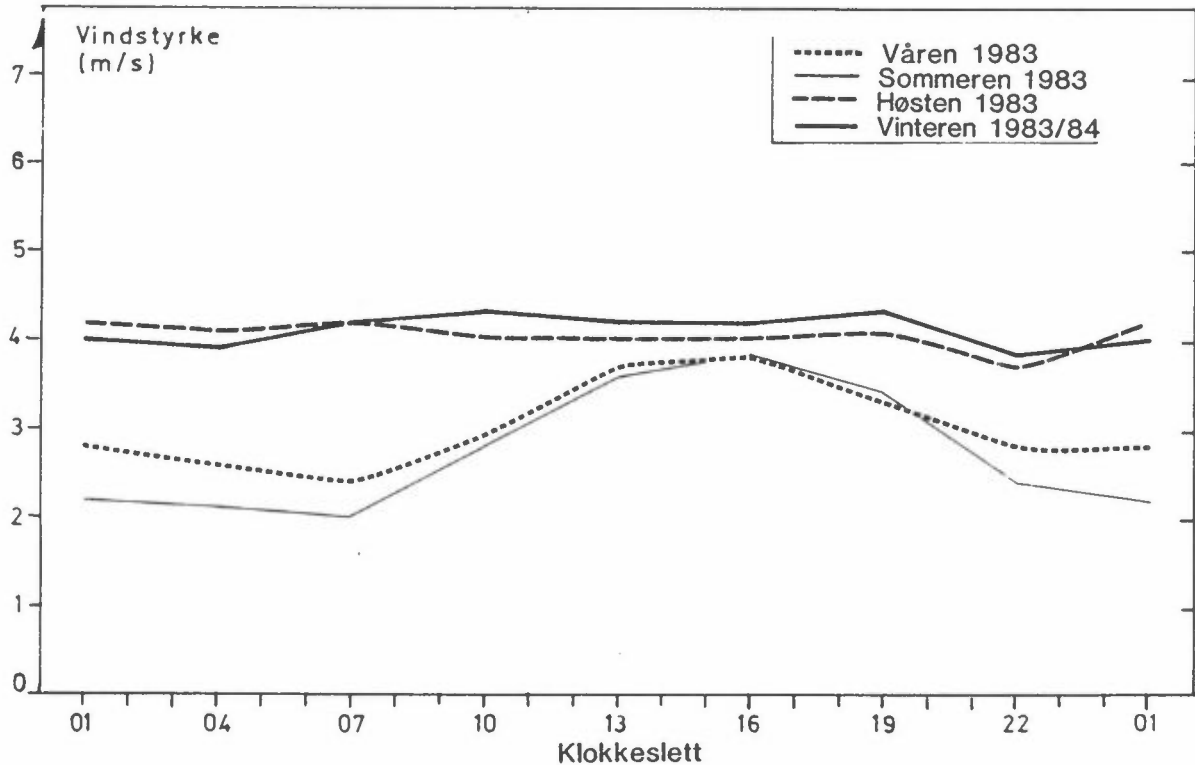
Figur 9 viser midlere døgnvariasjon av vindstyrken på Skjold til forskjellige årstider. Våren og i enda sterkere grad sommeren viste høyere vindstyrker om dagen enn om natta. Dette skyldes effekten av sterkere soloppvarming disse årstidene enn om høsten og vinteren. Om sommeren varmes landet opp raskt etter soloppgang og det settes opp en sørlig eller sørvestlig relativt sterk vind, som avtar i styrke igjen etter solnedgang. Om høsten og vinteren har en ikke denne effekten pga lav solhøyde og mye gråvær.



Figur 7: Midlere vindstyrke for hver årstid, Skjold og Flesland.



Figur 8: Midlere vindstyrke som funksjon av vindretning.



Figur 9: Vindstyrkens midlere døgnvariasjon på Skjold.

De største avvikene fra "normal" temperatur ble målt i januar 1983 ( $2.5^{\circ}\text{C}$  varmere) og i januar 1984 ( $1.5^{\circ}\text{C}$  kaldere). Hele sommeren og høsten 1983 var forholdsvis kjølig.

Tabell 1 viser månedsmiddeltemperaturene på alle målestasjoner for hver måned i perioden januar 1983-februar 1984. For MIs stasjoner Florida og Flesland er det også gitt verdier for "normalperioden" 1931-1960. Alle målinger av temperatur er utført 2 m.o.b.. Florida bygger på observasjoner hver tredje time med en annen type måleutstyr enn Florida (MI), som er en standard klimastasjon. NILUs stasjoner måler kontinuerlig hele døgnet, og data avleses hver time.

Målingene viser gjennomgående litt høyere verdier på Florida (MI) enn ved de andre stasjonene. De laveste månedsmiddelverdiene måles på Fløyen som ligger vel 300 m høyere enn sentrum. Temperaturen på Fløyen er vanligvis ca  $2^{\circ}\text{C}$  lavere enn nede i byen. Dette stemmer med at temperaturen normalt avtar ca  $0.6-0.7^{\circ}\text{C}$  pr 100 m høydeforskjell.

Tabell 1: Lufttemperaturer, Bergen, månedsmiddelverdier.

Stasjon	1983												1984	
	Jan.	Feb.	Mars	Apr.	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sep.	Okt.	Nov.	Des.	Jan.	Feb.
Florida (3 m o.b.)	3.7	0.6	3.6	-	10.0	12.3				4.6	3.2	-0.4	1.3	
Florida (MI, 3 m o.b.)	4.1	1.1	4.1	6.4	10.1	12.5	14.8	13.6	11.5	8.2	5.0	3.5	0.1	1.8
Florida normalen 1931-60	1.6	1.4	3.2	5.9	10.3	12.8	15.1	14.8	12.1	8.5	5.7	3.4	1.6	1.4
Flesland (MI)	3.4	0.0	3.1	5.3	8.8	11.1	13.5	12.1	10.5	7.4	4.1	2.5	-0.8	0.5
Flesland normalen 1931-60	0.8	0.7	2.4	5.0	9.5	12.1	14.5	14.3	11.6	8.0	4.8	2.7	0.8	0.7
Skjold (2 m o.b.)		-0.1	3.2	5.5	9.3	11.4	14.6	12.7	11.9	7.0	4.1	2.8	-0.7	0.9
Svartediket	3.8	0.4	3.1	5.1	9.1	8.8				4.3	3.4	-0.3	0.8	
Nygårdstangen	3.4	0.6								4.5	3.3	0.0	1.5	
Fløyen		-1.0								1.9	0.9	-2.0	-0.8	
Fyllingsdalen										4.1	2.7	-1.0	1.0	

Svartediket har relativt høye temperaturer om vinteren. Dette antas å skyldes at vannet ikke fryser til om vinteren.

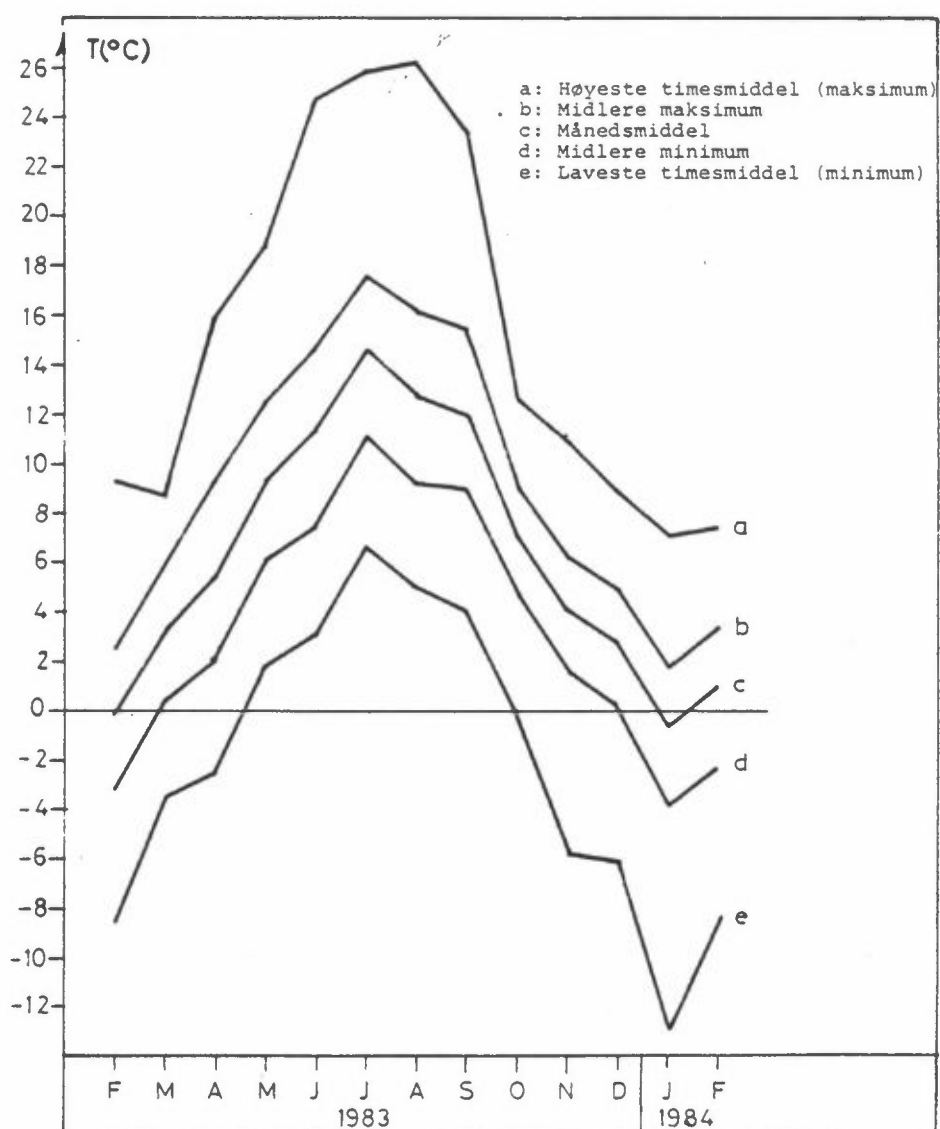
Tabellen viser at temperaturen på Flesland (MI) og Florida (MI) bare i få måneder avvek mer enn  $1^{\circ}\text{C}$  fra "normaltemperaturen". Januar 1983 var ca  $2.5^{\circ}\text{C}$  varmere enn "normalt", mens januar 1984 var ca  $1.5^{\circ}\text{C}$  kaldere enn "normalt". Alle måneder i perioden mai-november 1983 var litt kjøligere enn "normalt" både på Flesland (MI) og Florida (MI), med størst avvik i august.

Hovedinntrykket er derfor at temperaturen i undersøkelsesperioden har vært litt lavere enn "normalt". Det er imidlertid avvikene i vintermånedene som har størst betydning for luftkvaliteten.

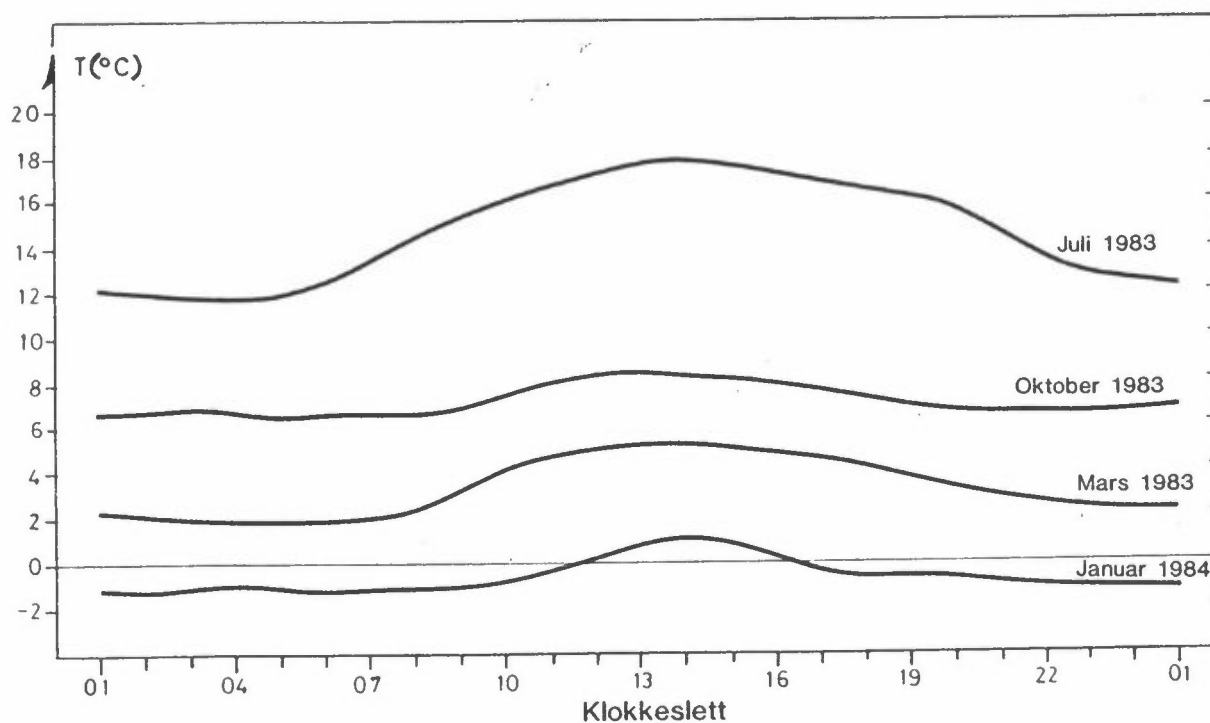
Figur 10 viser maksimums-, midlere maksimums-, månedsmiddel-, midlere minimums- og minimumstemperaturen på Skjold (2 m.o.b.) fra måned til måned. De laveste temperaturene ble målt i januar 1984, med middeltemperatur  $-0.7^{\circ}\text{C}$  og minimumstemperatur  $-13^{\circ}\text{C}$ .

Juli 1983 var den varmeste måneden med  $14.6^{\circ}\text{C}$  i middel. Maksimumstemperaturen var rundt  $26^{\circ}\text{C}$  både i juli og august. Kuldegrader ble ikke målt i månedene mai-september.

Figur 11 viser midlere døgnvariasjon på Skjold for noen utvalgte måneder. Den døgnlige gangen er naturlig nok størst om sommeren da sola står høyt på himmelen om dagen. Høst og vinter er den døgnlige temperaturvariasjonen vanligvis liten.



Figur 10: Temperaturstatistikk, Skjold (2 m.o.b.).



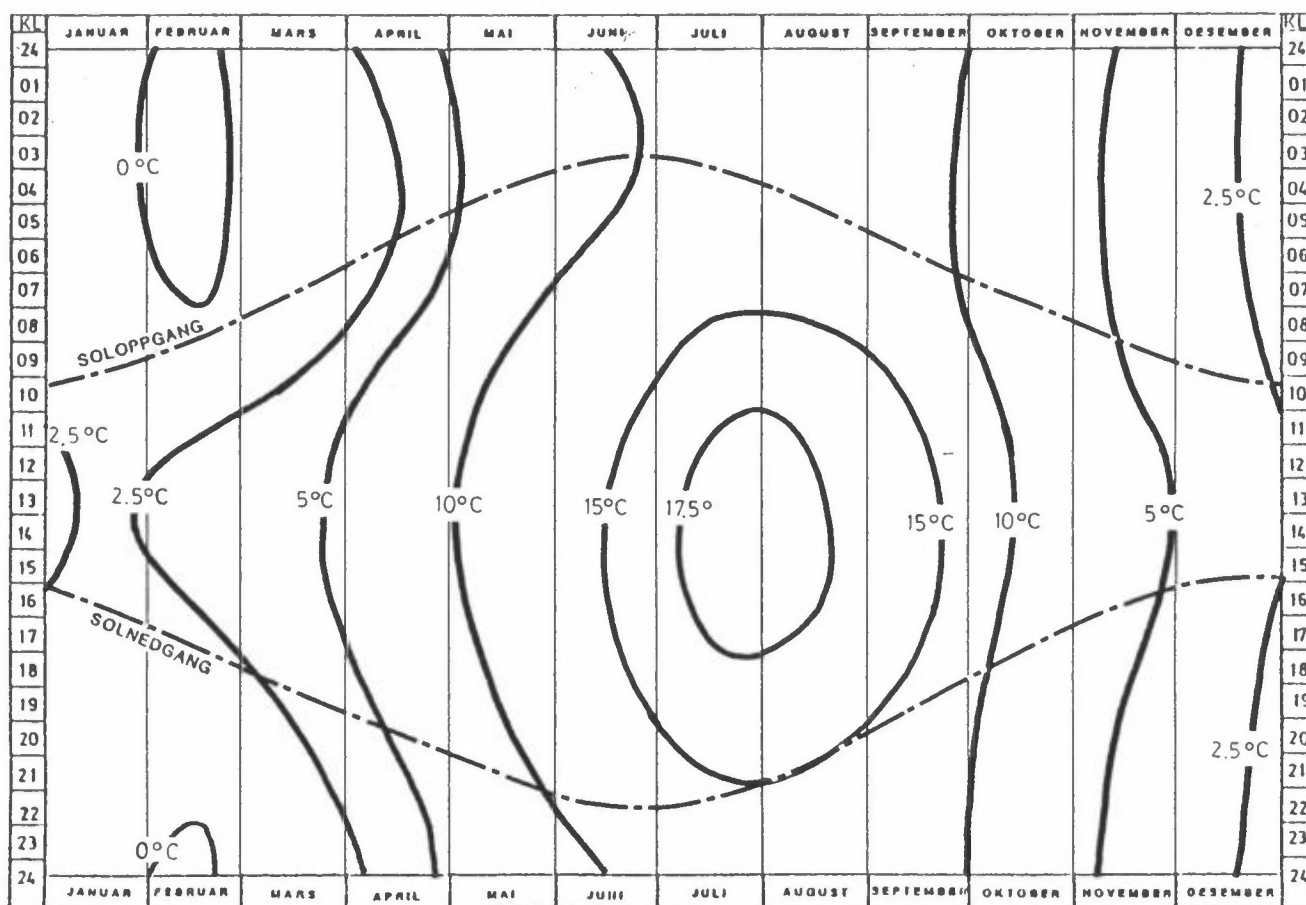
Figur 11: Temperaturens midlere døgnvariasjon, Skjold (2 m.o.b.).

På grunnlag av temperaturmålingene på Skjold og Flesland er det utarbeidet et "normalkart" over temperaturforholdene på Skjold.

Figur 12 viser de gjennomsnittlige ("normale") temperaturforholdene på Skjold som funksjon både av tid på døgnet og tid på året. Figuren bygger på målingene på Skjold i perioden februar 1983-februar 1984. Det er tatt hensyn til observert avvik fra "normalen" på Flesland.

Vanligvis er det kaldest tidlig om morgenen i februar med såvidt under  $0^{\circ}\text{C}$ . Om våren og sommeren stiger temperaturen raskt etter soloppgang. I gjennomsnitt når ettermiddagstemperaturen ikke opp til  $20^{\circ}\text{C}$  om sommeren. I vinterhalvåret (oktober-mars) er det ganske liten variasjon i temperaturen over døgnet. På den enkelte dag kan temperaturen avvike mye fra dette kartet, opptil  $10\text{-}15^{\circ}\text{C}$  (mest sommer og vinter).



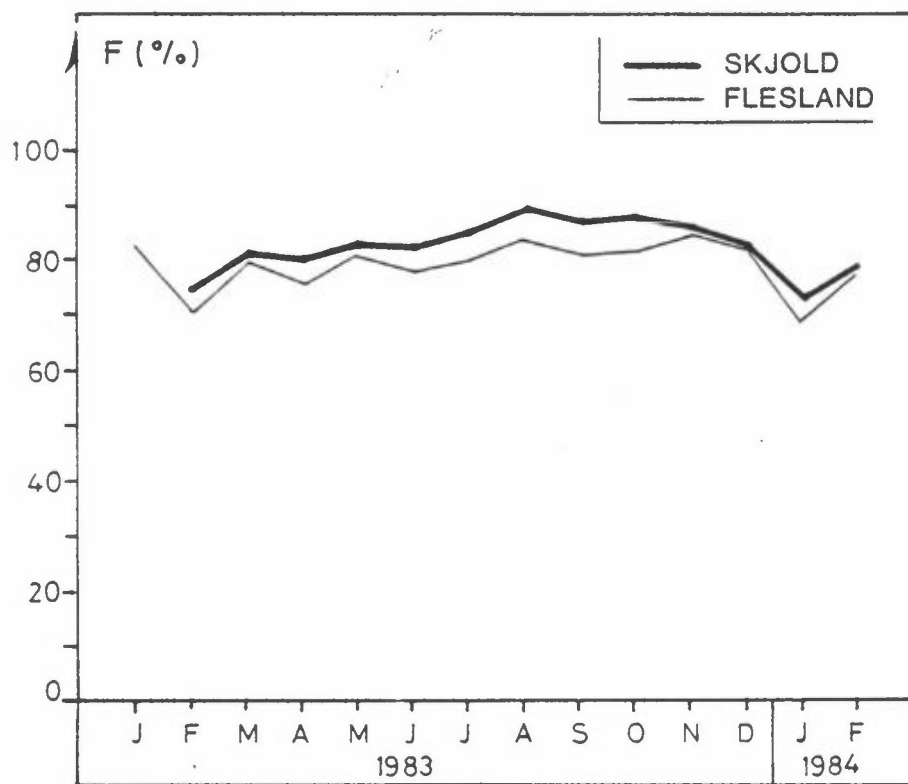


Figur 12: "Normalkart" for temperaturforholdene på Skjold.

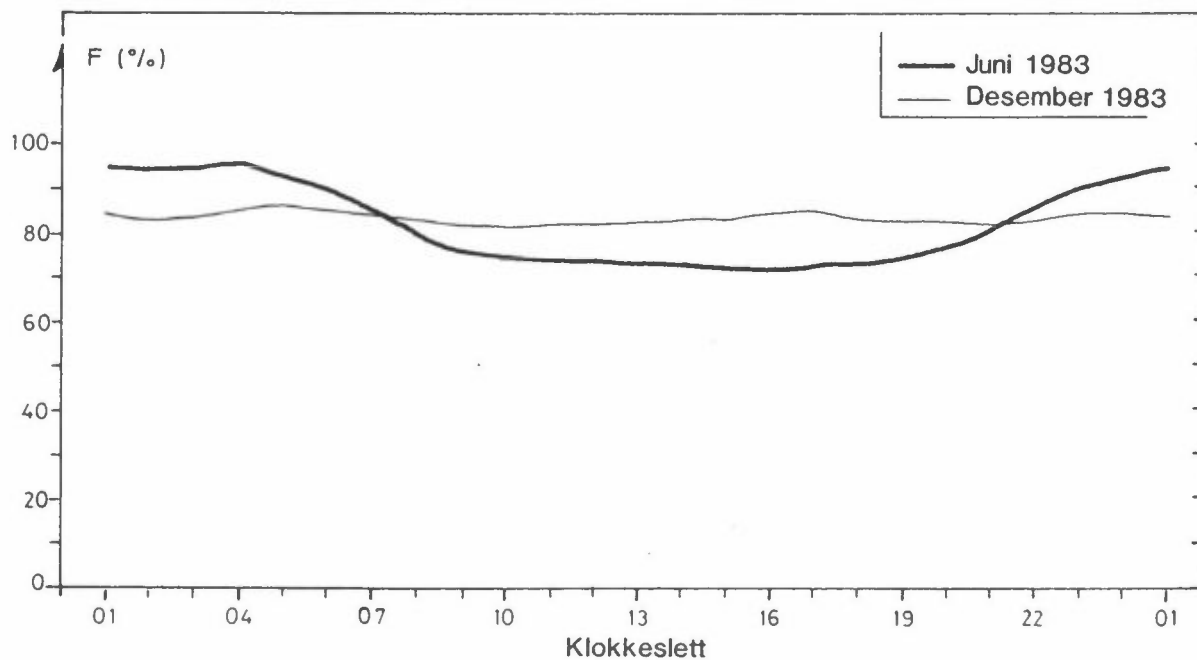
Den relative fuktigheten viste små forskjeller mellom Skjold og Flesland (MI).

Figur 13 viser månedsmiddelverdier av relativ fuktighet på Skjold sammenliknet med Flesland (MI). Overensstemmelsen er rimelig bra. I gjennomsnitt var den relative fuktigheten 70-90%, høyest på ettersommeren og høsten.

Figur 14 viser at den relative fuktigheten varierte lite over døgnet i en vintermåned (desember 1983). Om sommeren (juni 1983) var det markert fuktigere om natta enn om dagen.



Figur 13: Relativ fuktighet, Skjold og Flesland. Månedsmiddelverdier.



Figur 14: Midlere døgnvariasjon av relativ fuktighet (F%) på Skjold (2 m.o.b.) i utvalgte måneder.

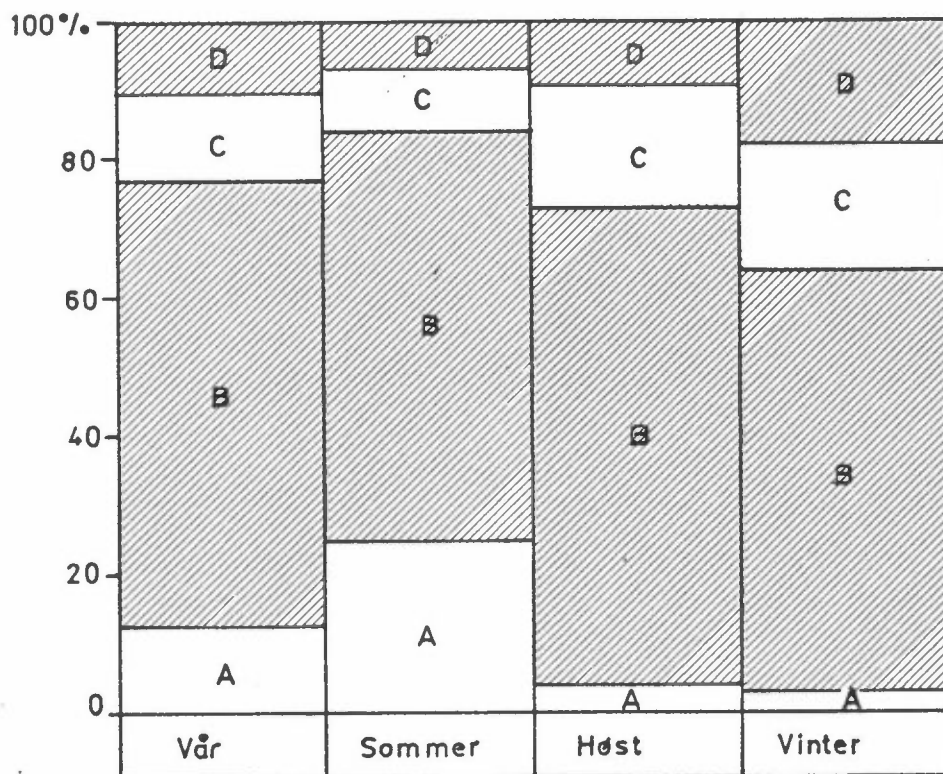
Atmosfærens termiske stabilitet er viktig for spredning av luftforurensninger. Når temperaturen øker med høyden over bakken, er spredningen dårlig.

På Skjold er atmosfærens termiske stabilitet bestemt ved målinger av temperaturdifferansen ( $\Delta T$ ) mellom 36 m.o.b. og 10 m.o.b. På grunnlag av målingene er det delt inn i følgende fire klasser:

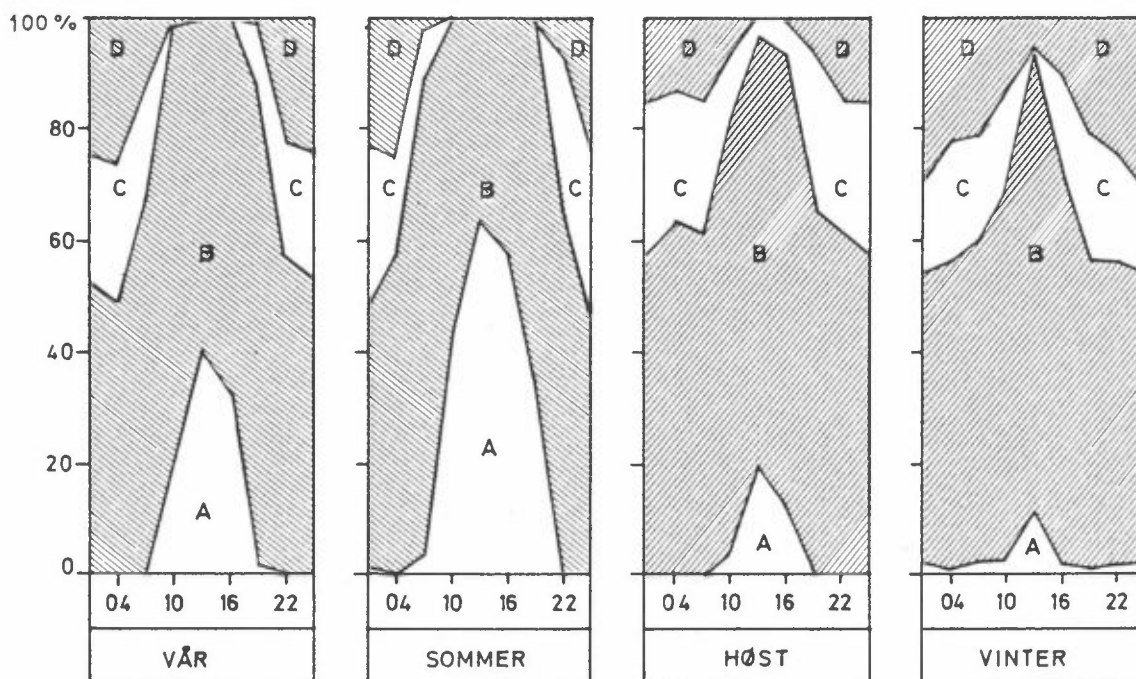
A ustabil	$\Delta T \leq -0.5^{\circ}\text{C}$
B nøytralt	$-0.5^{\circ}\text{C} < \Delta T \leq 0.0^{\circ}\text{C}$
C lett stabilt	$0.0^{\circ}\text{C} < \Delta T \leq 0.5^{\circ}\text{C}$
D stabilt	$0.5^{\circ}\text{C} < \Delta T$

Vanligvis avtar temperaturen litt med høyden, og en har nøytral stabilitet. Ved sterk solstråling oppvarmes bakken mye, og temperaturen avtar raskt med høyden (ustabil). Både nøytralt og særlig ustabil gir god spredning av luftforurensende utslipp. Ved sterk utstråling (vanligvis om natta og om vinteren) avkjøles bakken sterkt og temperaturen øker med høyden (lett stabilt eller stabilt-inversjon). Ved slike forhold undertrykkes spredningen av forurensning. Det dannes et inversjonssjikt nær bakken som forurensende utslipp ikke unslipper.

I figur 15 er det vist frekvensen av de fire stabilitetsklassene til hver årstid på Skjold. Inversjoner (lett stabilt og stabilt) forekom ca 35-40% av tiden om vinteren. Om vinteren kan slike situasjoner vare flere døgn i trekk, og forurensningen kan akkumuleres i sjiktet nærmest bakken. Om sommeren var det også en del inversjoner (se figur 16), men disse forekom hovedsakelig om natta. På dagtid ble inversjonene raskt brutt ned av soloppvarmingen, og spredningen ble god.



Figur 15: Frekvens (%) av fire stabilitetsklasser for hver årstid på Skjold basert på temperaturforskjellen mellom 36 m.o.b. og 10 m.o.b. (A: ustabilt, B: nøytralt, C: lett stabilt og D: stabilt).



Figur 16: Frekvens (%) av fire stabilitetsklasser for hver tredje time midlet for hver årstid på Skjold basert på temperaturforskjellen mellom 36 m.o.b. og 10 m.o.b. (A: ustabilt, B: nøytralt, C: lett stabilt og D: stabilt).

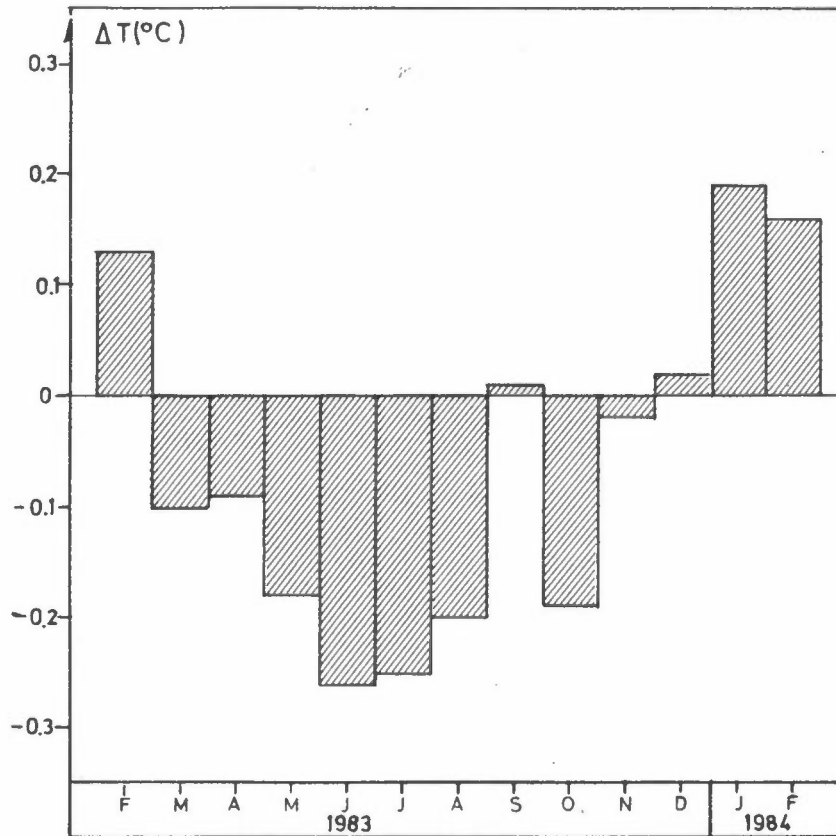
I gjennomsnitt var atmosfærens termiske stabilitet positiv om vinteren (inversjon) og negativ resten av året. De fleste inversjonene ble målt ved svake sørøstlige vinder over Bergen sentrum.

Månedsmiddelverdiene av atmosfærens termiske stabilitet ( $\Delta T$ ) på Skjold (temperaturdifferensen mellom 36 og 10 m.o.b.) viste de største positive verdiene i januar-februar og de største negative verdiene om sommeren (se figur 17). Inversjonene (positiv  $\Delta T$ ) er størst i kalde perioder med lite vind. Dette medfører dårligere spredning av luftforurensninger enn vanlig.

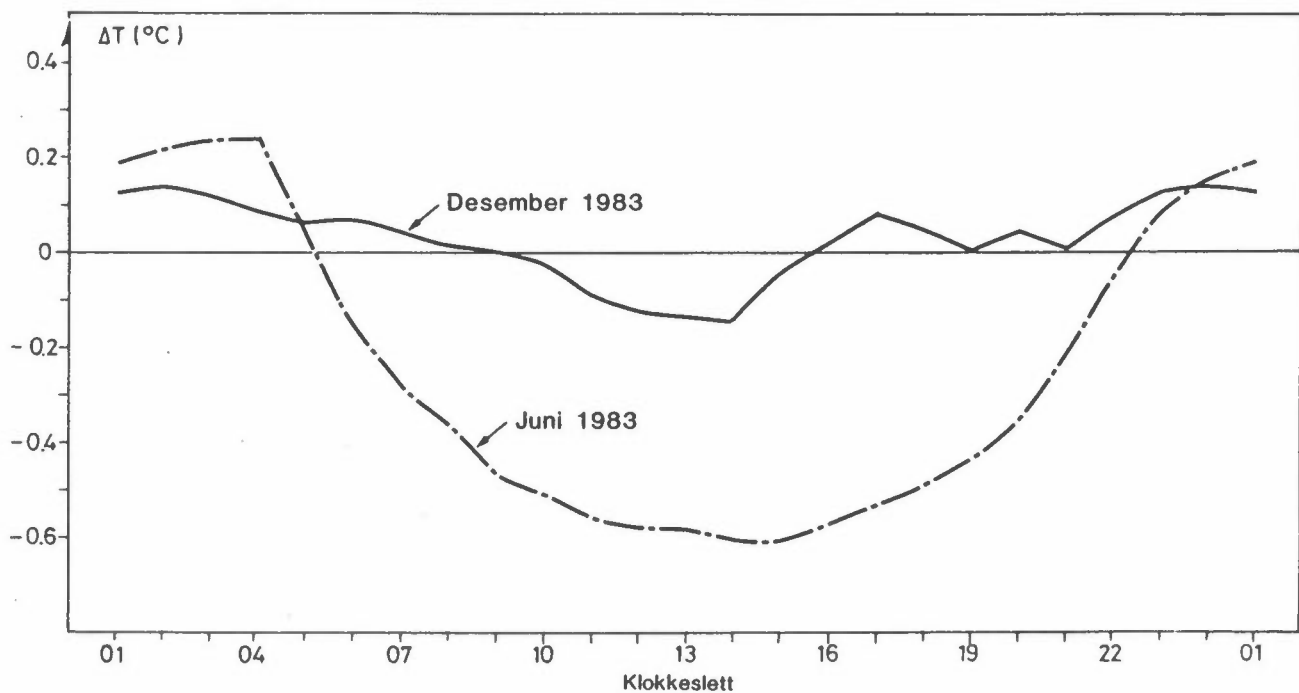
I en vintermåned (eks desember 1983, se figur 18) var det forholdsvis liten døgnlig variasjon i  $\Delta T$  i middel. Om sommeren (eks juni 1983) var det en svak inversjon om natta, som ble raskt brutt ned etter soloppgang. Lufta var mest ustabil ( $\Delta T$  mest negativ) når sola stod høyest på himmelen.

Figur 19 viser at stabil atmosfærisk sjiktning på Skjold var mest fram-tredende om vinteren og våren ved svak vind i sektoren fra nordøst til sørøst. I disse tilfellene blåser det som oftest langs Bergensdalen mot sentrum (sørvest på Storetveit og sørøst i Bergen sentrum).

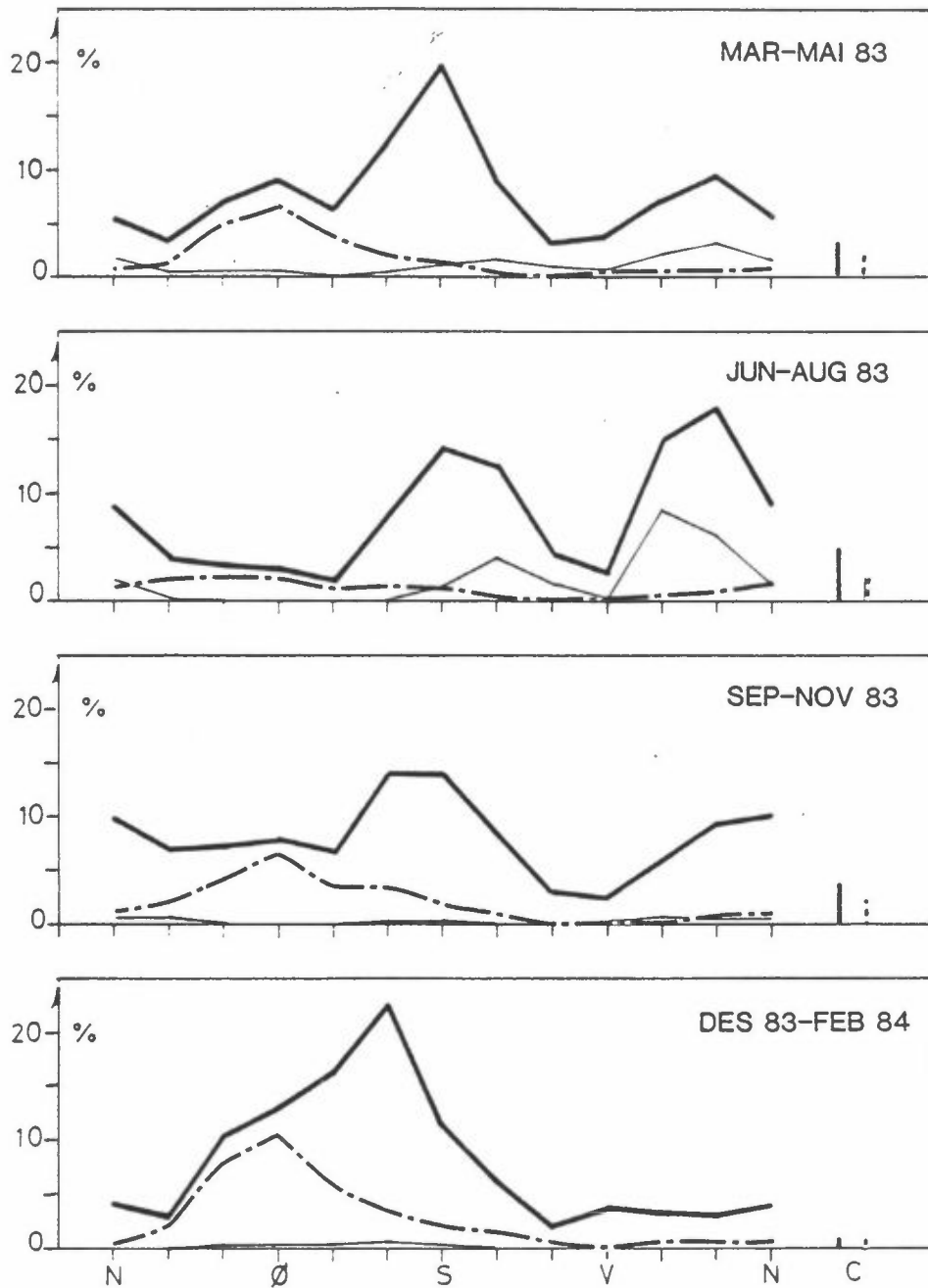
Ustabil sjiktning på Skjold er mest hyppig ved nordvestlig vind om sommeren. Disse situasjonene opptrer oftest om ettermiddagen og skyldes pålandsvind pga land/sjøbriseeffekten.



Figur 17: Månedsmiddeler av atmosfærens termiske stabilitet (temperaturdifferansen mellom 36 og 10 m.o.b.) på Skjold i perioden 1.2.83-29.2.84 (°C).



Figur 18: Midlere døgnvariasjon av atmosfærens termiske stabilitet (temperaturdifferansen mellom 36 og 10 m.o.b.) på Skjold i utvalgte måneder (°C).

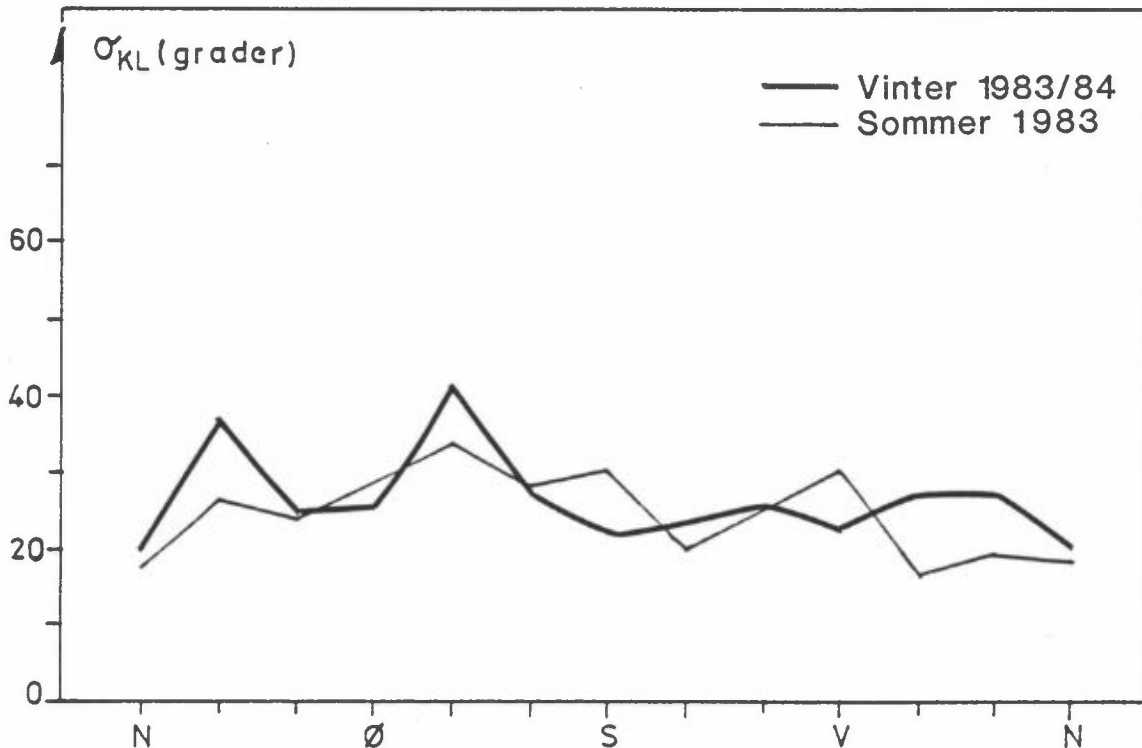


Figur 19: Frekvens av vind (36 m.o.b.) og stabile og ustabile situasjoner som funksjon av vindretningen for hver årstid på Skjold (%).

Standardavviket av den horisontale fluktuasjonen i vindretningen (horisontal turbulens) var oftest mellom 20 og 40 grader.

Standardavviket av den horisontale vindretningsfluktuasjonen (turbulens),  $\sigma_{KL}$ , observert 36 m.o.b. på Skjold er et mål for den horisontale spredningen av luftforurensninger. Figur 20 viser at turbulensen varierte lite med retningen og vanligvis var mellom 20 og 40 grader om vinteren og mellom 15 og 35 grader om sommeren.

Av vel så stor betydning for spredningen av forurensninger er at den horisontale turbulensen særlig om vinteren viste økende verdier med avtakende vindstyrke og økende stabilitet. Lav vindstyrke og sterk stabilitet gir vanligvis høye forurensningskonsentrasjoner. Større horisontal turbulens i disse situasjonene er med på å dempe utslagene noe. Virkningen er imidlertid marginal fordi lav vindhastighet og inversjon medfører at forurensningen likevel bare i liten grad fraktes ut av området. I kalde stabile vintersituasjoner fylles derfor hele Bergensdalen opp med forurensninger.



Figur 20: Horisontal turbulens (grader) (36 m.o.b.) på Skjold som funksjon av vindretningen sommeren 1983 og vinteren 1983/84.



## GRUNNLAGSMATERIALE 2 - MÅLINGER, LUFTKVALITET

Målinger av luftkvalitet under basisundersøkelsen i Bergen ble utført på ialt 15 stasjoner i perioden januar 1983-februar 1984.

Figur 61 (side 147) viser prosjektområdet med målestasjonene innplassert. Målingene har omfattet stoffene svoveldioksid ( $\text{SO}_2$ ), nitrogenoksider ( $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ), karbonmonoksid ( $\text{CO}$ ), svevestøv, sot, bly og polysykliske aromatiske hydrokarboner (PAH) på følgende antall stasjoner:

Komponent	Ant. stasjoner	Komponent	Ant. stasjoner
$\text{NO}$ , $\text{NO}_x$	1	$\text{NO}_2$	8
$\text{SO}_2$	15	$\text{CO}$	1
Sot	15	Svevestøv	5
Bly	15	PAH	2

Konsentrasjonene av disse stoffene i luft er i hovedsak målt som gjennomsnittsverdier over 24 timer. Målestasjonen i Teaterparken ved Den nasjonale scene (hovedstasjonen, DNS) var den mest omfattende utstyrte målestasjon. Der ble det i tillegg utført målinger av  $\text{CO}$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_x$  og  $\text{SO}_2$  med kontinuerlig registrerende instrumenter.

Det ble utført målinger i to vinterperioder (januar-februar 1983 og november-februar 1983-84) og i én sommerperiode (mai-juni 1983). Måleprogrammet er beskrevet i mer detalj i Grunnlagsmateriale 7. Datarapport I og II fra basisundersøkelsen (henholdsvis NILU OR 55/85 og 6/86) gir detaljert beskrivelse av måleresultatene.

Luftkvaliteten er vurdert i hovedsak ut fra forslag til norske grenseverdier utarbeidet av en arbeidsgruppe oppnevnt av SFT (Grunnlagsmateriale 8).

Luftkvaliteten i Bergen bestemmes hovedsakelig av eksosutslipp fra biler og oljeforbrenning. Målingene tyder på at luftkvaliteten totalt sett er noe dårligere i området Kronstad-Minde enn i sentrum (Bergenshalvøya). Den er noe bedre i Sandviken og på Laksevåg enn i sentrum, og blir raskt ytterligere bedre med større avstand fra og høyde over sentrum og Bergensdalen.

Figur 21 viser gjennomsnittlig konsentrasjon av SO<sub>2</sub>, sot, NO<sub>2</sub>, svevestøv og PAH vintrene 1983 og 1983/84 på målestasjoner i ulike deler av Bergen. Hop/Fyllingsdalen representerer boligområder i utkanten av området.

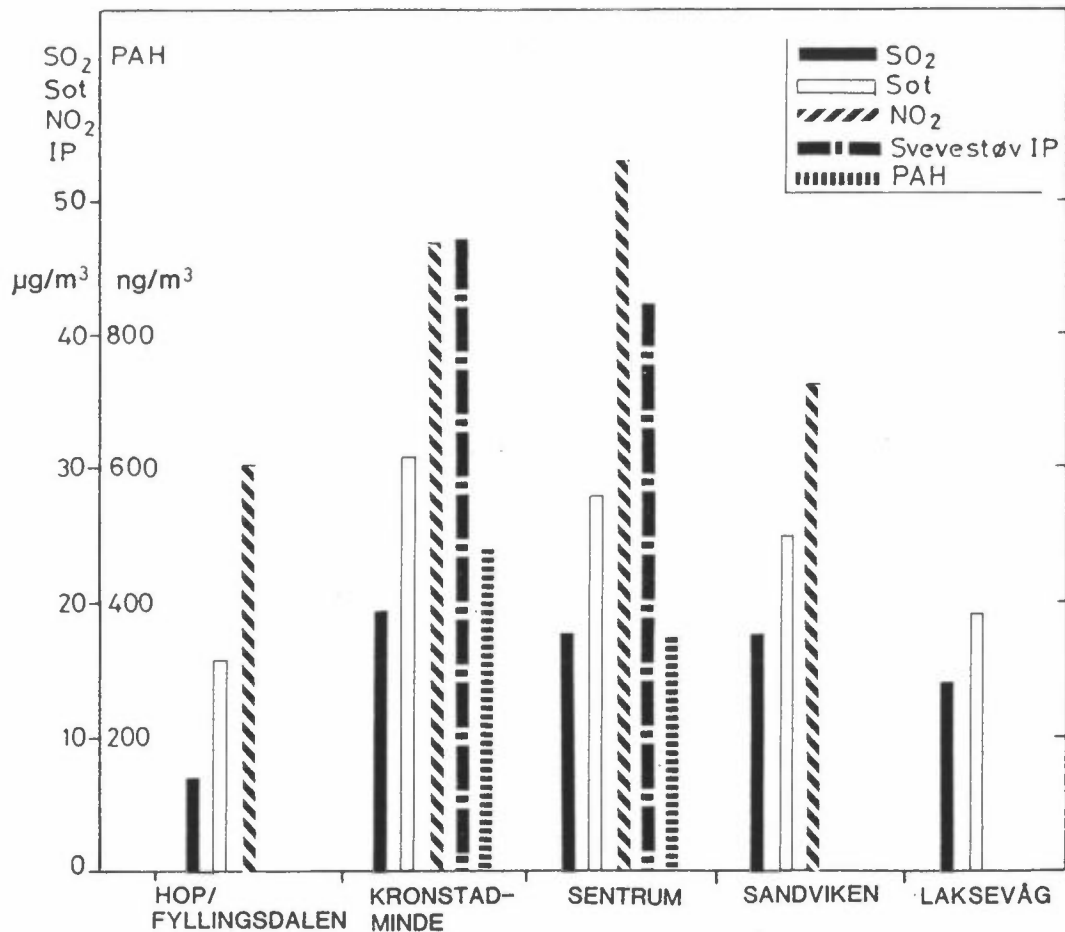
Konsentrasjonen av SO<sub>2</sub>, sot, svevestøv og PAH var høyere i Kronstad-Mindeområdet enn i sentrum (Bergenshalvøya). Forurensningsnivået var lavere på Laksevåg og i Sandviken, og det avtok ytterligere med høyde over og avstand fra sentrum-Kronstad-Minde. Konsentrasjonen av NO<sub>2</sub> var imidlertid høyere i sentrum enn på Minde.

Den relative reduksjonen i NO<sub>2</sub> fra sentrum og utover er ikke like stor som for SO<sub>2</sub> og sot.

Dette bildet av den generelle forurensningsvariasjon over prosjektområdet gjelder områder som ligger mer enn 50 meter fra trafikkerte veier. Langs de sterkeste trafikkerte veiene er det utslippet fra biltrafikken som dominerer luftforurensningen.

Tabell 2: Forurensningsnivå på hovedstasjonen i Teaterparken samt meteorologiske forhold på Florida. Gjennomsnitt for 2-måneders perioder.

Komponent	jan-feb	mai-juni	nov-des	jan-feb
	1983	1983	1983	1984
SO <sub>2</sub> µg/m <sup>3</sup>	17	9	13	24
NO <sub>2</sub> "	52	43	51	66
Sot      "	26	13	25	34
CO      mg/m <sup>3</sup>	1.7	1.1	2.0	2.2
Svevestøv   µg/m <sup>3</sup>	35	23	39	45
Vindhastighet m/s	3.8	3.0	3.6	3.6
Temperatur °C	2.0	ca 11	3.9	0.6



Figur 21: Midlere forurensningsnivå i ulike deler av Bergen, november-februar 1983-84.

Vinteren 1984 var forurensningsnivået en god del høyere enn vinteren 1983. Sommerperioden 1983 hadde med unntak av NO<sub>2</sub> et forurensningsnivå som jevnt over var 40-60% av gjennomsnittsnivået de to vintrene. Klimaforholdene bestemmer i stor grad forurensningen i Bergen.

Tabell 2 gir midlere konsentrasjoner av SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, sot, CO og svevestøv på hovedstasjonen i Teaterparken i de fire to-måneders perioder målingene omfattet.

De midlere forurensningskonsentrasjoner var i januar-februar 1984 for de enkelte komponenter 27-42% høyere enn i januar-februar 1983. Forskjellen var størst for  $\text{SO}_2$  og minst for  $\text{NO}_2$ .

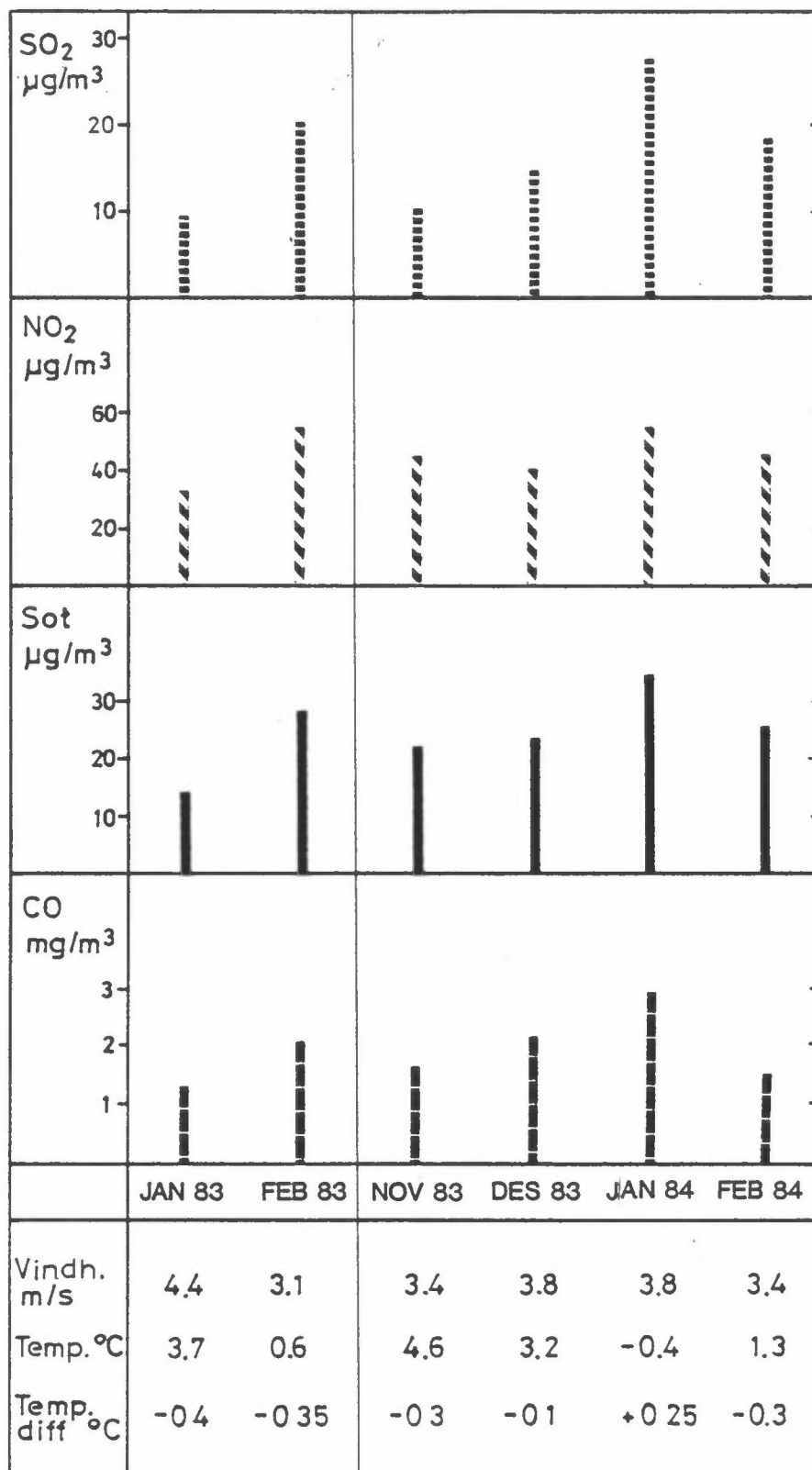
I mai-juni 1983 var midlere forurensningskonsentrasjon av  $\text{SO}_2$ , sot, CO og svevestøv 43-58% av de midlere konsentrasjoner i de to januar-februar-periodene. For  $\text{NO}_2$  var sommerkonsentrasjonen 73% av vinterkonsentrasjonen.

Det er i stor grad variasjonen i de meteorologiske forhold som bestemmer variasjonene i forurensningsnivået. Figur 22 viser månedsmiddelverdier av forurensning og meteorologi for vintermånedene. Vindhastigheten varierte ikke så mye fra måned til måned, bortsett fra i januar 1983, da den var helt oppe i 4.4 m/s i gjennomsnitt.

Temperaturen varierte imidlertid mer. Januar 1983 var mild,  $3.7^{\circ}\text{C}$  i gjennomsnitt på Florida, og vindhastigheten var altså høy. Januar 1984 var i motsetning til dette nokså kald,  $-0.4^{\circ}\text{C}$  i gjennomsnitt. Stabilitetsgraden i det lavere luftlag, som gir et mål for spredningsgraden vertikalt, varierte også mye fra måned til måned. I januar 1984, som altså var kald, var temperaturdifferansen 41-2 m.o.b. på Florida  $+0.25^{\circ}\text{C}$ . Dette indikerer at det i gjennomsnitt for hele måneden var stabil luftsjuktning i dette området, og derved dårlig spredningsgrad vertikalt. I de øvrige måneder var det i gjennomsnitt nær nøytral sjuktning og bedre spredningsgrad.

Samlet ga dette et midlere forurensningsnivå i januar 1984 som for  $\text{SO}_2$ , sot og CO var 2-3 ganger høyere enn i januar 1983.

Variasjonene i konsentrasjonen av  $\text{NO}_2$  var ikke så stor som for de øvrige stoffer. Det gjelder variasjoner både i rom og tid. Det skyldes at  $\text{NO}_2$  i stor grad er en sekundær forurensningskomponent som dannes ved oksidasjon av NO, som utgjør hovedmengden av  $\text{NO}_x$ -utslippet.



Figur 22: Månedsverdier av forurensning (sentrum-Kronstad-Minde) og meteorologiske forhold (Florida) i vintermånedene 1983 og 1984.

Det gjennomsnittlige forurensningsnivå om vinteren var lavere enn foreslåtte grenseverdier for luftkvalitet.

Tabell 3 gir en oversikt over vintermiddelverdier (middelverdi for oktobermars) av  $\text{SO}_2$ , sot og  $\text{NO}_2$ . Tabellen viser at  $\text{SO}_2$ -nivået var lavere enn halvparten av nedre grenseverdi, mens sot-nivået i deler av sentrum og Kronstad-Minde var noe høyere enn halvparten av nedre grenseverdi.  $\text{NO}_2$ -nivået var i deler av sentrum opp mot ca 75% av grenseverdien.

Vintre med høyere forurensningsnivå enn det en hadde vintrene 1982-83 og 1983-84 vil forekomme.  $\text{SO}_2$ - og sot-forurensningen vil med nåværende utslippsmengder ikke kunne komme opp mot grenseverdien, mens  $\text{NO}_2$ -nivået kan komme helt opp i mot grenseverdien.

Tabell 3: Estimerte vintermiddelverdier av  $\text{SO}_2$ , sot og  $\text{NO}_2$  i Bergen 1982-83 og 1983-84.

Område i Bergen	Vintermiddelverdi, $\mu\text{g}/\text{m}^3$		
	$\text{SO}_2$	Sot	$\text{NO}_2$
Sentrum/ Kronstad/Minde	$\leq 16$	$\leq 25$	$\leq 58$
Sandviken/Laksevåg	$\leq 14$	$\leq 21$	$\leq 36$
Hop/Fyllingsdalen	$\leq 7$	$\leq 15$	$\leq 30$
Foreslått grenseverdi	40-60	40-60	75

Grenseverdier for 1-24 timers middelve­rdi for SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, sot og CO ble overskredet i Bergen. Overskridelsene skjedde på målestasjoner i sentrum og i Kronstad-Minde-området, og var knyttet til tre kortere perioder med svak vind, klarvær og bakkeinversjon. Overskridelsene var størst for NO<sub>2</sub> og sot, og var mer omfattende vinteren 1984 enn vinteren 1983.

Tabellene 4-7 gir oversikt over omfanget av overskridelser av grenseverdier for SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, sot og CO.

Nedre grenseverdi for SO<sub>2</sub> (døgnmiddelve­rdi) ble overskredet på 1-2 dager vinteren 1983-84 på stasjonene Teaterparken (DNS), Rådhuset, CMI og Minde. Høyeste målte døgnmiddelve­rdi var 114 µg/m<sup>3</sup>, målt på Minde. Øvre grenseverdi på 150 µg/m<sup>3</sup> ble derved ikke overskredet.

For NO<sub>2</sub> ble nedre grenseverdi (døgnmiddelve­rdi) overskredet opptil 4 dager vinteren 1983 på DNS og Rådhuset, og opptil 7 dager vinteren 1983-84 på stasjonene Sandviken, DNS, Rådhuset, CMI og Minde. Øvre grenseverdi ble også overskredet vinteren 1983-84 på stasjonene DNS, Rådhuset og Minde. Høyeste målte døgnmiddelve­rdi, 188 µg/m<sup>3</sup>, var 88% høyere enn nedre grenseverdi og 25% høyere enn øvre grenseverdi.

I Teaterparken (stasjon DNS) ble NO<sub>2</sub>-konsentrasjonen registrert kontinuerlig. Nedre grenseverdi for timesmiddel av NO<sub>2</sub> ble overskredet der i et antall tilfeller begge vintre, og øvre grenseverdi ble overskredet i 3 timer den 25. januar 1984.

For sot ble nedre grenseverdi (døgnmiddelve­rdi) overskredet i omtrent samme omfang som tilfellet var for NO<sub>2</sub>. Vinteren 1983 ble den overskredet 1-2 dager på CMI, Kronstad og Minde, og vinteren 1983-84 på 3-7 dager på DNS, Rådhuset, CMI, Kronstad, Minde og Landås. Øvre grenseverdi ble overskredet den siste vinteren på CMI og Minde. Høyeste målte døgnmiddel, 175 µg/m<sup>3</sup> på Minde, var 75% høyere enn nedre grenseverdi og 17% høyere enn øvre grenseverdi.

CO ble målt med kontinuerlig registrerende instrument i Teaterparken (DNS). Grenseverdien for 8-timers middelve­rdi ble overskredet på 5 dager i løpet av vinteren 1983-84. Høyeste målte verdi, 14 mg/m<sup>3</sup>, lå 40% høyere enn grenseverdien. Grenseverdien for 1-times middelve­rdi ble ikke overskredet på DNS.

Nær sterkt trafikkerte veier overskrides grenseverdier for CO og NO<sub>2</sub>. Det ble ikke utført målinger nær veier. Forurensningsnivået langs veinettet i Bergen er imidlertid beregnet (se Datarapport II (NILU OR 6/86)). Ifølge beregningene overskrides 8-timers grenseverdien for CO langs tilsammen 35-40 km veistrekning i Bergen.

For svevestøv har en ikke norske grenseverdier. I tabell 8 er svevestøvforurensningen (inhalerbar partikkelfraksjon, IP, partikler <10 µm i diameter) sammenholdt med et amerikansk forslag til luftkvalitetsnorm for IP. Nedre grenseverdi (150 µg/m<sup>3</sup>) ble overskredet vinteren 1983-84 på 3 døgn på DNS og ett døgn på Minde. Høyeste målte verdier lå opp mot øvre grenseverdi på 250 µg/m<sup>3</sup>.

Tabell 9 gir forhold mellom de høyeste målte konsentrasjoner og grenseverdiene for SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, sot, bly og CO på hver stasjon.



Tabell 4: SO<sub>2</sub>. Høyeste målte døgnverdier og overskridelser av nedre og øvre grenseverdi for døgnmiddelverdi (100-150 µg/m<sup>3</sup>).

Periode	Jan-feb 1983		Nov 1983-feb 1984	
	Maks. verdi µg/m <sup>3</sup>	Antall over- skridelser Nedre Øvre	Maks. verdi µg/m <sup>3</sup>	Antall over- skridelser Nedre Øvre
Sandviken	54		75	
Laksevåg	36		63	
DNS	55		103	1
Rådhuset	65		108	1
CMI	49		111	1
Kronstad	56		91	
Minde	49		114	2
Fjellien	38		-	
Skansemyren	31		-	
Landås	36		56	
Hop	47		24	
Fyllingsdalen	-		22	
Ravneberget	27		27	

Tabell 5: NO<sub>2</sub>. Høyeste målte konsentrasjoner og overskridelser av nedre og øvre grenseverdier.

DØGNMIDDELVERDIER (GRENSEVERDI: 100-150 µg/m <sup>3</sup> )						
Periode	Jan-feb 1983			Nov 1983-feb 1984		
Stasjon	Maks. verdi µg/m <sup>3</sup>	Antall over- skridelser		Maks. verdi µg/m <sup>3</sup>	Antall over- skridelser	
		Nedre	Øvre		Nedre	Øvre
Sandviken	76			104	1	
DNS	104	1		184	4*	1
Rådhuset	122	4		152	4	1
CMI	92			129	2	
Minde	94			188	7	3
Skansemyren	24			-		
Hop	74			96		
TIMESMIDDELVERDI (GRENSEVERDI: 200-350 µg/m <sup>3</sup> )						
DNS	230	3 timer i løpet av 3 dager	0	640	20 timer i løpet av 5 dager	3 timer i løpet 1 dag

\* Data mangler for en 2-ukers periode i januar, da forurensningen var høy.

Tabell 6: Sot. Høyeste målte døgnverdier og overskridelser av nedre og øvre grenseverdi for døgnmiddelverdier ( $100-150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

Periode	Jan-feb 1983		Nov 1983-feb 1984	
Stasjon	Maks. verdi $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Antall overskridelser Nedre Øvre	Maks. verdi $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Antall overskridelser Nedre Øvre
Sandviken	79		79	
Laksevåg	45		61	
DNS	79		129	3
Rådhuset	78		136	3
CMI	123	2	168	6 2
Kronstad	112	2	133	6
Minde	113	1	175	7 2
Fjellien	39		-	
Skansemyren	28		-	
Landås	81		115	3
Hop	55		66	
Fyllingsdalen	-		62	
Ravneberget	52		21	

Tabell 7: CO, stasjon DNS. Høyeste målte konsentrasjoner og overskridelser av grenseverdier.

Periode	Jan-feb 1983		Nov 1983-feb 1984	
Stasjon	Maks. verdi mg/m <sup>3</sup>	Antall over- skridelser	Maks. verdi mg/m <sup>3</sup>	Antall over- skridelser (dager)
1-times middel- verdi (Grenseverdi: 25 mg/m <sup>3</sup> )	9.7		23	
8-timers middel- verdi (Grenseverdi: 10 mg/m <sup>3</sup> )	6.0		14	5

Tabell 8: Svevestøv (inhalerbar partikkelfraksjon, diameter <10 µm). Maksimale døgnverdier og overskridelser av nedre og øvre grenseverdi for døgnmiddelverdier (amerikansk forslag til luftkvalitetsnorm), 150-250 µg/m<sup>3</sup>.

Periode	Jan-feb 1983		Nov 1983-feb 1984	
Stasjon	Maks. verdi µg/m <sup>3</sup>	Antall over- skridelser Nedre Øvre	Maks. verdi µg/m <sup>3</sup>	Antall over- skridelser Nedre Øvre
DNS	41		228	3
Minde	69		239	1

Tabell 9: Forholdet mellom høyeste målte verdier av SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, sot, bly og CO og deres grenseverdier:

SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, sot: Nedre grenseverdi

Bly : Tysk grenseverdi for døgn: 3.0 µg/m<sup>3</sup>

Stasjon	SO <sub>2</sub> døgn	NO <sub>2</sub> døgn	NO <sub>2</sub> time	Sot døgn	Bly døgn	CO 8 timer
Sandviken	0.75	1.04		0.79	0.16	
Laksevåg	0.63			0.61	0.12	
DNS	1.03	1.84	3.2	1.29	0.24	1.40
Rådhuset	1.08	1.52		1.36	0.21	
CMI	1.11	1.29		1.68	0.28	
Kronstad	0.91			1.33	0.17	
Minde	1.14	1.88		1.75	0.45	
Fjellien	0.38			0.39		
Skansemyren	0.31	0.24		0.28		
Landås	0.56			1.15	0.31	
Hop	0.47	0.96		0.66	0.14	
Fyllingsdalen	0.22			0.62	0.22	
Ravneberget	0.27			0.21	0.04	

Ved 4 av 13 målesteder ble mengden luftforurensning klassifisert som "mye", på grunn av NO<sub>2</sub>- og sotforurensningen. Det var "middels" og "lite" luftforurensning ved henholdsvis 3 og 6 stasjoner.

Ut fra grenseverdier for luftforurensning har NILU utarbeidet en klassifisering i kategoriene "lite", "middels" og "mye" luftforurensning (Grunnlagsmateriale 8). I tabell 10 er måleverdiene klassifisert i disse kategoriene for hver måleperiode.

Stasjonene med "lite" forurensning er Laksevåg, de høyereliggende stasjoner Fjellien, Skansemyren og Ravneberget, samt Hop og Fyllingsdalen. Sandviken, Kronstad og Landås ble klassifisert som "middels" forurenset.

DNS, Rådhuset, CMI og Minde ble klassifisert som "mye" forurenset vinteren 1983-84. 3 av disse 4 har kategorien "mye" for NO<sub>2</sub>, og 2 har "mye" sot. I vinterperioden 1983, som var mild og hadde gode spredningsforhold, ble ingen stasjoner klassifisert i kategorien "mye" luftforurensning.

Konsentrasjonen av SO<sub>2</sub> og sot i Bergen har gått ned siden begynnelsen av 1970-årene på alle de tre faste målestasjonene i Bergen. Blykonsentrasjonen har også gått ned siden 1977, da blymålingene begynte.

SO<sub>2</sub> og sot er målt på stasjonene CMI, Kronstad og Ravneberget siden 1970, mens bly er målt på CMI siden 1977 og i tillegg på Kronstad i perioden 1977-82. Et sammendrag av disse målingene er vist i figurene 23-25 for henholdsvis SO<sub>2</sub>, sot og bly.

Vintermiddelkonsentrasjonen av SO<sub>2</sub> på CMI og Kronstad er redusert til ca en tredjedel siden 1970-71. De høyeste døgnmiddelverdier som i 1970-72 kunne gå opp mot 250 µg/m<sup>3</sup> kommer nå sjelden høyere enn 100 µg/m<sup>3</sup>.

Tabell 10: Klassifisering av luftforurensning (virkningskategori helse) for hver måleperiode.

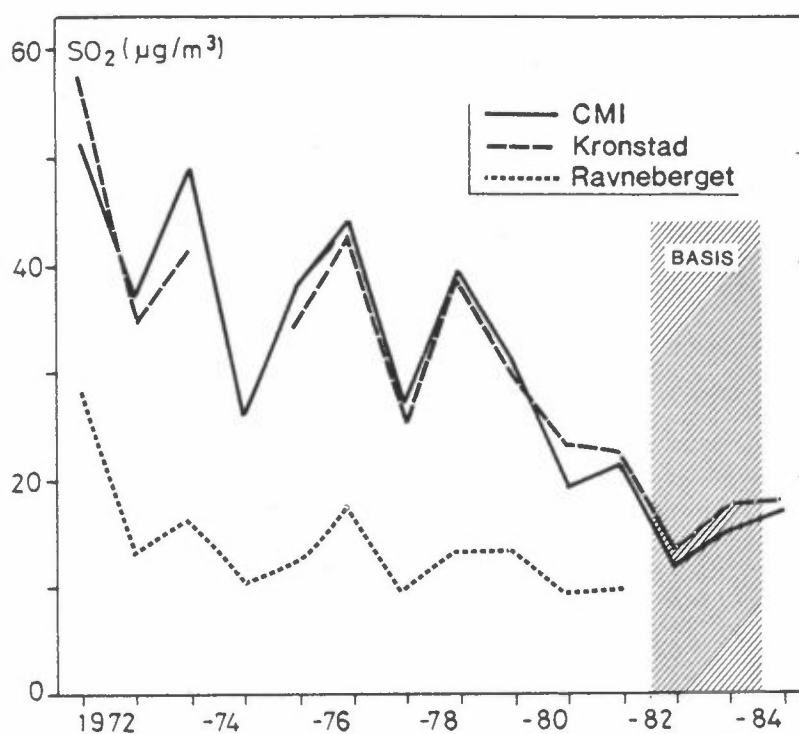
- 1 = "lite" luftforurensning  
 2 = "middels" luftforurensning  
 3 = "mye" luftforurensning

Stasjon	Komponent	Jan-feb 1983 vinter	Mai-juni 1983 vår/sommer	Nov 1983-feb 1984 vinter
Sandviken	SO <sub>2</sub>	1		1
	NO <sub>2</sub>	1		2
	So <sub>t</sub>	1		1
Laksevåg	SO <sub>2</sub>	1		1
	So <sub>t</sub>	1		1
DNS	SO <sub>2</sub>	1	1	2
	NO <sub>2</sub>	2	1	3
	So <sub>t</sub>	1	1	2
	CO	1	1	2
Rådhuset	SO <sub>2</sub>	1		2
	NO <sub>2</sub>	2		3
	So <sub>t</sub>	1		2
CMI	SO <sub>2</sub>	1		2
	NO <sub>2</sub>	1		2
	So <sub>t</sub>	2		3
Kronstad	SO <sub>2</sub>	1		1
	So <sub>t</sub>	2		2
Minde	SO <sub>2</sub>	1		2
	NO <sub>2</sub>	1		3
	So <sub>t</sub>	2		3
Landås	SO <sub>2</sub>	1		1
	So <sub>t</sub>	1		2
Fjellien	SO <sub>2</sub>	1		1
	So <sub>t</sub>	1		1
Skansemyren	SO <sub>2</sub>	1		1
	NO <sub>2</sub>	1		1
	So <sub>t</sub>	1		
Hop	SO <sub>2</sub>	1	1	1
	NO <sub>2</sub>	1		1
	So <sub>t</sub>	1	1	1
Fyllingsdalen	SO <sub>2</sub>	1		1
	So <sub>t</sub>	1		1
Ravneberget	SO <sub>2</sub>	1		1
	So <sub>t</sub>	1		1

På Ravneberget ble  $\text{SO}_2$ -nivået sterkt redusert fra 1971 til 1973 og har siden vært lavt, med en ytterligere reduksjon fram til i dag. Utslippet i skorsteinen fra fyringsanlegget på Haukeland sykehus som ble satt i drift i årsskiftet 1978-79, synes ikke å ha påvirket luftkvaliteten på Ravneberget.

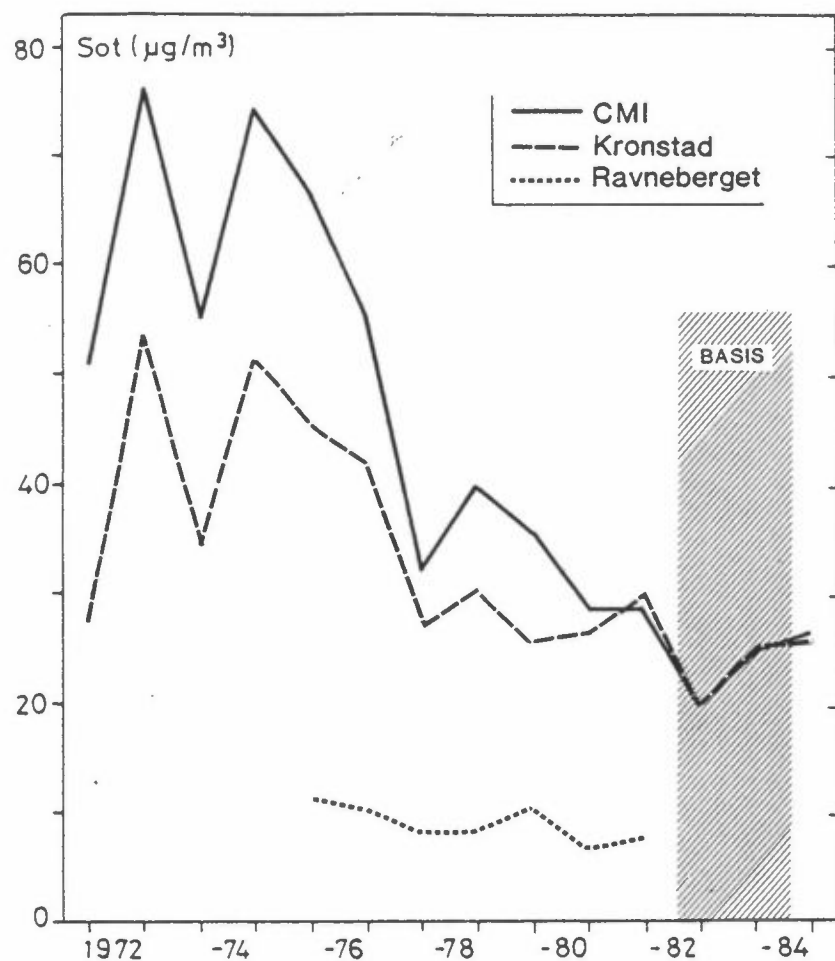
For sot har vintermiddelverdien på CMI og Kronstad blitt redusert til ca halvparten siden 1970-71. De maksimale døgnverdier som i begynnelsen av 1970-årene kunne bli  $500 \mu\text{g}/\text{m}^3$  og høyere, overskrider nå sjelden  $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Reduksjonen i gjennomsnittlig sotnivå er mindre enn  $\text{SO}_2$ -reduksjonen, fordi utslippene fra trafikken ikke er redusert like mye som oljeforbruket og dermed  $\text{SO}_2$ -utslippet fra oppfyring. Et unntak er bly-utslippet fra biltrafikken, som er redusert med ca 60% siden 1980.

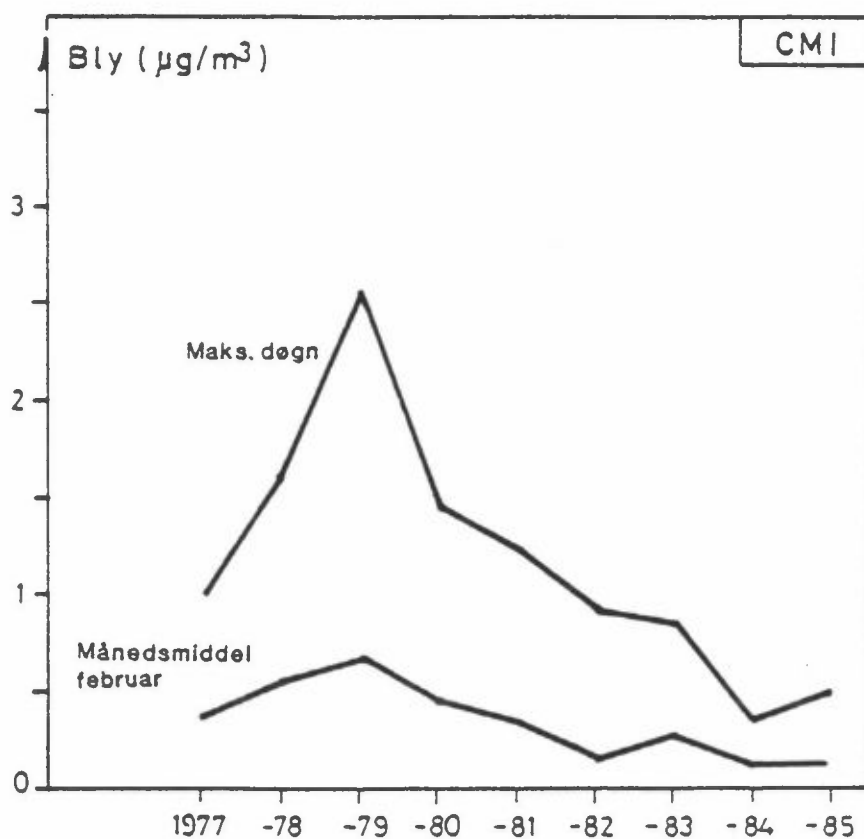


Figur 23: Vinterhalvårsmiddelverdier av  $\text{SO}_2$  i perioden 1971-85.





Figur 24: Vinterhalvårsmiddelerverdier av sot i perioden 1971-85.



Figur 25: Månedsmiddelerverdier for bly i februar måned i perioden 1977-85.

Forurensningen av svoveldioksid ( $SO_2$ ) var i gjennomsnitt noe høyere i Kronstad-Minde-området enn i sentrum (Bergenshalvøya). Døgnverdiene kunne bli omtrent like høye i begge områdene. Sandviken og Laksevåg hadde lavere  $SO_2$ -nivå enn sentrum. I områder høyere enn ca 100 m o.h. og i Fyllingsdalen og Nesttun var  $SO_2$ -nivået lavt.

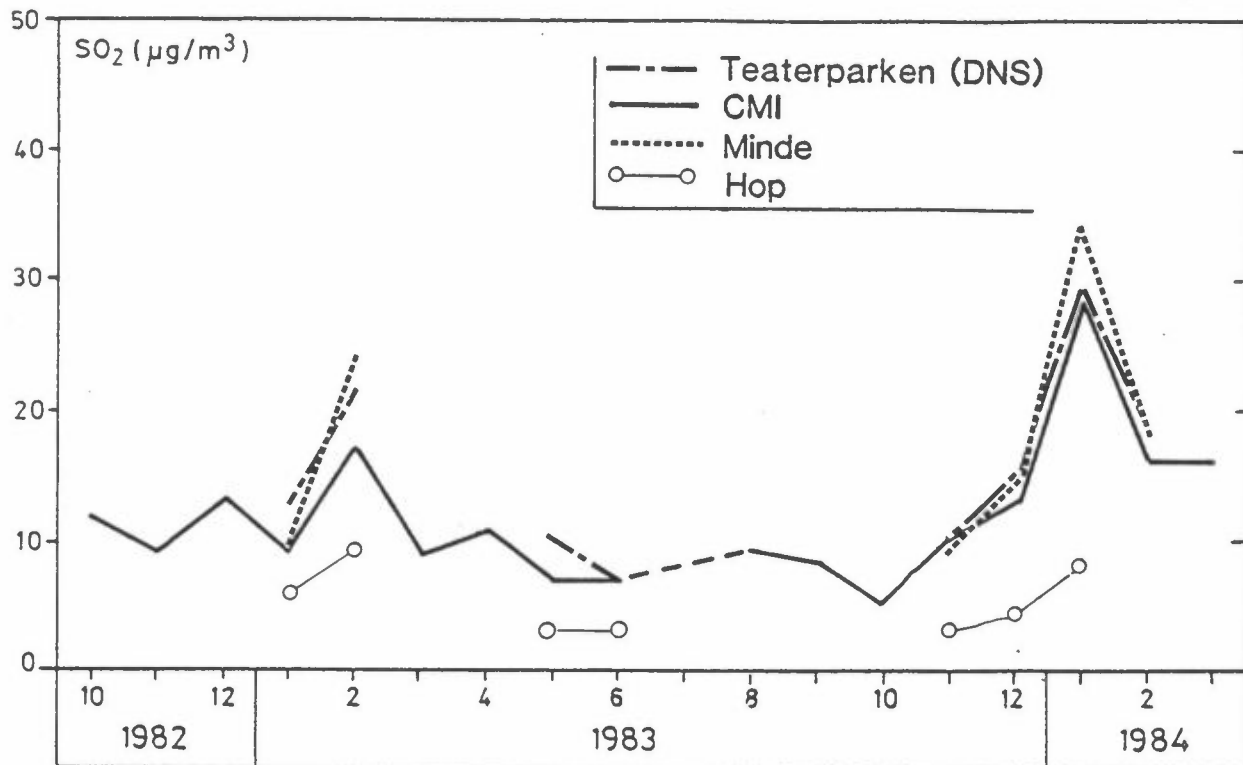
Figur 26 viser månedsmiddelverdier av  $SO_2$  på noen utvalgte stasjoner. På alle stasjoner (bortsett fra Hop på Nesttun) var  $SO_2$ -forurensningen størst i januar 1984. Stasjonene følger hverandre godt. Alle målestasjoner påvirkes i hovedsak av  $SO_2$ -utslipp fra en rekke små kilder som påvirkes på samme måte av endringer i temperatur og spredningsforhold.

Figur 28 viser gjennomsnittlig  $SO_2$ -nivå vinteren 1983-84. På Fjellien og Skansemyren er nivået estimert, basert på målinger vinteren 1983 og sammenligning med andre stasjoner.  $SO_2$ -nivået var høyest på Kronstad-Minde, og suksessivt lavere i sentrum, Sandviken/CMI, Laksevåg, Fjellien, Landås, og lavest i Fyllingsdalen, på Hop, Skansemyren og Ravneberget. En nærmer seg her bakgrunnsnivået for  $SO_2$  i Hordaland.

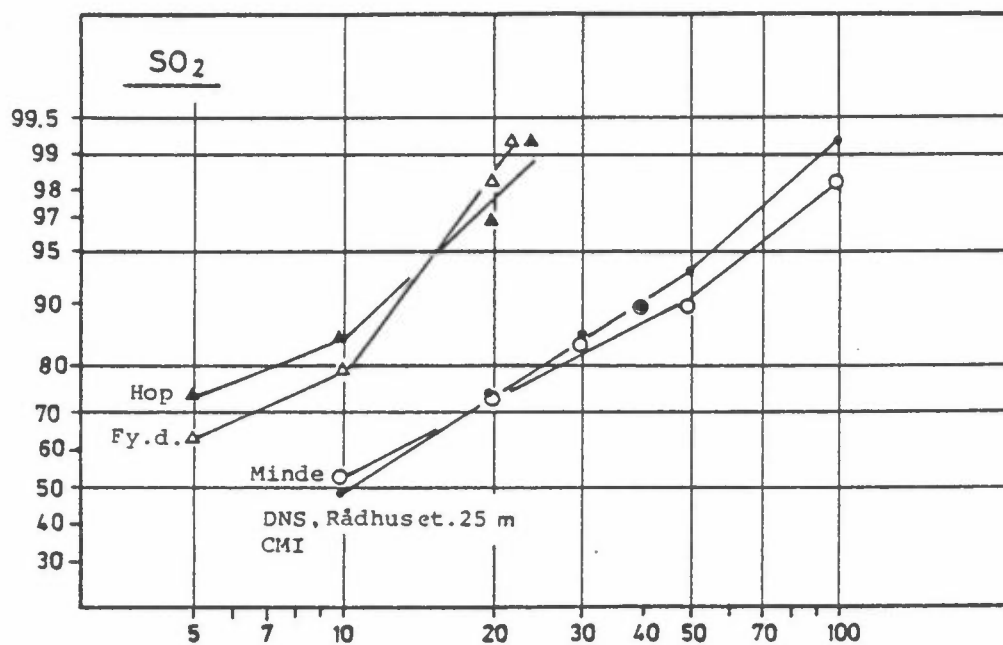
De høyeste døgnverdiene i området fra sentrum til Kronstad-Minde var ca  $110 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . I Sandviken og Laksevåg kunne døgnverdiene bli  $70-80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , og på Hop og i Fyllingsdalen kunne de bli opp til  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Figur 27 viser kumulativ frekvensfordeling av døgnverdier for en del stasjoner vinteren 1983-84. I sentrum var døgnverdiene nær logaritmisk normalfordelte (rett linje i diagrammet) med geometrisk standardavvik  $\sigma_g \approx 3$ .

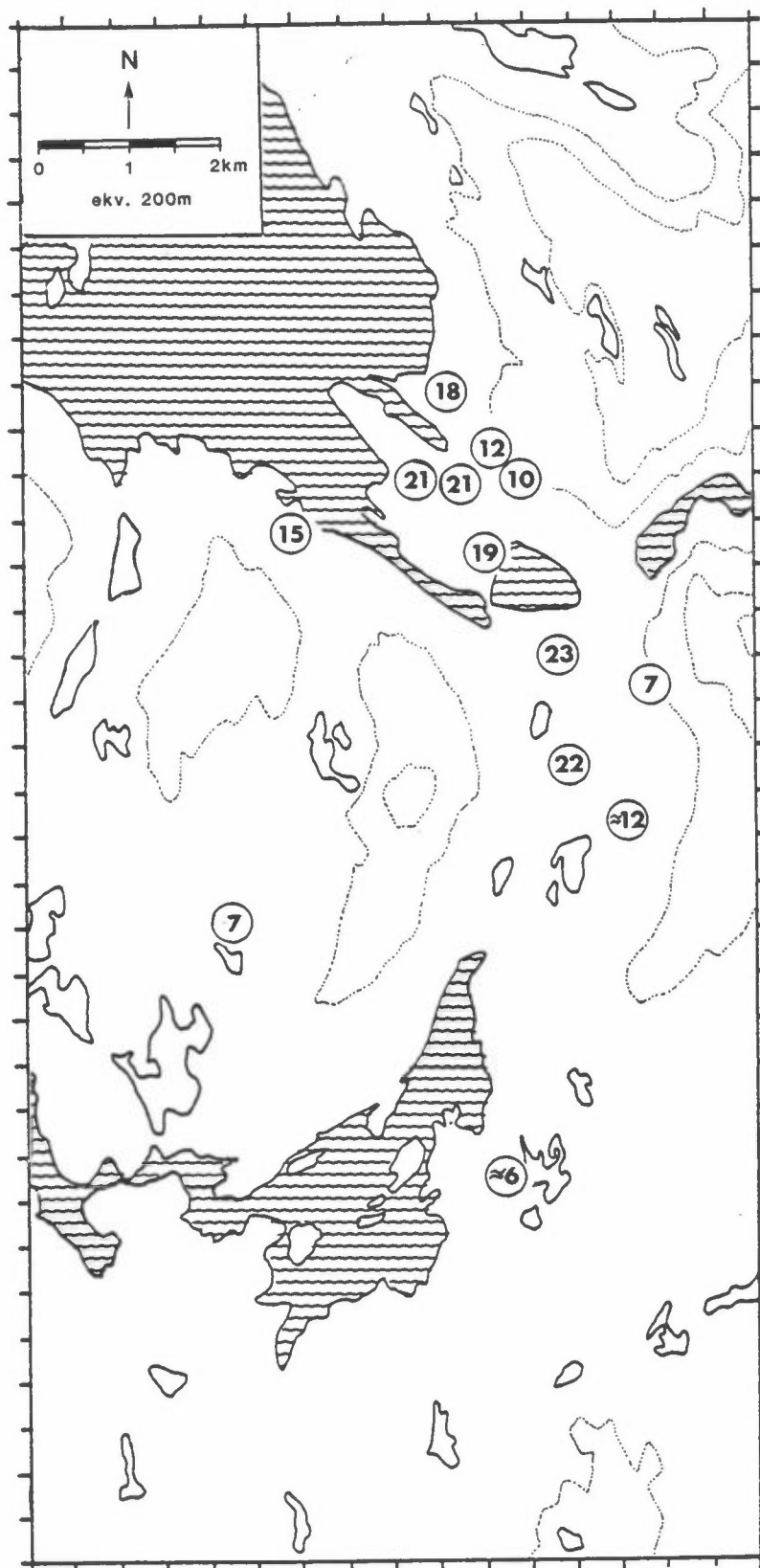
I figur 29 er månedsverdier av  $SO_2$  normalisert med vindstyrken ( $SO_2/V_m$ ) plottet mot månedens middeltemperatur. Figuren antyder for det første økningen i  $SO_2$ -utslippet når temperaturen avtar, og for det andre at  $SO_2$ -utslippet i Bergen har avtatt siden vinteren 1976-77.



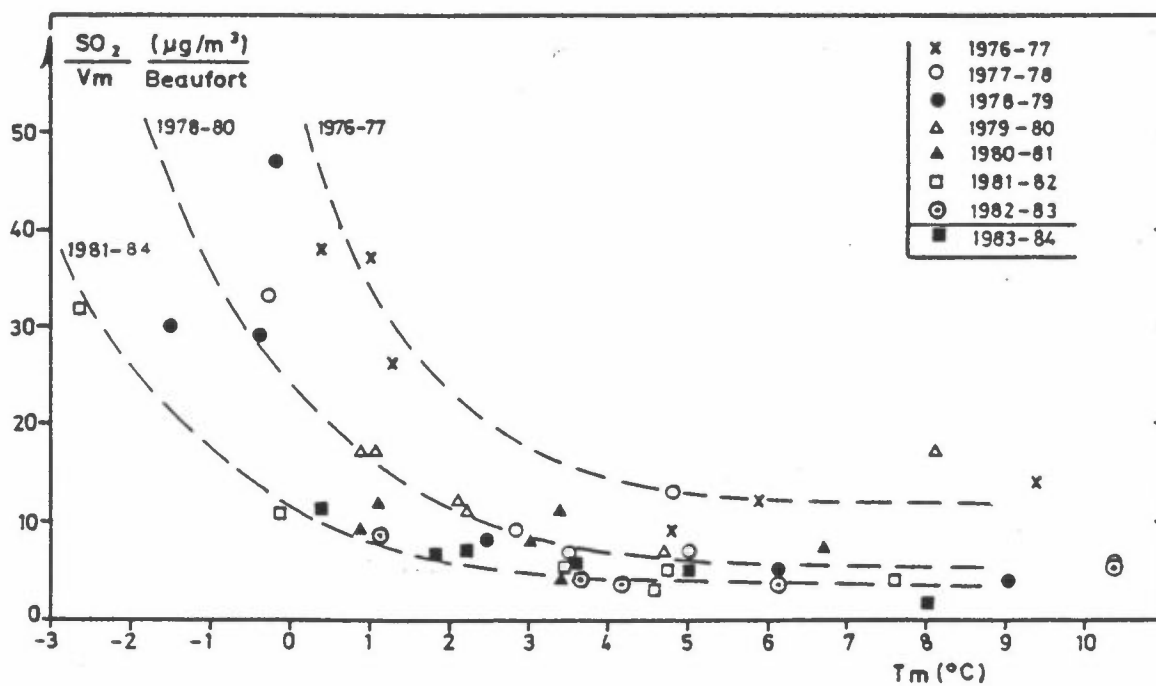
Figur 26: Månedsmiddeler av SO<sub>2</sub> på utvalgte målestasjoner i perioden oktober 1982 - mars 1984.<sup>2</sup>



Figur 27: Kumulativ frekvensfordeling av døgnmiddeler av SO<sub>2</sub> for perioden november-februar 1983-84.



Figur 28: SO<sub>2</sub>. Middelverdier (µg/m<sup>3</sup>) for perioden desember-februar 1983-84. Verdiene for Fjellien og Skansemyren er estimert.



Figur 29:  $SO_2$ -nivået (månedsmiddelerverdier) på CMI normalisert med hensyn på vindstyrke ( $SO_2/V_m$ ) plottet som funksjon av månedsmidlere temperatur (Florida).

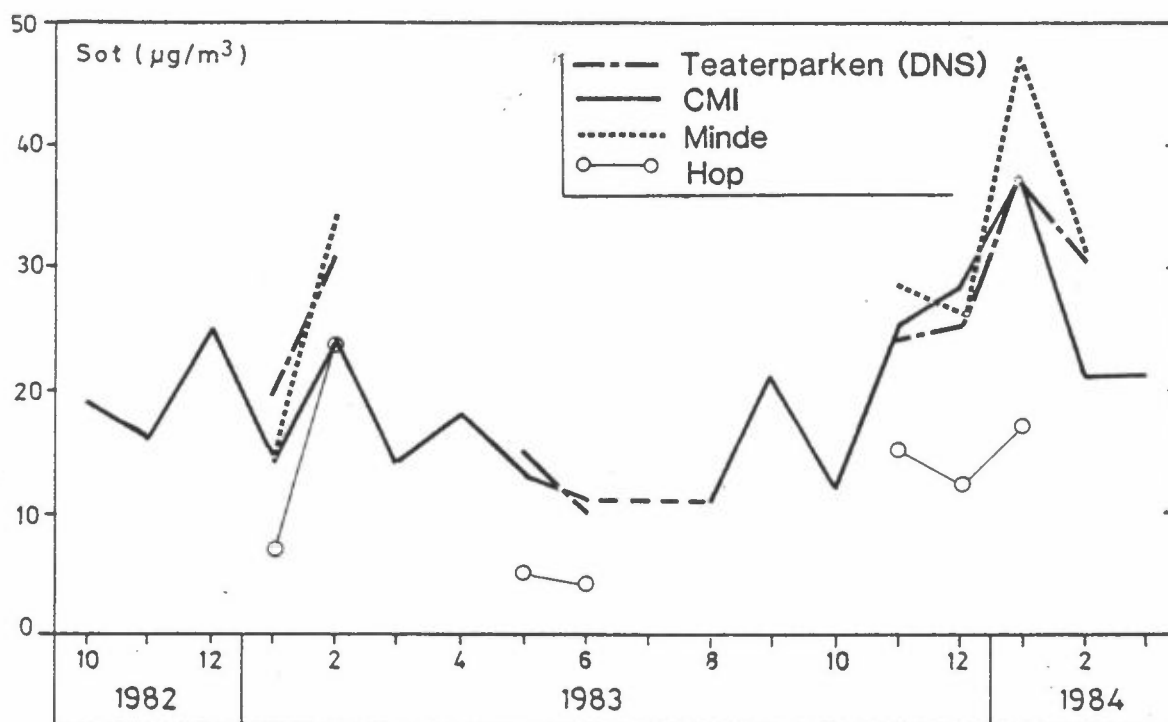
Hovedkilden til sot er dieselaygasser og utslipp fra større fyringsanlegg. Sotforurensningen påvirkes derfor av stasjonens nærhet til sterkt trafikkerte veier. Høyest sotforurensning ble målt på Minde. Forholdet mellom stasjoner i sentrum og i utkantene var mindre enn for SO<sub>2</sub>.

Figur 30 viser månedsmiddelverdier av sot på en del utvalgte stasjoner. Som for SO<sub>2</sub> var sot-nivået høyest i januar 1984, og stasjonene følger hverandre godt.

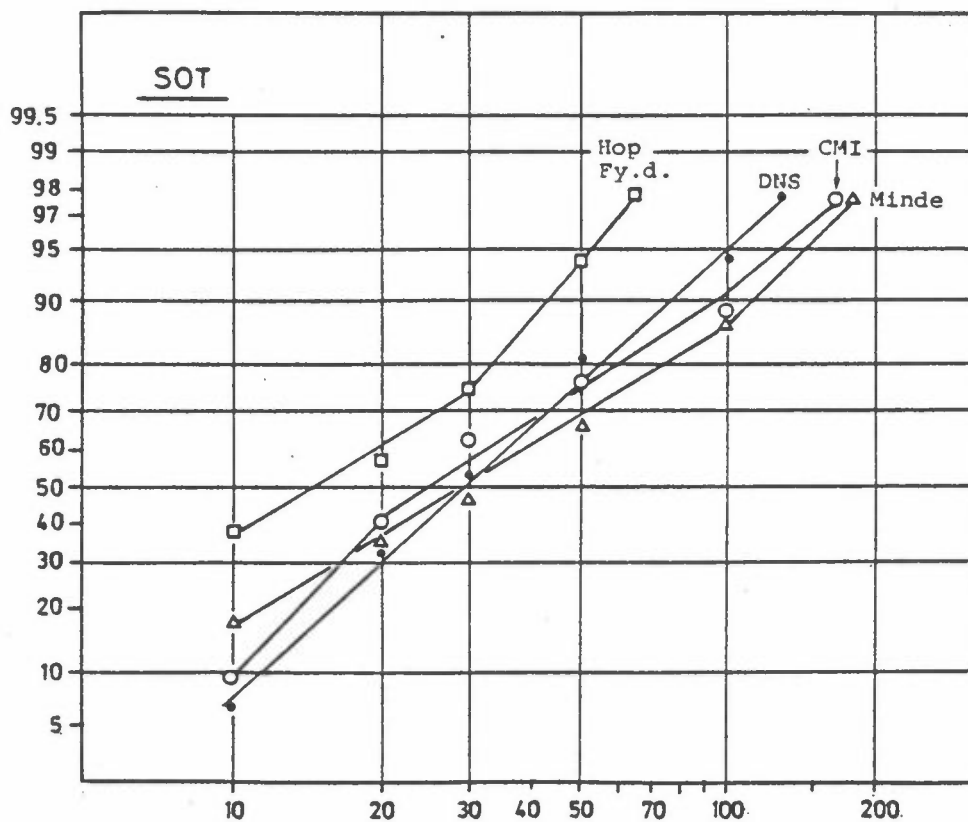
Figur 32 viser gjennomsnittlig sot-nivå vinteren 1983-84. På Rådhuset er det verdiene 5 meter over bakken som er satt inn. På Fjellien og Skansemyren er nivået estimert, basert på målingene vinteren 1983 og sammenligning med andre stasjoner. Minde hadde høyest nivå. Denne stasjonen ligger ca 60 meter fra E68 (Inndalsveien) med årsdøgntrafikk ca 20.000. Kronstad, CMI og sentrum hadde omtrent samme sotnivå, noe lavere enn Minde. Også CMI påvirkes av E68. På Sandviken og Laksevåg var sot-nivået noe lavere enn i sentrum. Sotnivået i Fyllingsdalen og på Hop var ca 50% av nivået i sentrum, mens tilsvarende tall for SO<sub>2</sub> var ca 30%. Dette svarer til at utslippet fra biltrafikk er mer betydelig også i utkantene enn hva gjelder SO<sub>2</sub>-utslippet.

De høyeste døgnverdiene var 170-180 µg/m<sup>3</sup> på Minde og CMI. I sentrum og på Kronstad kom døgnverdiene opp i 130-140 µg/m<sup>3</sup>. Sandviken og Landås hadde maksimalt 80-100 µg/m<sup>3</sup>, mens Laksevåg, Hop og Fyllingsdalen maksimalt hadde 60 µg/m<sup>3</sup>. Områder nærmere sterkt trafikkerte veier vil ha høyere sotnivå enn dette.

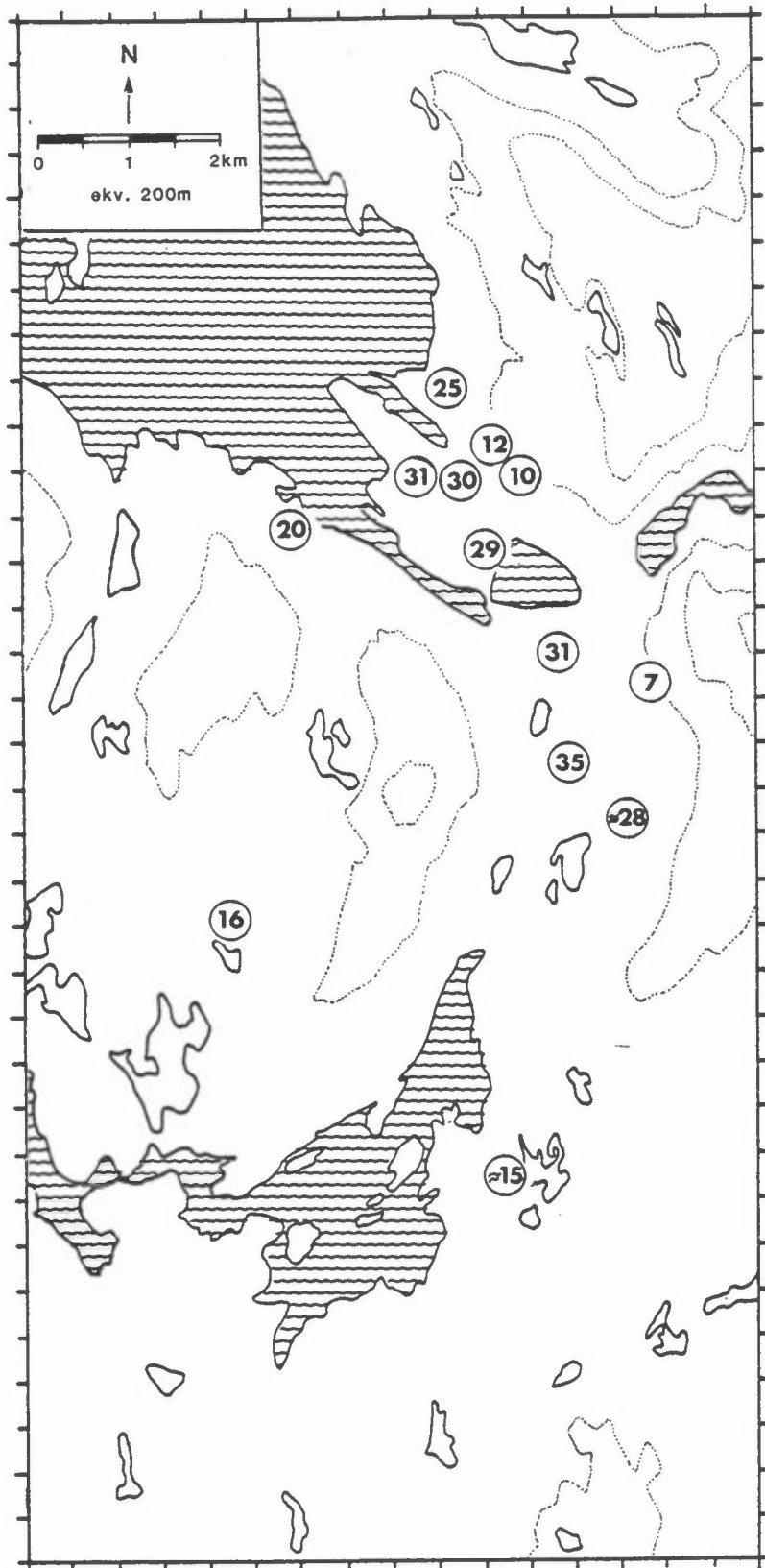
Kumulativ frekvensfordeling av døgnmiddelverdier av sot er også nær logaritmisk normal (figur 31) med geometrisk standardavvik  $\sigma_g \approx 2$  på DNS og  $\sigma_g \approx 3$  på CMI og Minde, som er mer trafikkekspontert.



Figur 30: Månedsmiddelverdier av sot på utvalgte målestasjoner i perioden oktober 1982-mars 1984.



Figur 31: Kumulativ frekvensfordeling av døgnmiddelverdier av sot for perioden november - februar 1983-84.



Figur 32: Sot. Middelerdier ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) for perioden desember-februar 1983-84. Verdiene for Fjellien og Skansemyren er estimert.



Hovedkilden til nitrogendioksid ( $\text{NO}_2$ ) er utslippene av NO og  $\text{NO}_2$  fra biltrafikk og oljefyring. NO oksideres til  $\text{NO}_2$  i atmosfæren. Høyest  $\text{NO}_2$ -nivå ble målt i Teaterparken. Forholdet mellom sentrum og utkantene var som for sot, mindre enn for  $\text{SO}_2$ .

Figur 33 viser månedsmiddelverdier av  $\text{NO}_2$  på utvalgte stasjoner. Som for  $\text{SO}_2$  og sot var  $\text{NO}_2$ -nivået høyest i januar 1984 (unntatt på Hop). Nivået om sommeren var ikke mye lavere enn om vinteren (se side 70).

Figur 35 viser gjennomsnittlig  $\text{NO}_2$ -nivå vinteren 1983-84. På Skansemyren er nivået estimert, basert på målinger i januar 1983 og sammenligning med andre stasjoner.

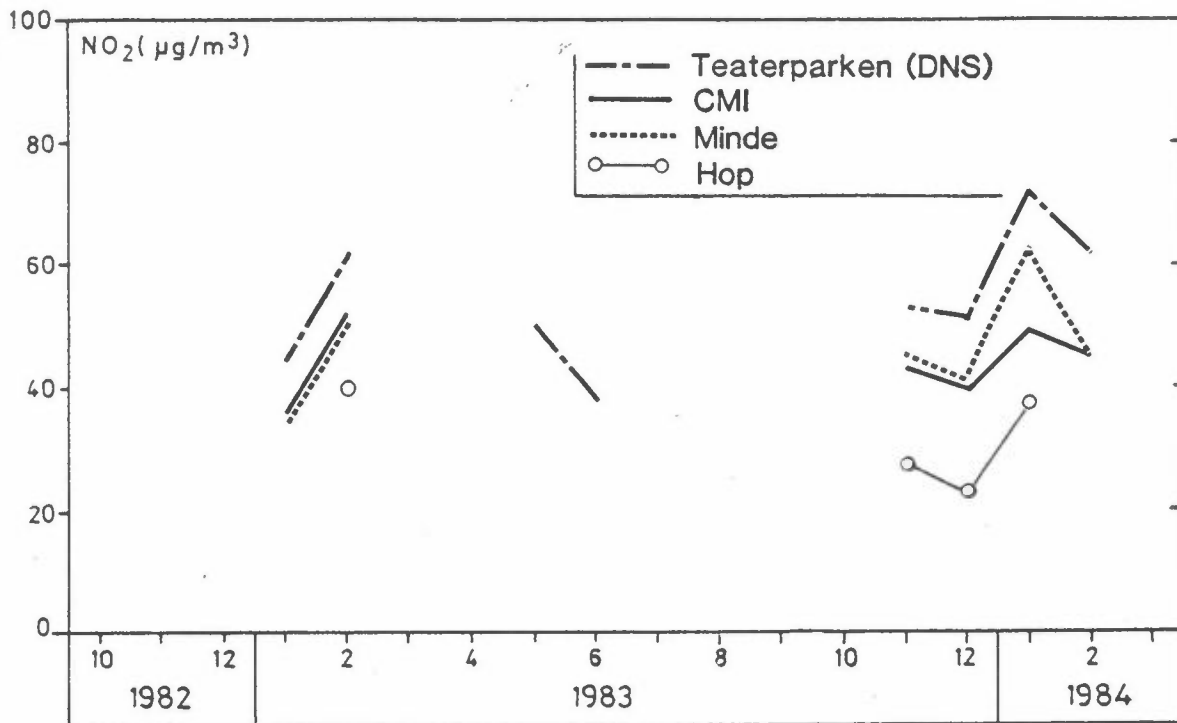
$\text{NO}_2$ -forurensningen skyldes både direkte utslipp av  $\text{NO}_2$  og oksidasjon av NO til  $\text{NO}_2$ . En mekanisme er oksidasjon via ozon. En såvidt lav NO-konsentrasjon som  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  vil om vinteren via ozon umiddelbart gi ca  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$   $\text{NO}_2$ . Det skal ikke stor biltrafikkmengde til i et område for å gi dette. Det er dette som er hovedkilden til  $\text{NO}_2$  på Hop,  $27 \mu\text{g}/\text{m}^3$  i gjennomsnitt vinteren 1983-84. På Skansemyren er biltrafikkforurensningen så liten at  $\text{NO}_2$ -nivået bare er økt litt i forhold til bakgrunnsnivået i Hordaland, som er anslagsvis  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

I sentrum og på Minde var høyeste døgnverdi av  $\text{NO}_2$  180-190  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Sandviken og Hop hadde begge henholdsvis maksimalt ca 100  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Maksimalverdien på Skansemyren i januar 1983 var 24  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

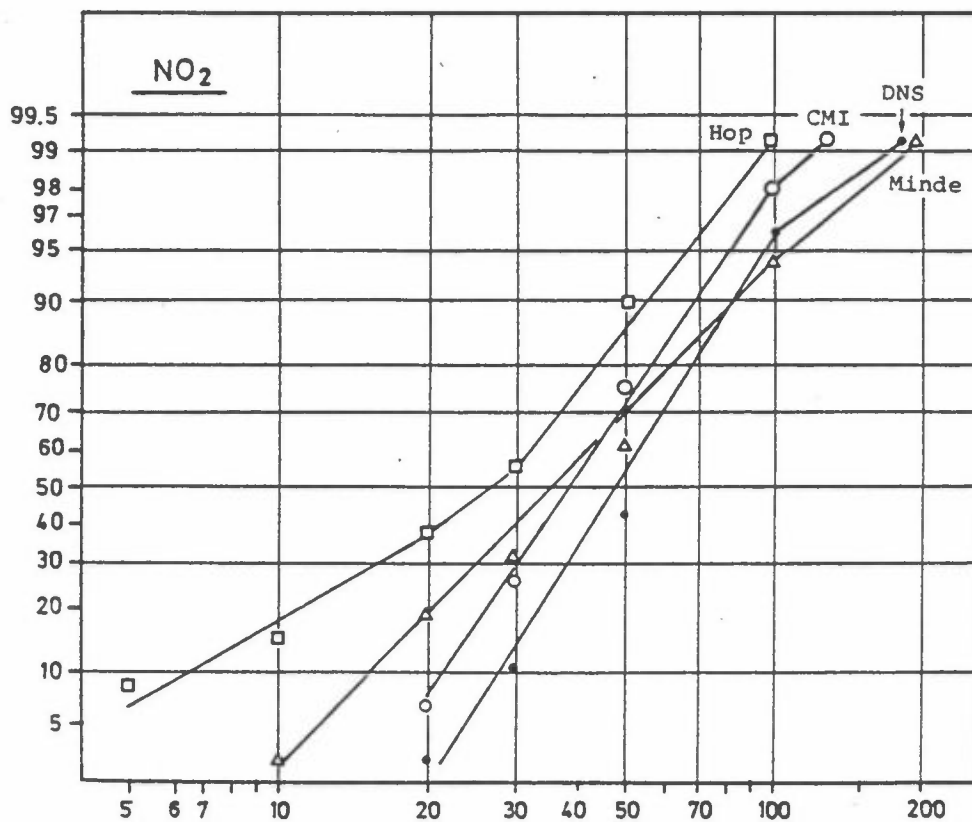
Kumulativ frekvensfordeling av døgnmiddelverdier av  $\text{NO}_2$  var også nær logaritmisk normal (figur 34) med standardavvik  $\sigma_g \approx 1.5-2$ , mindre enn for  $\text{SO}_2$  og sot.

Målingene viser at  $\text{NO}_2$ -konsentrasjonen i området ikke varierer så mye verken i rom eller tid som  $\text{SO}_2$ , sot og andre komponenter, fordi  $\text{NO}_2$  i stor grad er en sekundær forurensningskomponent som dannes ved oksidasjon fra NO.

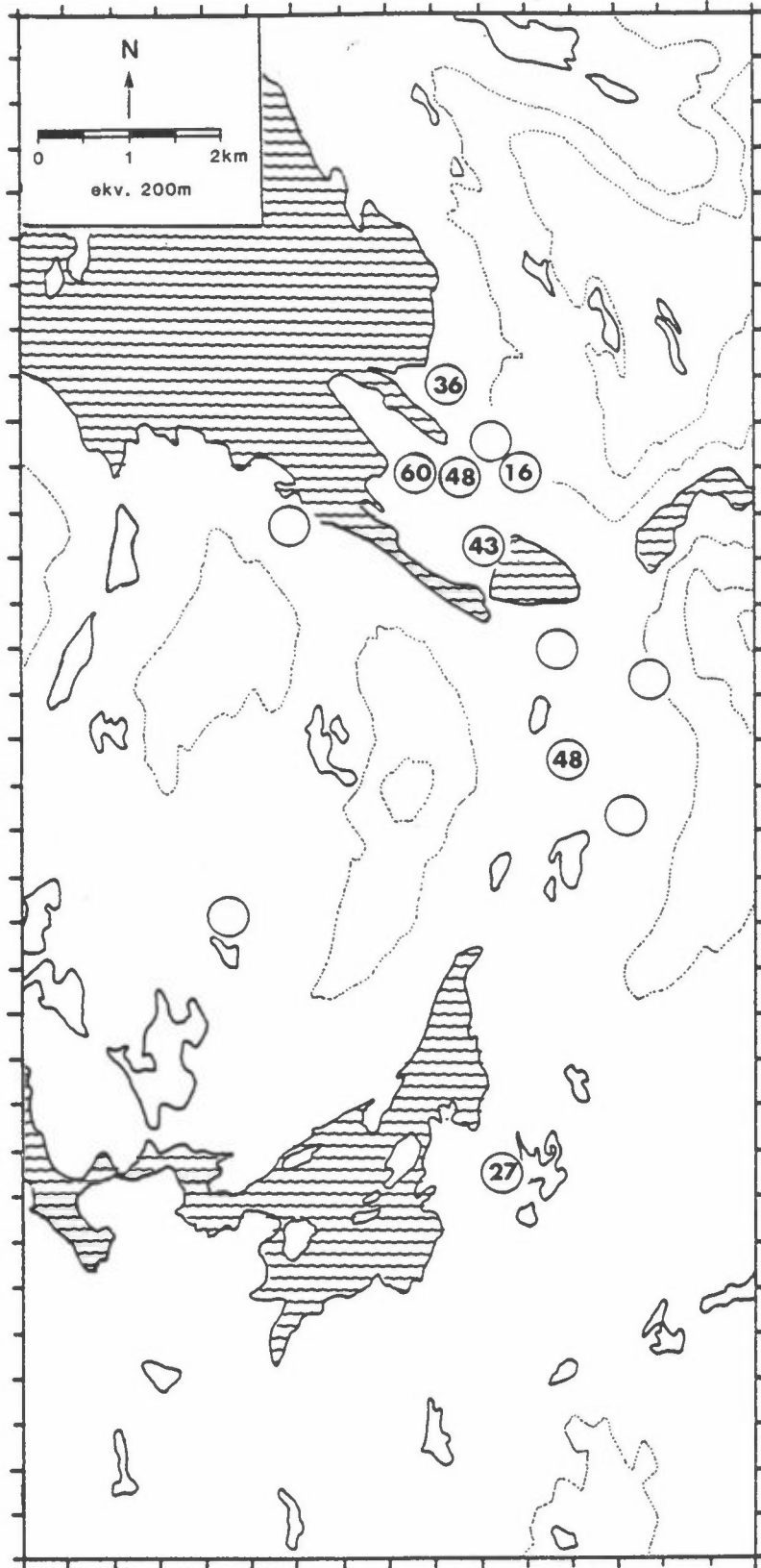
I Teaterparken ble  $\text{NO}_2$  også målt med kontinuerlig registrerende instrument. Det var god sammenheng mellom de to anvendte målemetoder for  $\text{NO}_2$ : TGS-metoden for døgnverdier og kjemiluminescens-metoden for kontinuerlig registrering.



Figur 33: Månedsmiddelerverdier av NO<sub>2</sub> på utvalgte målestasjoner i perioden oktober 1982 - mars 1984.<sup>2</sup>



Figur 34: Kumulativ frekvensfordeling av døgnmiddelerverdier av NO<sub>2</sub> for perioden november - februar 1983-84.

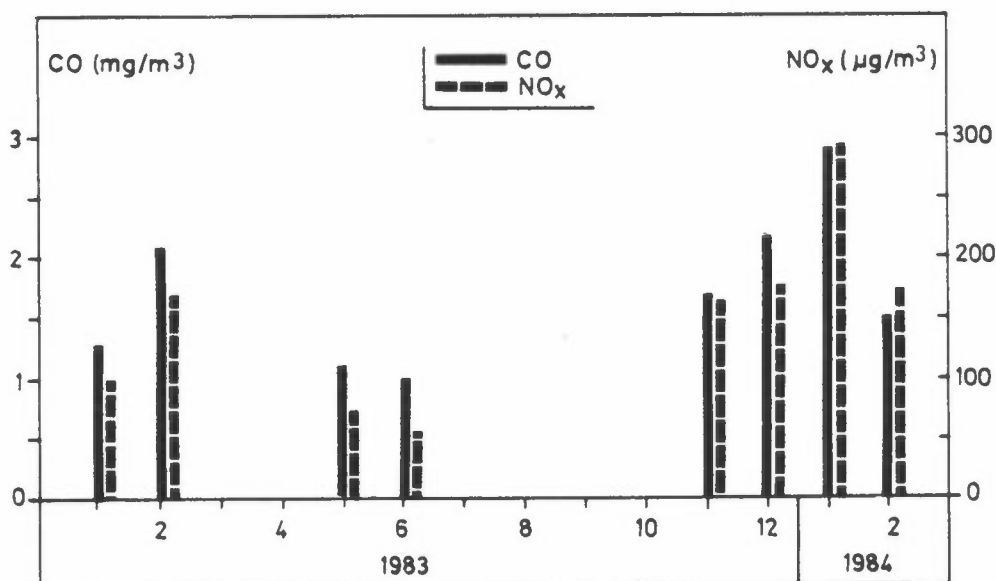


Figur 35:  $\text{NO}_2$ . Middelverdier ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) for perioden desember-februar 1983-84. Verdien for Skansemyren er estimert.

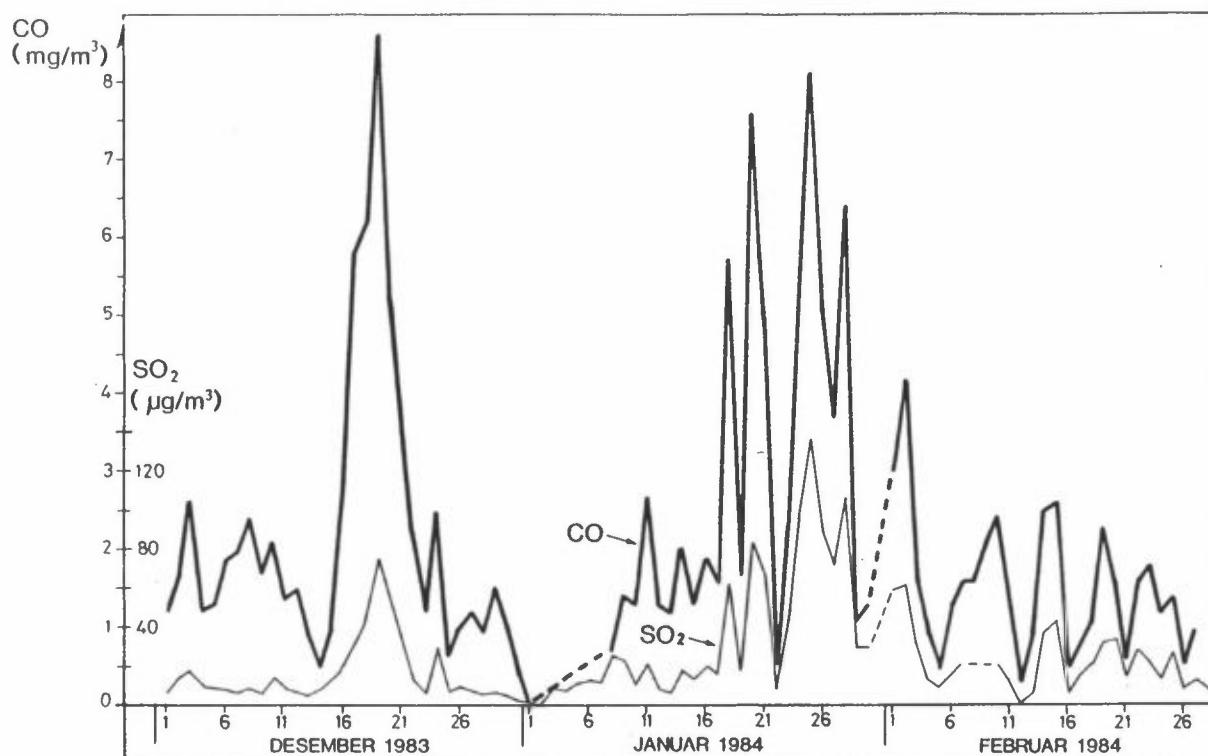
Biltrafikken er hovedkilden til CO. CO ble målt bare i Teaterparken. CO-konsentrasjonen der var godt korrelert med sot og NO<sub>x</sub>.

Figur 36 viser månedsmiddelverdier av CO i Teaterparken. CO-nivået var høyest i januar 1984, slik det var også for SO<sub>2</sub>, sot og NO<sub>2</sub>. CO-nivået og NO<sub>x</sub>-nivået følger hverandre godt. Biltrafikken er hovedkilden til begge.

Figur 37 viser døgnverdier av CO for perioden desember-januar 1983-84. SO<sub>2</sub> er også inkludert i figuren. Forurensningsnivåets store variasjoner går tydelig fram, og forurensningsperiodene rundt 18-20 desember og de siste 2 ukene i januar skiller seg spesielt ut. SO<sub>2</sub>-nivået følger i store trekk CO-nivåets variasjon.



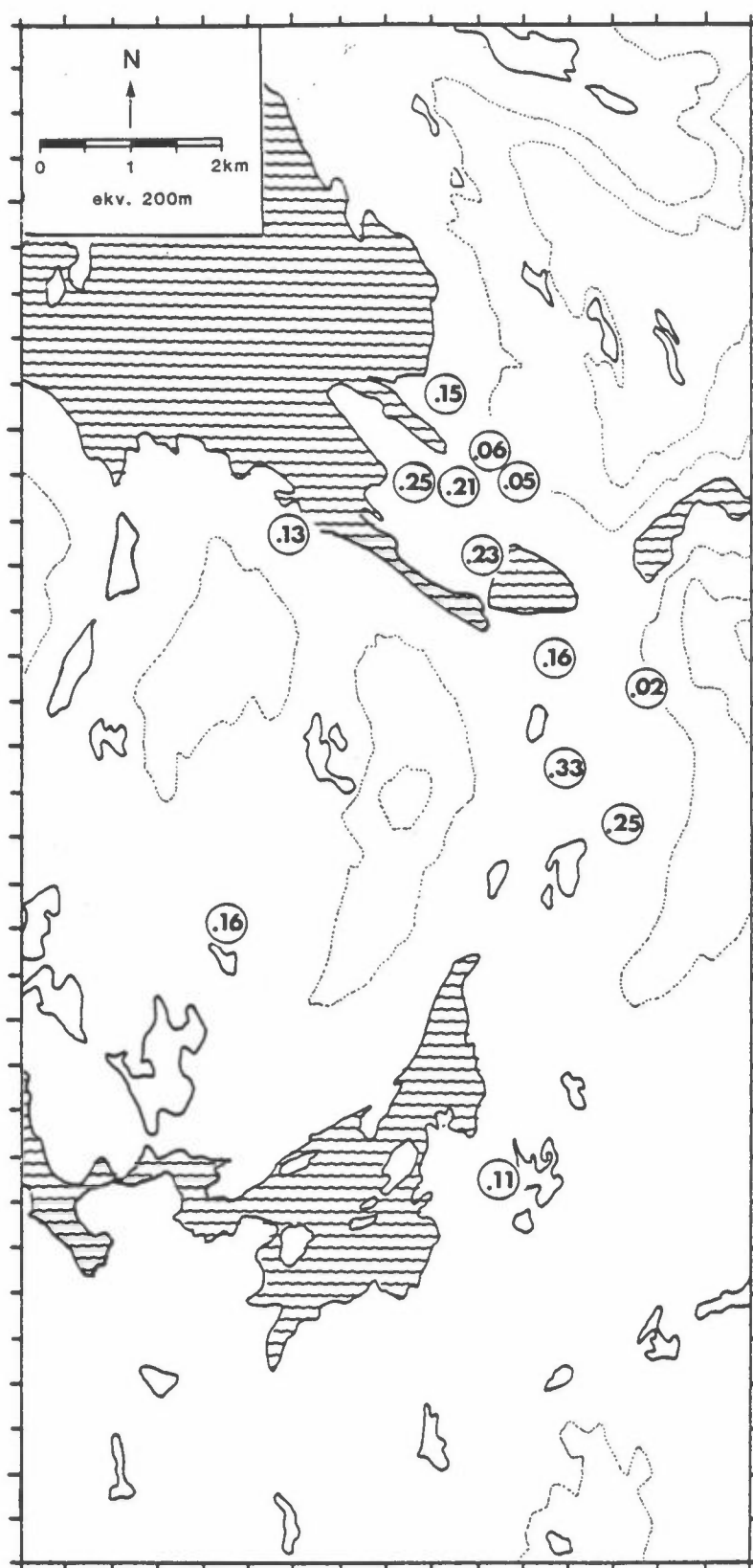
Figur 36: Månedsmiddelverdier av CO og NO<sub>x</sub> i Teaterparken i perioden januar 1983-februar 1984.



Figur 37: Døgnmiddelverdier av CO og SO<sub>2</sub> i Teaterparken (DNS) i perioden desember-februar 1983-84.

Biltrafikken er den helt dominerende kilden til bly i luft. Blykonsentrasjonen bestemmes av avstanden fra trafikkerte veier. Størst blykonsentrasjon ble målt på stasjonen på Minde. Blynivået gikk betraktelig ned fra vinteren 1983 til vinteren 1983-84, på grunn av reduksjonen i blyinnhold i høyoktan bensin som ble innført pr 1.9.1983.

Figur 38 viser blykonsentrasjonen på målestasjonen i januar 1984. På Rådhuset er det verdien 5 meter over bakken som er satt inn. Minde, CMI og Teaterparken (DNS), som ligger nærmest sterkt trafikkerte veier, har de høyeste verdiene. Høyeste målte døgnverdi var  $1.33 \mu\text{g}/\text{m}^3$  på Minde. Målinger ble også utført i februar 1983. Blynivået var i februar 1984 i gjennomsnitt 33% lavere enn i februar 1983. For komponentene SO<sub>2</sub>, CO og sot var nivået i januar 1984 henholdsvis 34%, 38% og 21% høyere enn i februar 1983. Sammenholdes dette, kan en estimere en samtidig reduksjon i blyutslippet på ca 50%. Dette svarer godt til den reduksjon i blyutslippet som bestemmelsene om blyinnhold i høyoktan bensin førte til. 1.9.1983 ble maksimalt tillatt blyinnhold i høyoktan bensin satt ned fra 0.4 g/l til 0.15 g/l. Markedsandelen på høyoktan bensin var anslagsvis 30%. Lavoktan bensin har hatt 0.15 g Pb/l siden 1980.



Figur 38: Bly. Månedsmiddelverdier for januar 1984. Verdiene for Fjellien og Skansemyren er estimert.

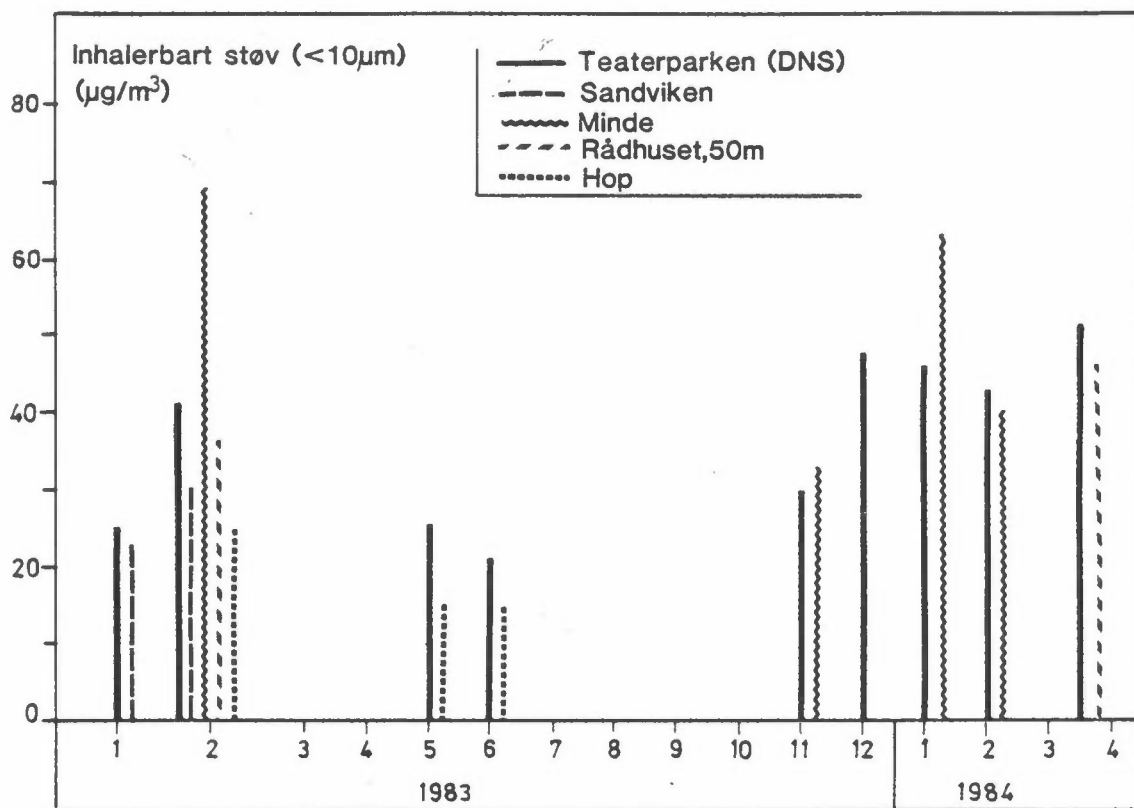
Hovedkilder til svevestøv i luft er oljefyring, bileksos og veistøv. Avfallsforbrenning og industriutslipp bidrar også. Konsentrasjonen av inhalerbare partikler ble målt på opptil 5 stasjoner, og konsentrasjonen var størst på Minde.

Svevestøv i luft består av partikler med diameter opp til 50-100  $\mu\text{m}$ . Partiklene av størst helsemessig betydning er de som er inhalerbare. Partikler med diameter mindre enn 10  $\mu\text{m}$  er definert som inhalerbare. Inhalerbare partikler er målt i to partikkelfraksjoner, finfraksjonen med diameter  $<2.5 \mu\text{m}$  og grovfraksjonen med diameter 2.5-10  $\mu\text{m}$ . Finfraksjonen er med rimelig god tilnærming den fraksjon som trenger ned i lungene.

Figur 39 viser månedsmiddelverdier av inhalerbare partikler. Tidsvariasjonen avviker fra  $\text{SO}_2$ , sot,  $\text{NO}_2$  og CO, som hadde høyest nivå i januar 1984. For inhalerbare partikler var nivået på Minde høyest i februar 1983 og i Teaterparken var det høyest i desember 1983.

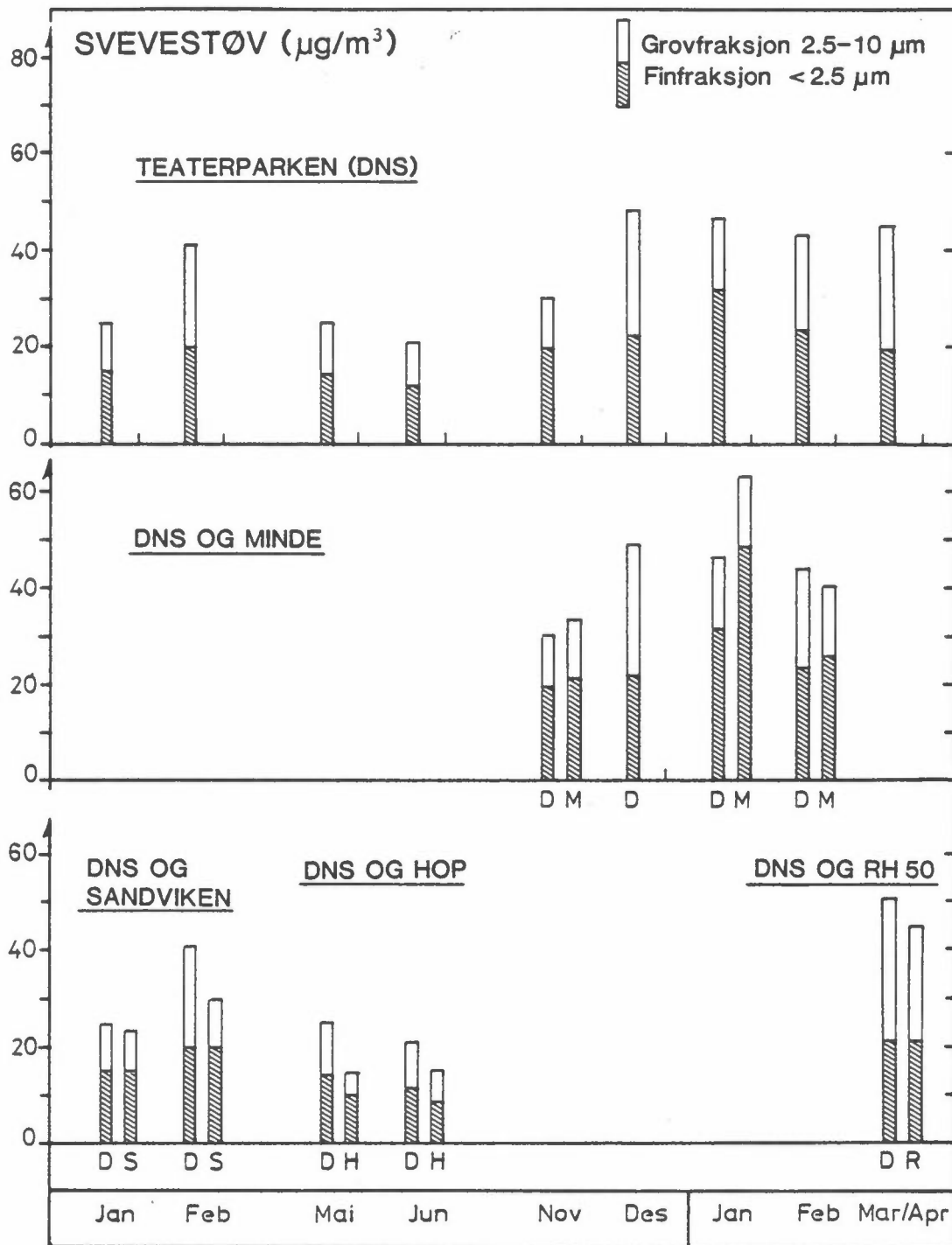
Dette har sammenheng med at veistøv er en viktig kilde til inhalerbare partikler i tillegg til bileksos og oljeforbrenning. Mengden veistøv i lufta varierer med nedbørmengde og vindstyrke, med generelt sett mer veistøv jo tørrere og mer vind det er. Andre komponenter avtar i konsentrasjon når vindstyrken øker. Piggdekkbruk øker veistøvmengden. Veistøvproblemet er ofte størst om våren, når veiene tørker opp, og slitasjestøv fra piggdekkslitasjen på veidekket gjennom vinteren frigjøres. Det relativt høye støvnivået i mars/april (figur 39) er et eksempel på dette.

Figur 40 viser fordelingen mellom finfraksjon og grovfraksjon på de ulike stasjoner. Finfraksjonen har i Teaterparken og på Minde omtrent samme tidsforløp som de øvrige komponenter, med høyest konsentrasjon i januar 1984. Grovfraksjonen varierer på en annen måte. Grovfraksjonen utgjorde 33-46% av inhalerbart støv (månedsmiddelverdier), bortsett fra i februar og desember 1983 i Teaterparken og i mars/april, da grovfraksjonen var mer enn 50% av inhalerbart støv.



Figur 39: Månedsmiddelverdier av inhalerbart partikkelfraksjon (diameter  $<10\mu\text{m}$ ) for perioden januar 1983-april 1984.



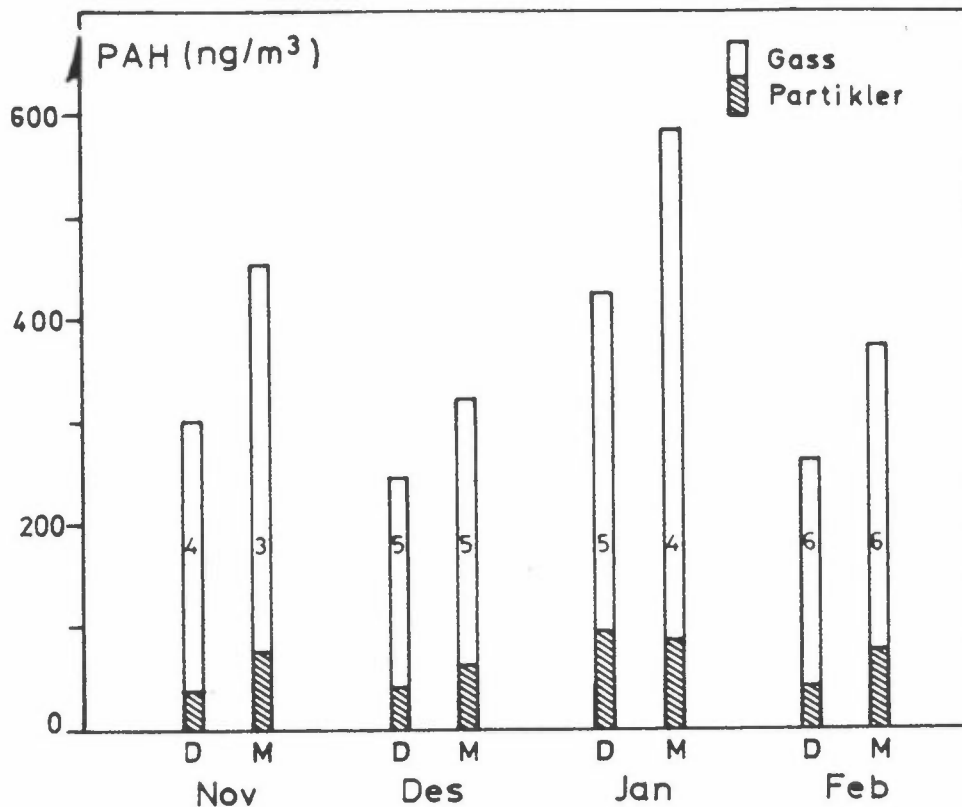


Figur 40: Månedsmiddelverdier av finfraksjonen og grovfraksjonen av inhalerbart støv for perioden januar 1983-april 1984.

Hovedkilder til polysykliske aromatiske hydrokarboner (PAH) er bileksos og utslipp fra oljefyring. Målinger ble utført i Teaterparken og på Minde vinteren 1983-84. PAH-konsentrasjonen var i gjennomsnitt 35% høyere på Minde enn i Teaterparken.

PAH dannes ved ufullstendig forbrenning av olje, kull, ved, bensin, auto-diesel og avfall. Noen av PAH-komponentene kan være kreftfremkallende. Ved målingene skiller en mellom PAH i gassfase og på partikler. I alt er det analysert på 33 PAH-komponenter. Målinger er i regelen utført hver 6. dag i perioden november-februar 1983-84.

Figur 41 viser månedsmiddelverdier av PAH, gassfase og partikkelfase. Minde har høyere nivå enn DNS i alle måneder. Gassfasen dominerer, og utgjør på begge stasjonene ca 85% av sum PAH. Månedsmiddelverdiene er basert på 3-6 døgnprøver og de kan derved ikke sammenlignes direkte med SO<sub>2</sub>, sot etc. som er målt hver dag. Målingene ga høyest PAH-nivå i januar 1984, som også var tilfelle for SO<sub>2</sub> og de øvrige stoffene.



Figur 41: Månedsmiddelverdier av PAH (sum av 33 komponenter) i gass- og partikkelfase. Døgnprøver hver 6. dag i perioden november-februar 1983-84. (Antall prøver pr måned er angitt i stolpene).

Forurensningsforholdene som ble målt i vinterperioden 1983-84 var jevnt over slik en normalt vil vente, forutsatt uendrete utslipp. Januar 1984 var imidlertid  $1.3^{\circ}\text{C}$  kaldere og mer forurenset enn normalt.

Tabell 11 viser avviket fra normal temperatur og vindstyrke i de vintermånedene målinger av luftkvalitet og meteorologi er foretatt.

Vinteren 1982-83 (november-februar) var som helhet mildere enn normalt og med større vindstyrke enn normalt. Dette ga mindre oljefyringsutslipp og bedre spredningsforhold enn normalt, og derved også mindre forurensning.

Vinteren 1983-84 var i gjennomsnitt omtrent som normalt, men januar var kald. Vindstyrken var omtrent som normalt. Forurensningsforholdene denne vinteren var derved omtrent slik en vil vente i et normalår. Dette gjelder også antall forurensningsepisoder. I november 1983 - februar 1984 var det 8-9 dager som kan karakteriseres som forurensningsepisoder med svak vind, lav temperatur og høy forurensningsgrad. Dette svarer omtrent til det gjennomsnittlige antall slike episoder en hadde om vinteren i årene 1971-82.

Maksimalkonsentrasjonene som opptrådte i forurensningsepisodene i januar 1984 var noe nær det høyeste en vil vente å få i Bergen med de nåværende utslippsforhold.

Tabell 11: Avvik fra normal temperatur ( $^{\circ}\text{C}$ ) og vindstyrke (m/s) på stasjon Florida.

	Nov.	Des.	Jan.	Feb.	Nov.-Feb.
1982-83 Temperatur	+0.4	+0.3	+2.7	-0.1	+0.8
Vindstyrke	+0.5	+0.3	+0.7	+0.1	+0.35
1983-84 Temperatur	-0.7	+0.1	-1.3	+0.6	-0.3
Vindstyrke	+0.1	+0.1	+0.2	+0.1	+0.1

Om sommeren var forurensningsnivået halvparten eller mindre av nivået om vinteren. Et unntak fra dette var nitrogendioksid, som var bare 20-30% lavere om sommeren.

Tabell 12 gir gjennomsnittlige konsentrasjoner for vinter- og sommerperiodene på hovedstasjonen (DNS) og på Hop, som var de eneste stasjoner der sommermålinger ble utført. Forurensningsnivået om sommeren var for alle komponenter unntatt  $\text{NO}_2$  og svevestøv 30-55% av vinternivået. For  $\text{NO}_2$  og svevestøv var nivået om sommeren 60-75% av vinternivået.

Det lave forurensningsnivå om sommeren skyldes både reduserte utslipp da, spesielt av oljefyringsutslipp men også av bileksos, og bedre spredningsforhold. Vindstyrken var dog lavere om sommeren, men spredningsforholdene er likevel vesentlig bedre.

$\text{NO}_2$ -konsentrasjonen er relativt høy om sommeren fordi ozon-konsentrasjonen da er større enn om vinteren. En vesentlig del av  $\text{NO}_2$ -nivået skyldes oksidasjon av  $\text{NO}$  til  $\text{NO}_2$  ved hjelp av ozon. Svevestøv-konsentrasjonen er relativt høy om sommeren fordi veistøv og bakkestøv gir et større bidrag enn om vinteren.

Tabell 12: Gjennomsnittlig forurensningsnivå i vinter- og sommerperiodene.

Stoff	Enhet	Målestasjon	Vinter*	Sommer**	Sommer/vinter
SO <sub>2</sub>	µg/m <sup>3</sup>	DNS	18	9	0.5
		Hop	7.5	3	0.4
Sot	µg/m <sup>3</sup>	DNS	28	13	0.45
		Hop	15.5	4.5	0.3
NO <sub>2</sub>	µg/m <sup>3</sup>	DNS	56	43	0.75
NOx	µg/m <sup>3</sup>	DNS	176	61	0.35
CO	mg/m <sup>3</sup>	DNS	2.0	1.1	0.55
Inhaler- bart støv	µg/m <sup>3</sup>	DNS	40	23	0.6
		Hop	ca 22	15	0.7
Vindstyrke	m/s	Florida	3.7	3.0	
Temperatur	m/s	Florida	2.2	ca 11	

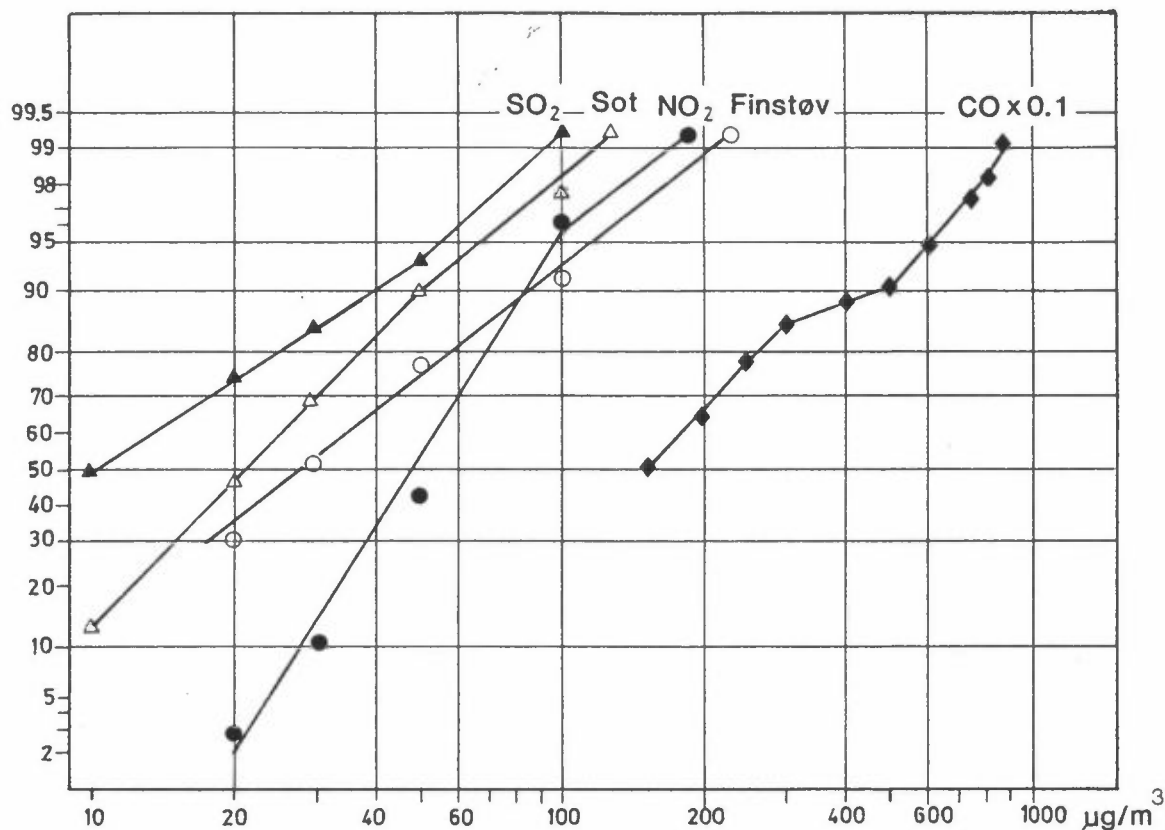
\* januar-februar 1983 og november-februar 1983-84.

\*\* mai-juni 1983.

Frekvensfordelingene av døgnmiddelverdier viser at målestasjonene ikke påvirkes av noen dominerende enkeltkilde for  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_2$ , sot eller svevestøv.  $\text{NO}_2$ -forurensningene varierer mindre fra dag til dag enn de øvrige komponenter.

I figur 42 er som eksempel vist kumulative frekvensfordelinger av døgnmiddelverdier av  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_2$ , CO, sot og svevestøv på hovedstasjonen i Teaterparken (DNS). Når fordelingen er rettlinjet i figuren, som  $\text{SO}_2$ -sot- og svevestøv-fordelingen tilnærmet er, er døgnmiddelverdiene logaritmisk normalfordelte. Dette tyder på at ingen dominerende enkeltkilde påvirker målestasjonen. Det samme er tilfelle for de andre stasjoner.

$\text{NO}_2$ -fordelingen skiller seg fra de øvrige, både ved at den er brattere, og fordi den har en knekk på toppen, mot høye konsentrasjoner. Dette betyr at  $\text{NO}_2$ -konsentrasjonen fra dag til dag varierer mindre enn tilfellet er for  $\text{SO}_2$ , sot, CO og svevestøv. Årsaken er at reaksjonen mellom NO og ozon gir et  $\text{NO}_2$ -bidrag av størrelsesorden  $20\text{--}30 \mu\text{g}/\text{m}^3$  som er uavhengig av kildestyrke og spredningsforhold. En tilsvarende høy "bakgrunns-konsentrasjon" har man ikke for de øvrige stoffene. I forurensningsepisoder gir imidlertid de dårlige spredningsforhold like stor økning i  $\text{NO}_2$  som for andre stoffer.

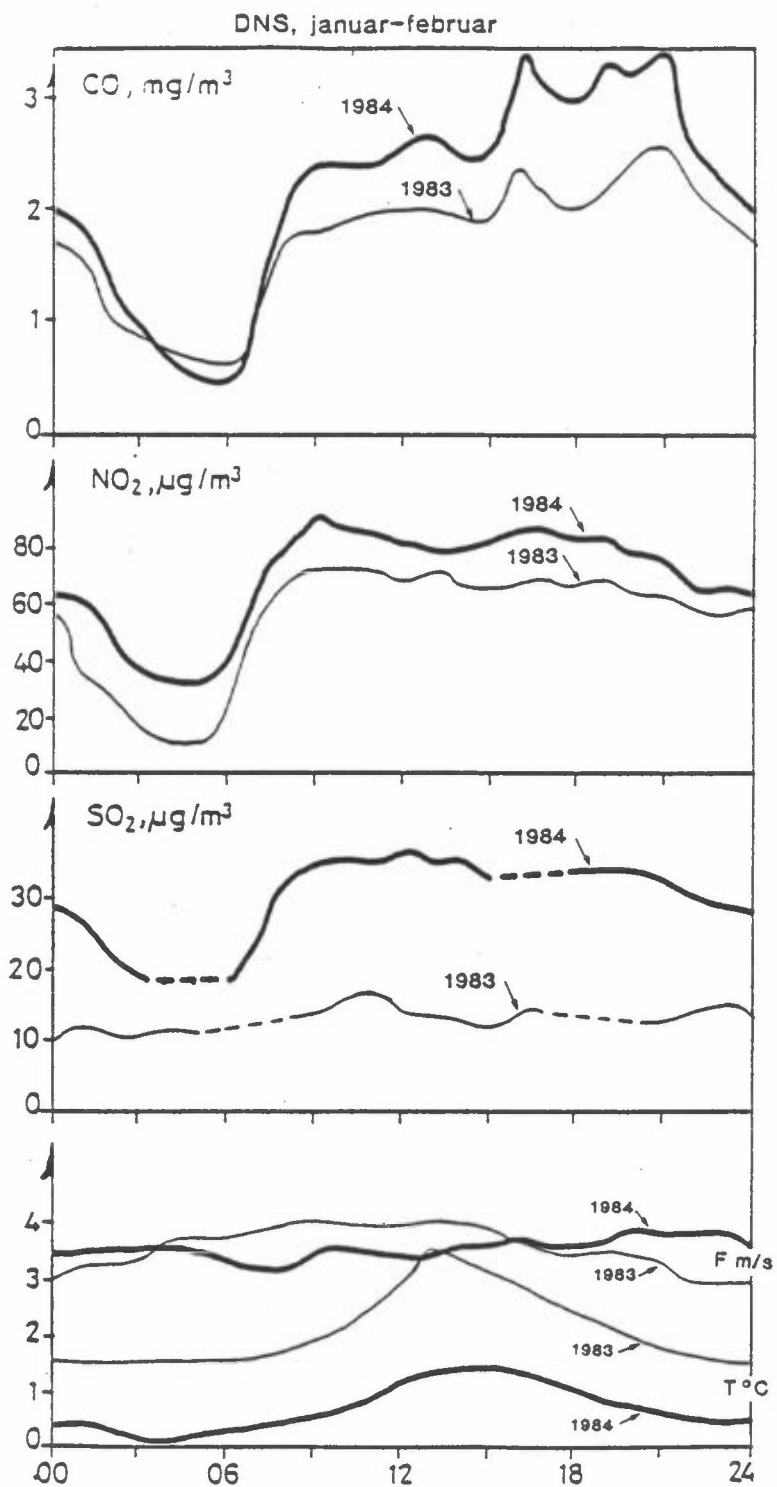


Figur 42: Kumulative frekvensfordelinger for døgnmiddelverdier, Teaterparken, perioden november-februar 1983-84.

CO-konsentrasjonen på hovedstasjonen varierte over døgnet i takt med trafikkbelastningen, mens NO<sub>2</sub>- og SO<sub>2</sub>-konsentrasjonen i gjennomsnitt var nesten konstant over dagen (kl 09-21).

I figur 43 er tegnet den gjennomsnittlige døgnvariasjonen av CO, NO<sub>2</sub> og SO<sub>2</sub> i Teaterparken (samt vind og temperatur på Florida). CO- og NO<sub>2</sub>-nivået var høyere i januar-februar 1984 enn i 1983. CO-konsentrasjonen var begge år høyest i rushtiden, og det var også en like høy topp senere på kvelden, som skyldes trafikkøkning om kvelden kombinert med dårligere vertikalutveksling.

CO-nivået er svært lavt om natten når biltrafikken stilner, mens NO<sub>2</sub>- og SO<sub>2</sub>-nivået om natten er betydelig i forhold til dagnivået. Oljefyringen er betydelig også om natten, og det er også om natten tilstrekkelig NO-utslipp til at ozonreaksjonen gir en NO<sub>2</sub>-konsentrasjon på 20-30 µg/m<sup>3</sup>.

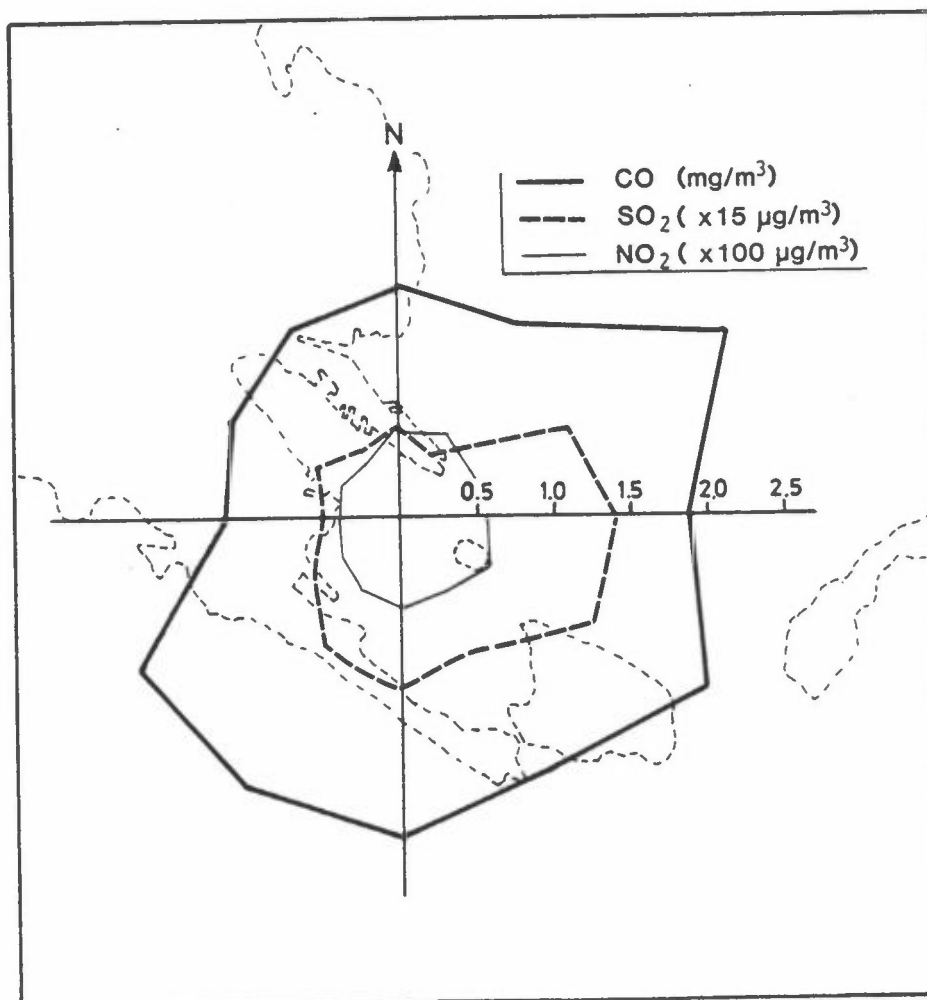


Figur 43: Gjennomsnittlig døgnvariasjon av CO, NO<sub>2</sub> og SO<sub>2</sub> (Teaterparken, DNS) og vindhastighet og temperatur (Flørida), januar-februar 1983 og 1984.



På hovedstasjonen i Teaterparken var  $\text{SO}_2$ -belastningen i gjennomsnitt størst ved østlig vind, mens CO- og  $\text{NO}_x$ -belastningen var nær den samme fra alle retninger i sektoren fra nordøst til sør.

Figur 44 viser gjennomsnittlig konsentrasjon av CO,  $\text{NO}_2$  og  $\text{SO}_2$  ved vind fra ulike retninger. Den høye  $\text{SO}_2$ -belastningen fra østlig sektor skyldes at målestasjonen enten påvirkes av en eller flere fyringsanlegg i nærheten, eller av utslipp fra busser på holdeplassen 10-15 meter øst for stasjonen. Dette siste vil i så fall også gi en viss økt belastning av CO og  $\text{NO}_x$  fra øst. For CO og  $\text{NO}_x$  gir den eventuelle ekstra belastningen fra bussholdeplassen bare en begrenset økning i gjennomsnittlig konsentrasjon, fordi frekvensen av vind fra østlig sektor er lav, anslagsvis 10% av tiden.



Figur 44: Belastningsroser for CO,  $\text{NO}_x$  og  $\text{SO}_2$  på hovedstasjonen i Teaterparken, samt vindrose for Florida, desember-februar 1983-84.

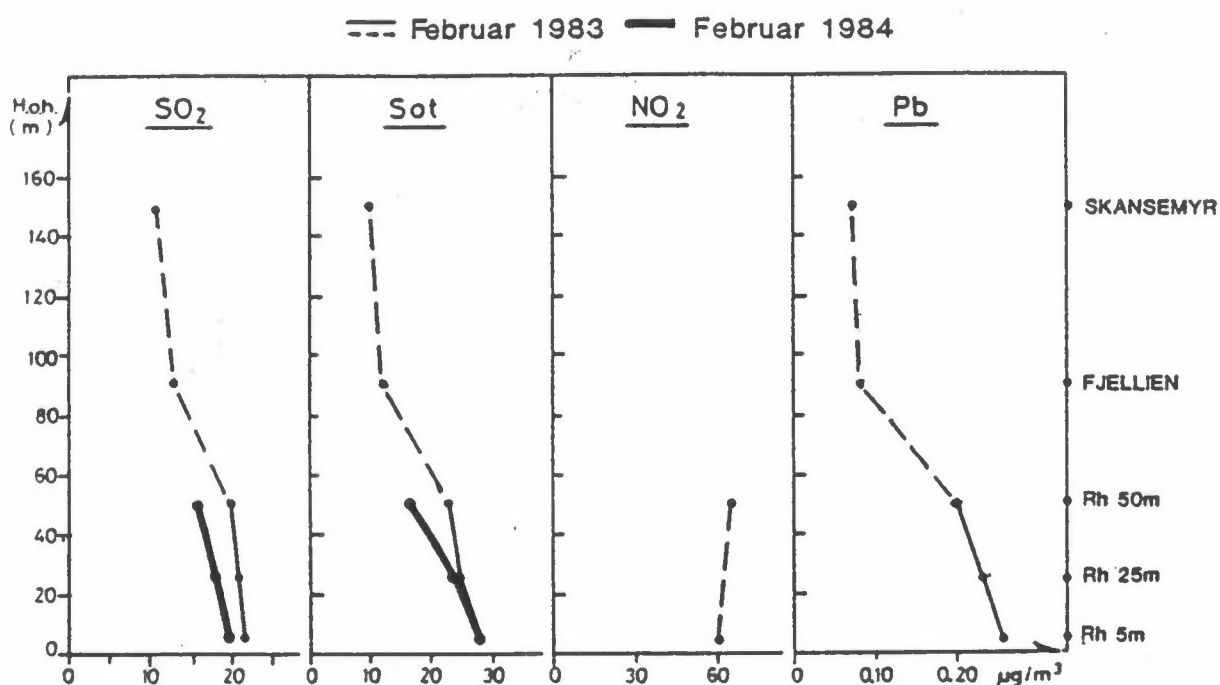
Den vertikale fordelingen av forurensningen ble i noen måneder målt opp til 50 meters høyde opp langs Rådhusets fasade. SO<sub>2</sub>-konsentrasjonen avtok lite med høyden. Sot og bly var i 50 meters høyde ca 75% av nivået ved bakken, mens NO<sub>2</sub> var vel så høyt som ved bakken.

Figur 45 viser som eksempel konsentrasjoner i februar 1983 og 1984 ved tre stasjoner i Rådhuset henholdsvis 5 m, 25 m og 50 m over bakken. Figuren viser også konsentrasjonene på stasjonene Fjellien og Skansemyren, som var plassert i åssiden opp mot Fløyen.

SO<sub>2</sub>-konsentrasjonen avtar noe opp til 50 meter, sot og bly avtar betydelig raskere, og NO<sub>2</sub> viser faktisk en viss økning. Vertikalfordelingen har en viss sammenheng med kildenes utslippshøyder. Bly og i stor grad sot slippes ut ved bakken, mens SO<sub>2</sub> slippes ut i skorsteiner stort sett 10-50 meter over bakken. NO<sub>2</sub> er i stor grad et resultat av sekundær oksidasjon av NO til NO<sub>2</sub>, ved ozon, etter utslippet.

Målinger av svevestøv på taket av Rådhuset samtidig med hovedstasjonen (DNS) tyder på at inhalerbar støvkonsentrasjon er omtrent like høy på taket av Rådhuset som ved bakken.

På Fjellien og Skansemyren er konsentrasjonene vesentlig lavere enn på taket av Rådhuset. Stasjonene ligger i fjellsiden ca 500 meter nordøst for Rådhuset. De gir derved ikke nødvendigvis et representativt bilde av reduksjonen av forurensningene rett over sentrum.

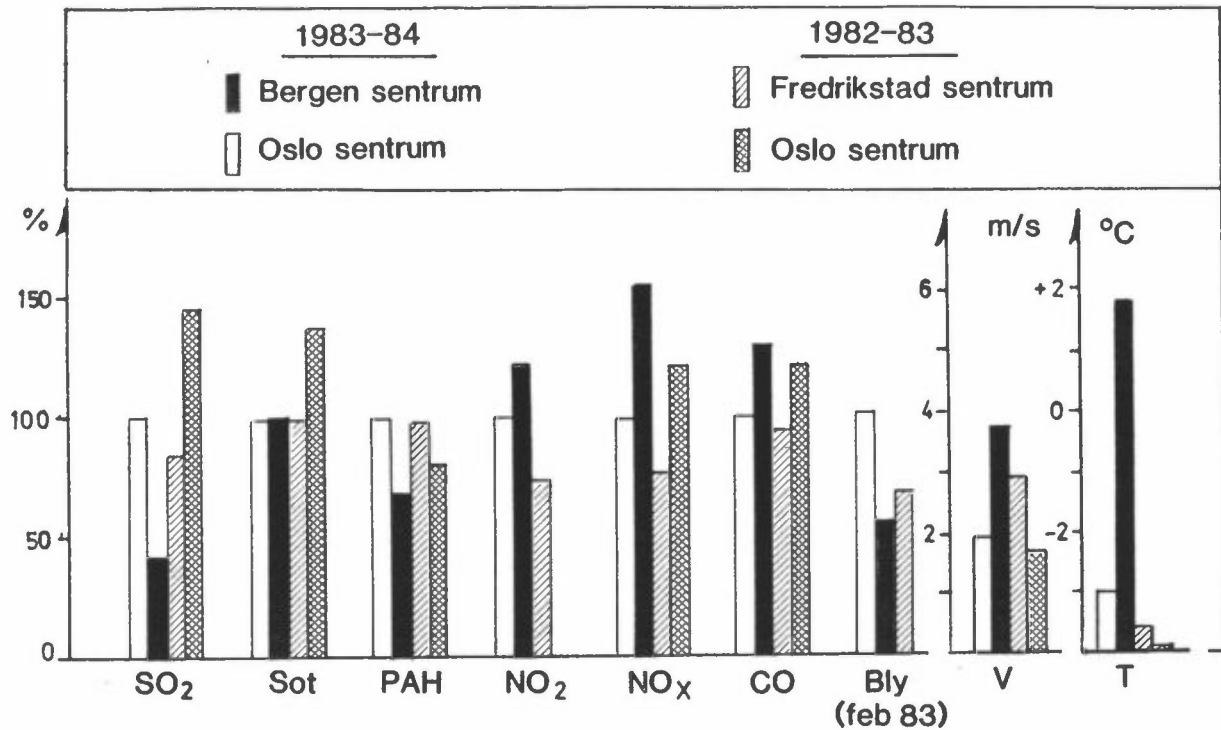


Figur 45: Forurensningsnivået på stasjoner i ulik høyde over Bergen sentrum.

I Bergen sentrum var forurensningen fra fyringsutslipp vesentlig mindre enn på målestasjoner i sentrum av Oslo og Fredrikstad. Bilforurensningen i Teaterparken i Bergen sentrum var imidlertid større enn på tilsvarende stasjoner i Oslo og Fredrikstad.

SO<sub>2</sub>-nivået i Bergen sentrum var vesentlig lavere enn i sentrum av Oslo og Fredrikstad (figur 46), på grunn av mindre utslipp pr arealenhet fra oljeforbrenning og bedre spredningsforhold. Også PAH-nivået var lavere. Forurensningen av CO og NO<sub>x</sub>, som får hovedbidraget fra biltrafikken, var imidlertid større på stasjonen i Teaterparken i Bergen sentrum enn i Oslo og Fredrikstad sentrum. Blykonsentrasjonen er imidlertid lavere i Teaterparken. Sot-nivået var det samme på de tre stasjonene. Både oljefyring og biltrafikk gir bidrag til sot-nivået.

Stasjonene i sentrum av Bergen, Oslo og Fredrikstad gir ikke nødvendigvis et representativt bilde av gjennomsnittlig forurensningsnivå i sentrum av byene. Sammenligningen antyder likevel at i forhold til oljefyring er biltrafikk en viktigere kilde til luftforurensning i Bergen enn den er i Fredrikstad og Oslo.



Figur 46: Forurensningsnivået i Bergen sentrum (Teaterparken) sammenlignet med sentrumsstasjoner i Oslo og Fredrikstad.

Sett i forhold til andre forurensningsstoffer som bly og sot, er NO<sub>2</sub>-forurensningen svært høy i Bergen, når en sammenligner med Oslo og Fredrikstad.

Bly i luft skyldes i første rekke direkte blyutslipp fra bensindrevne biler, og i noen grad blyinnholdet i oppvirvlet veistøv. Bly kan benyttes som referanse, for å sammenligne den relative betydning av ulike forurensningsstoffer i ulike byer. I tabell 13 er satt opp målt forurensning av CO, Nox, NO<sub>2</sub>, etc i forhold til bly på stasjonene Teaterparken i Bergen, City i Fredrikstad og Nordahl Bruns gate i Oslo.

Teaterparken (DNS) er plassert 50-60 meter fra en sterkt trafikkert vei (Engen) og 10-15 meter fra en bussholdeplass. City er en målestasjon plassert på taket av en 4-etasjes bygning i Fredrikstad sentrum, ca 20 meter fra nærmeste trafikkerte vei. Nordahl Bruns gate er plassert på taket av en en-etasjes bygning i Oslo sentrum ca 20 meter fra trafikkert vei (St. Olavs

gate). Således skulle ikke stasjonene være vesensforskjellig eksponert for bilforurensninger.

Tabellen viser at forurensningen av NOx og NO<sub>2</sub> relativt sett er stor i Bergen. CO- og sotforurensningen er i forhold til bly omtrent den samme som i Fredrikstad, mens SO<sub>2</sub>-forurensningen relativt til bly er mye lavere enn i Fredrikstad og en del lavere enn i Oslo.

Det høye NO<sub>2</sub>-nivået i forhold til andre stoffer kan skyldes sekundær NO<sub>2</sub>-dannelse ved oksidasjon av NO. Vindretning fra sørøst er helt dominerende i Bergen om vinteren, og luften kanaliseres nedover gjennom hele Bergensdalen og ut over sentrum. Avstanden fra Nesttun til Nordnes er ca 9 km, og transporttiden i gjennomsnitt ca én time. Spredningen på tvers av transporten begrenses av dalsidene. Det er mulig at det under disse forhold kan bli en betydelig sekundær NO<sub>2</sub>-dannelse.

Tabell 13: Målte forholdstall mellom forurensningskomponenter ved stasjoner i Bergen, Fredrikstad og Oslo, februar 1983.

Stasjon	$\frac{CO^*1}{Pb}$	$\frac{NOx^2}{Pb}$	$\frac{NO}{Pb^2}$	$\frac{Sot}{Pb}$	$\frac{IP}{Pb}$	$\frac{SO_2}{Pb^2}$
Teaterparken, Bergen	$3.8 \times 10^3$	450	165	84	$110^3$	57
City, Fredrikstad	$3.7 \times 10^3$	270	95	84	$140^4$	170
Nordahl Bruns gt. Oslo	-	~250	~70	61	-	80

<sup>1</sup> Antatt bakgrunnsnivå for CO: 0.1 mg/m<sup>3</sup>

<sup>2</sup> Antatt bakgrunnsnivå for NOx: 25 µg/m<sup>3</sup>

<sup>3</sup> Partikler < 10 µm i diameter

<sup>4</sup> Partikler < 15 µm i diameter



### GRUNNLAGSMATERIALE 3 - FORURENSNINGSEPIsODER

Ved klarvær og svak vind kan det i Bergen opptre kraftig temperaturinversjon. I kombinasjon med bratte dalsider fører dette til opphopning av forurensninger i det laveste luftsjiktet i dalen og derved høye forurensningskonsentrasjoner (forurensningsepisoder).

Slike forhold opptre i Bergen med en frekvens som varierer fra år til år. Temperaturinversjoner opptre hyppigst ved klarvær om natten. Bare om vinteren er solinnstrålingen liten nok til at inversjonen holder seg utover dagen, da utslippet er størst, og derved fører til høye forurensningskonsentrasjoner. Hyppigheten av forurensningsepisoder varierer fra ingen og opp til 10-15 døgn i løpet av vintermånedene. Vinteren 1982-83 var det ingen dager med spesielt høy forurensningsgrad. Vinteren 1983-84 var det 7 slike dager.

#### Måleprogrammet ble intensivert under forurensningsepisodene

Geofysisk institutt ved Universitetet i Bergen og Vervarslinga på Vestlandet varslet forurensningsepisoder, og på grunnlag av dette ble måleprogrammet intensivert. Døgnverdi-prøvetakerne for  $SO_2$ , sot, bly og svevestøv ble stilt om til 6-timers prøver, og det ble i samarbeid med Geofysisk institutt foretatt målinger av vertikale vind- og temperaturprofiler over sentrum og opp til 4-500 meters høyde, ved hjelp av sonde-oppstigninger.

Det var i løpet av måleperiodene spesielt sterk forurensningsgrad i Bergen på følgende dager, da intensivmålinger ble utført:

15-19 februar 1983

17-19 desember 1983

20-21 januar 1984

24-25 januar 1984

Sterke forurensningsepisoder opptrer i Bergen oftest i høytrykk-situasjoner som gir svak fralandsvind med oppløsning av skydekket i lé av Langfjella.

Under slike forhold fås strålingsavkjøling av bakken og inversjonsdannelse, dvs. økende temperatur med høyden. De laveste luftlag holdes da nede ved bakken, og forurensninger som slippes ut i dette stabile luftlag blir der. Når vinden er svak vil en da få oppbygging av forurensningskonsentrasjonen i bakkesjiktet inntil inversjonen brytes opp. Det stabile luftsjiktet (inversjonssjiktet) er under episoder i Bergen vanligvis 50-150 meter dypt, dypere jo lenger episoden varer.

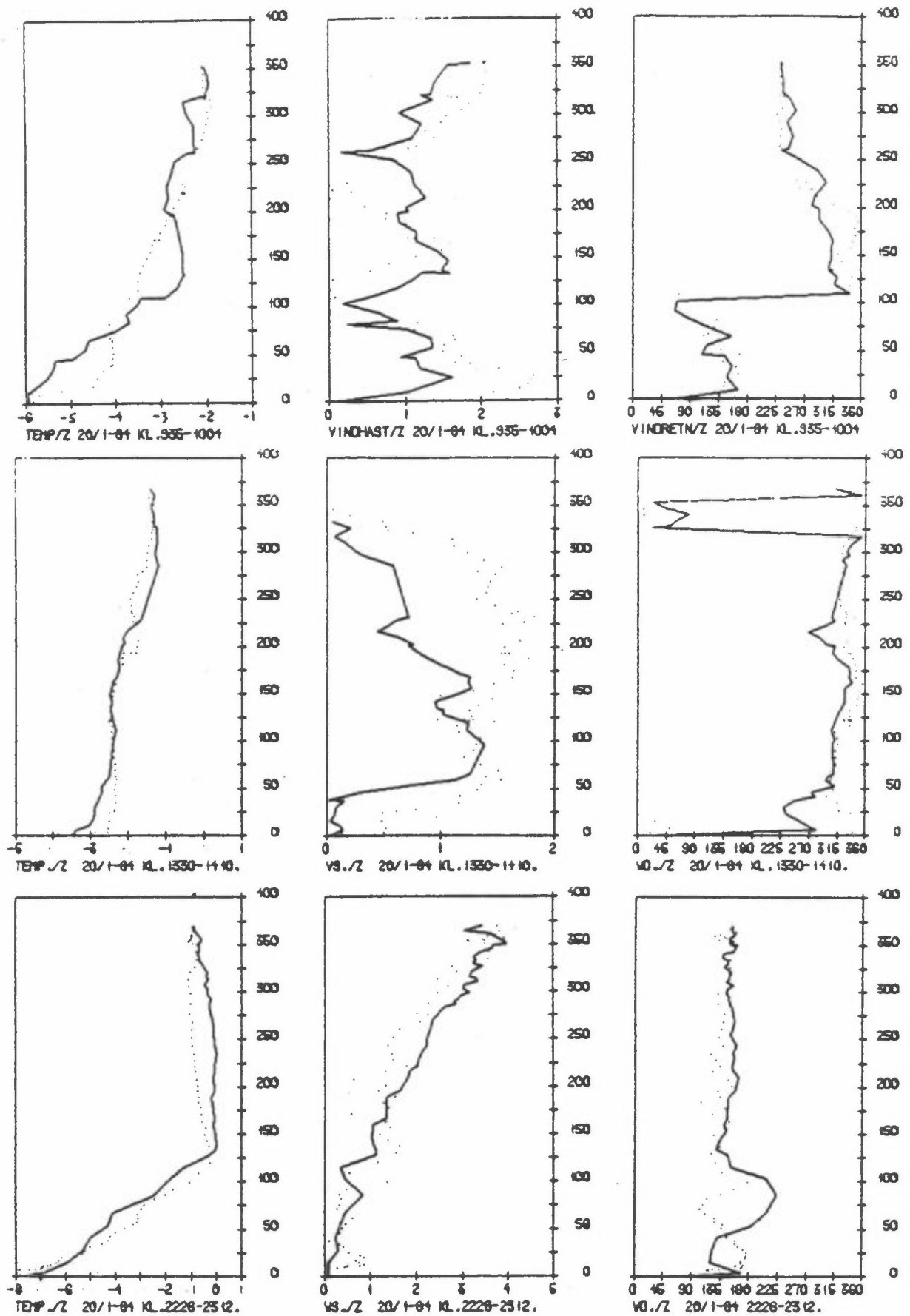
I inversjonsperiodene er det vanligvis en drenasjevind ned Bergensdalen og ut over Bergen sentrum av styrke 1-3 m/s. Jo lavere vindstyrken er jo høyere blir konsentrasjonen. Bakke-temperaturens virkning på forurensningskonsentrasjonen er først og fremst at utslippene øker ved lavere temperatur.

De vertikale vind- og temperaturprofilene fra sondeoppstigningene viser i hvert tilfelle inversjonslagets høyde og styrke. Det ble målt temperaturforskjeller på opptil  $8^{\circ}\text{C}$  mellom bakken, hvor det var kaldest, og toppen av inversjonslaget. Figur 47 viser som eksempel profiler for 20. januar 1984, da det morgen og kveld var sterkt stabil luft opp til 100-150 meters høyde og nesten vindstille ved bakken. Inversjonen ble i stor grad brutt opp om dagen, på grunn av soloppvarmingen.

I forurensningsepisodene er forurensningsnivået typisk 3-5 ganger høyere enn gjennomsnittlig nivå om vinteren.

Figur 37 på side 67 gir som eksempel forløpet av  $\text{SO}_2$  og CO (døgnmiddelverdier) i perioden desember 1983-februar 1984. Episodene i desember og januar trer tydelig fram. Maksimale døgnverdier av  $\text{SO}_2$ , sot og CO kan i episoder i Bergen nå 4-5 ganger gjennomsnittsnivået om vinteren, mens  $\text{NO}_2$ , som er en sekundærforurensning av NO, maksimalt blir ca. 3 ganger høyere enn gjennomsnittsnivået.





Figur 47: Vertikale temperatur- og vindprofiler målt over Bergen sentrum 20. januar 1984.

Som eksempel på en forurensningsepisode i Bergen, er forløpet av episoden 20-21. januar 1984 beskrevet i det følgende.

Det var stort sett klarvær og inversjon i denne perioden. På Skjold var det sør-sørøstlig vind den 20.1. og 21.1. av styrke 1-3 m/s. Det var svak sørlig vind (0-1 m/s) og kaldt i Bergensdalen den 20.1. og 21.1., mellom  $-2^{\circ}\text{C}$  og  $-10^{\circ}\text{C}$ , snødekke og islagte vann (inklusive større deler av Store Lungegårdsvann).

Vindforholdene på Flesland og i Fyllingsdalen skilte seg en del fra Bergensdalen, med stort sett østlig trekk den 20.1. og vestlig trekk natten til den 21.2., før det sørlige draget også slo gjennom på disse stasjoner utpå morgenen og formiddagen den 21.1., da vinden snudde og gikk svakt opp dalen.

Ca. kl 0200 natten til den 22.1. skjedde en dramatisk værforandring. Vindstyrken økte raskt fra ca. 1 m/s til 5-6 m/s, hele tiden sørlig, og samtidig skjedde stor temperaturøkning fra  $-10^{\circ}\text{C}$  til  $0^{\circ}\text{C}$ . Inversjonen og forurensningsepisoden brøt dermed opp.

Forurensningen var høy den 20.1. og 21.1., med  $\text{SO}_2$ -verdier (døgn) opp mot  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , sotverdier på  $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$  og  $\text{NO}_2$ -verdier opp mot  $190 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Bare 25.1. hadde like høye verdier. Korttids-konsentrasjonene av CO,  $\text{NO}_x$  og  $\text{SO}_2$  på hovedstasjonen var ikke fullt så høye som i de to andre episoder, med CO-verdier opp mot  $16 \text{mg}/\text{m}^3$  (1-time) og  $11 \text{mg}/\text{m}^3$  (8-timer), 1-times  $\text{NO}_x$ -verdier opp mot  $1400 \mu\text{g}/\text{m}^3$  og  $\text{SO}_2$  opp mot  $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Figur 48 viser observasjoner av forurensning på hovedstasjonen, samt meteorologi i Bergen sentrum. Figur 49 viser samtidige 6-timesverdier av  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_2$ , sot, bly og svevestøv på alle stasjoner.

20. januar (fredag):

Det var klarvær hele dagen. Inversjonen bygde seg opp om morgenen, og inversjonshøyden økte opp mot ca. 100 meter. Midt på dagen ble inversjonen nær brutt opp på grunn av solinnstrålingen og temperaturøkning ved bakken, men den bygde seg opp igjen utover ettermiddagen og kvelden til ca. 150 meters høyde.

Vinden var svak og sørøstlig over sentrum. Forurensningsnivået var høyest kl 1400-2000, på grunn av akkumulering av utslippene utover dagen. Alle stasjoner i området hadde forurensningstopp da (se figur 49), selv Hop skole, som ligger i det relativt åpne Nesttun-området.

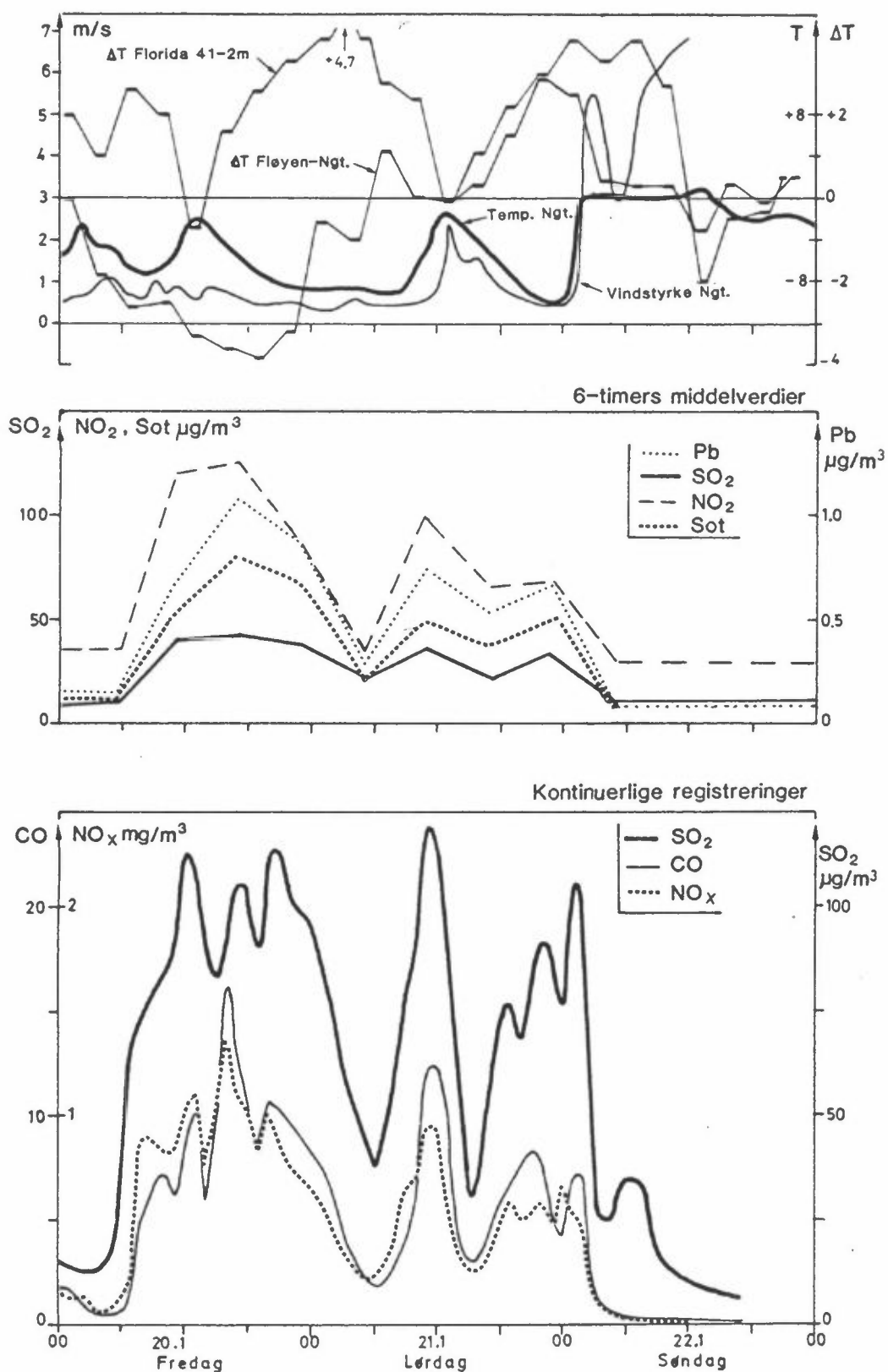
21. januar (lørdag):

Natt til lørdag var det sterk inversjon opp til 50 meters høyde (temperatur-forskjell  $4^{\circ}\text{C}$ ). Utover formiddagen bygde dette seg opp til ca. 100 meter. Den ble svekket midt på dagen av en kombinasjon av sol og delvis skydekke, men bygde seg opp til en svært sterk inversjon utover kvelden med temperatur-forskjell på  $6^{\circ}\text{C}$  opp til ca. 100 meter kl 2200.

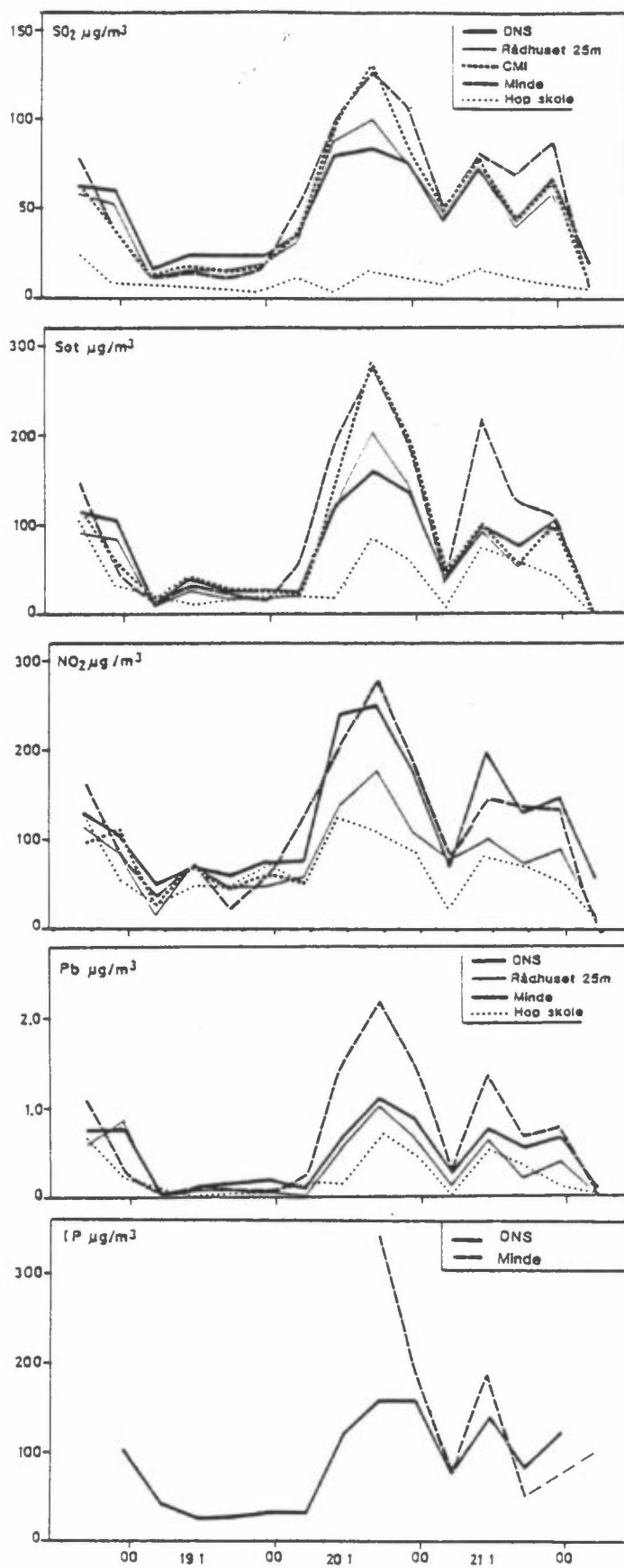
Utslippene er mindre på lørdager enn på virkedager. Forurensningsnivået ble derfor ikke fullt så høyt som dagen før. Forurensningsnivået lørdag kveld var likevel høyt tatt i betraktning det moderate utslippet fra biltrafikken. Det høye nivået lørdag kveld kan tilskrives virkningen av den meget sterke inversjonen som da bygde seg opp.

22. januar (søndag):

Inversjonen og forurensningsnivået holdt seg til ca. kl 0200, da man fikk den meget sterke vindøkningen fra sør, med dramatisk temperaturøkning fra  $-7^{\circ}\text{C}$  til  $0^{\circ}\text{C}$  i løpet av mindre enn en time. Episoden "blåste bort", og forurensningsnivået var svært lavt resten av dagen.



Figur 48: Forurensningsepisode 20.-22.1.1984. Forurensningsmålinger på hovedstasjonen (DNS) og meteorologi på Florida, Nygårdstangen og Fløyen.



Figur 49: Forurensningsepisode 20.-22.1.1984. 6 timesverdier av forurensning på en rekke stasjoner.



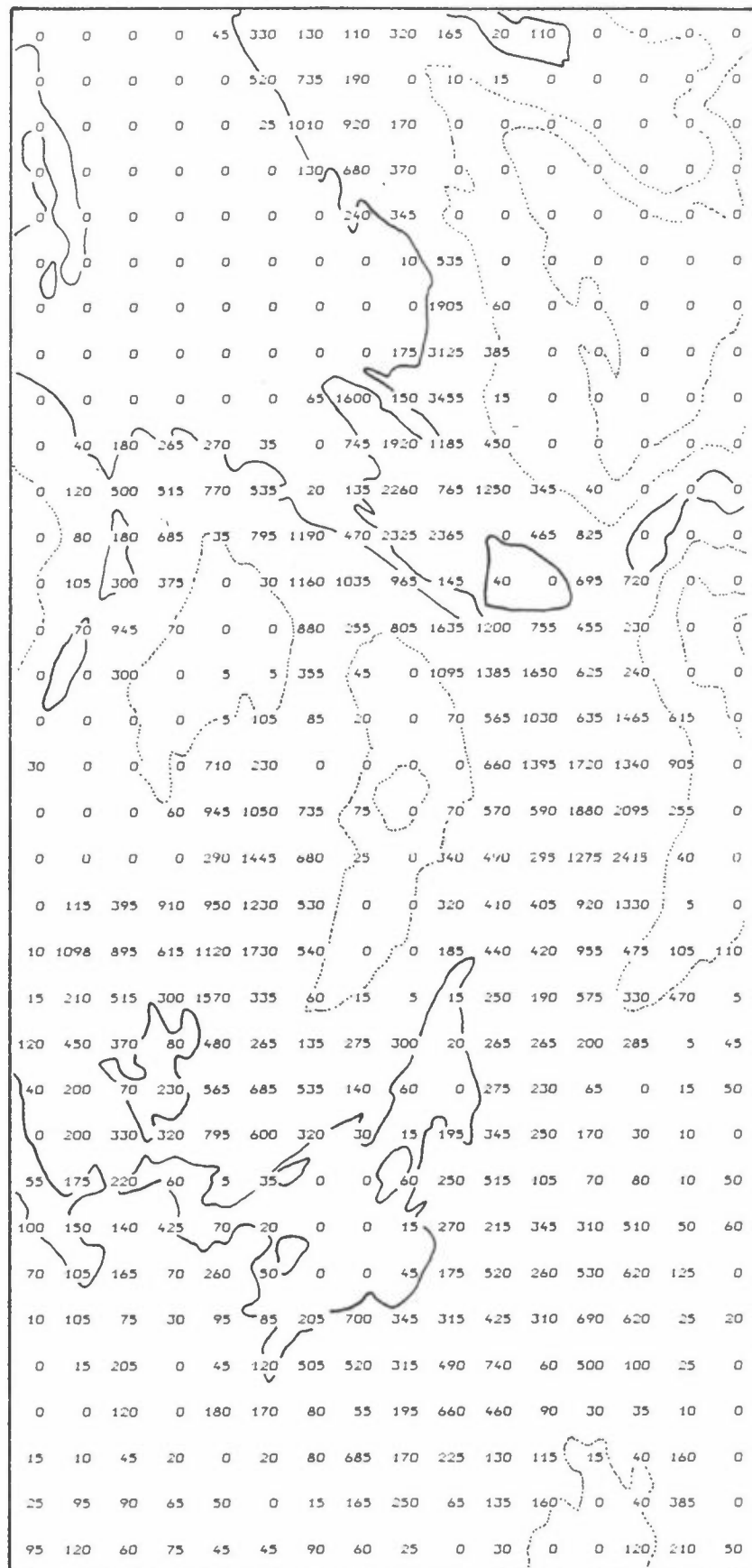
#### GRUNNLAGSMATERIALE 4 - BEFOLKNINGENS EKSPONERING TIL LUFTFORURENSNINGER

Befolkningens eksponering for luftforurensninger er beregnet på grunnlag av målt luftkvalitet, beregnede forurensningsfelter og bosetningsfordeling. En vurdering av mulige helsevirkninger av denne eksponering er utført av Statens institutt for folkehelse (Grunnlagsmateriale 5).

Befolkningen er fordelt i 500-meter-ruter over hele prosjektområdet, på grunnlag av folketellingen i 1980 (figur 50). Dette gir totalt ca 138.500 innbyggere. Oppdelingen på 500-meter-ruter innen hver grunnkrets er gjort ut fra hustettheten og gjennomsnittlig antall beboere pr hus. Luftkvalitetsmålingene har sammen med beregning av forurensningsfelter gitt grunnlag for å fastsette utstrekningen av de områder som har forurensninger over visse nivåer. Det er utført eksponeringsberegninger for  $\text{SO}_2$ , sot,  $\text{NO}_2$ , CO og benzo(a)pyren (BaP).

Under eksponeringsberegningene for  $\text{SO}_2$ , sot,  $\text{NO}_2$  og BaP har en regnet at konsentrasjonen av forurensning ikke varierer innenfor hver rute. I realiteten varierer konsentrasjonen en del innen hver rute, avhengig av avstanden fra kilder (skorsteiner, veier etc.). Når det gjelder CO er det eksponeringen til de som bor eller oppholder seg langs gater som er av størst betydning. Her er området inndelt i delområder avhengig av avstand til gatene.

Det ligger også en usikkerhet i å operere med en statisk befolkningsfordeling. Det enkelte individ forflytter seg innen området og opplever ulik grad av forurensning. Mens kartleggingen baserer seg på utendørs luftkvalitet, vil det enkelte individ i stor grad oppholde seg innendørs, og i noen grad i biler og andre transportmidler. Innendørs luftkvalitet vil skille seg fra utendørs. Tetning, ventilasjon og innendørs kilder (f.eks. tobakkrøyk) er her viktige faktorer. En har i denne undersøkelsen ikke kunnet ta hensyn til disse forhold.



Figur 50: Bosatte i prosjektområdet, fordelt på 500-meter-ruter. Fordelingen på rutene innen hver grunnkrets er estimert etter folketellingen 1980.



Vinteren 1983-84 var meteorologisk sett i gjennomsnitt nokså nær normal mens maksimumskonsentrasjonene som opptrådte i forurensningsepisodene i januar 1984 var noe nær det høyeste en vil få i Bergen med nåværende utslippsforhold. Det innebærer at de eksponeringsresultater som beskrives i det følgende er nær normale når det gjelder vintermiddelverdier og noe nær det maksimale når det gjelder døgnmiddelverdier. Estimatenes av eksponering langs veier gjelder forhold som gjentar seg hver vinter.

Virkingen av de to komponentene svoveldioksid (SO<sub>2</sub>) og sot forsterker hverandre.

Både for SO<sub>2</sub> og sot er følgende grenseverdier for helsevirkninger foreslått:

6 mnd.: 40-60 µg/m<sup>3</sup>.  
1 døgn: 100-150 µg/m<sup>3</sup>

Virkingen av de to komponentene sammen forsterker hverandre. Forslaget til grenseverdier forutsetter at den forurensede luften inneholder begge komponenter. "WHO-ekspertgruppen" har anbefalt at forurensningsnivået for hver av disse komponentene burde ligge under de fastsatte grenseverdiene.

Halvårsmiddelverdien av SO<sub>2</sub> og sot overskred ikke nedre grenseverdi på 40 µg/m<sup>3</sup>. SO<sub>2</sub>-nivået lå under halve grenseverdien, og sotnivået lå maksimalt noe over halve grenseverdien.

Målinger av SO<sub>2</sub> og sot er utført på en rekke stasjoner. Vinteren 1982/83 hadde de fleste stasjonene målinger bare i januar og februar, mens CMI og Kronstad målte i hele vinterhalvåret oktober-mars. Vinteren 1983/84 hadde de fleste stasjoner målinger i perioden november-februar, mens CMI og Kronstad også målte i oktober og mars. Ut fra forholdet mellom konsentrasjonene i ulike måleperioder på CMI og Kronstad, har vi beregnet halvårsmiddel-konsentrasjoner på alle stasjonene for hele vinterhalvåret (oktober-mars) de to vintrene. Resultatene er gitt i tabell 14.

Tabell 14: Halvårsmiddelverdier (oktober-mars) av SO<sub>2</sub> og sot i Bergen vintrene 1982/83 og 1983/84 (µg/m<sup>3</sup>).

Vinter	1982/83		1983/84	
Stasjon	SO <sub>2</sub>	Sot	SO <sub>2</sub>	Sot
DNS	15	24	16	25
CMI	13	19	15	24
Sandviken	14	20	14	21
Laksevåg	12	17	11	16
Minde*	14	23	14	28
Landås	10	18	9	21
Hop skole	7	15	4	12
Fyllingsdalen			5	12
Rådhuset 5 m	15	20		
Rådhuset 25 m	14	19	16	22
Rådhuset 50 m	14	17		
Fjellien	8	9		
Skansemyren	7	8		
Kronstad	13	20	17	24
Ravneberget	7	8	6	6

\*Kan være noe trafikkeksponert (sot) og er ikke nødvendigvis områderepresentativ.

Målingene av SO<sub>2</sub> viser at middelveidene på alle stasjonene var under halvparten av nedre grenseverdi begge vintrene. For sot var det en tendens til litt høyere verdier vinteren 1983/84 enn vinteren 1982/83. Stasjonene i sentrumsområdet og langs dalaksen opp til Landås hadde middelveidier litt over halvparten av nedre grenseverdi. Litt høyere konsentrasjoner den andre vinteren skyldes hovedsakelig meteorologiske forhold. Spesielt januar 1984 var kaldere enn normalt, mens januar 1983 var mild.

Ut fra målinger av  $\text{SO}_2$  og sot og beregninger av konsentrasjonsfelt av  $\text{SO}_2$  ved hjelp av matematiske spredningsmodeller, har vi kommet fram til konsentrasjonsfelt som vist i figurene 51-52. Siden bare sot viste verdier over  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , er bare sotfeltet tegnet. Ut fra disse figurene og befolkningsfordelingen i området, har vi beregnet følgende eksponering for  $\text{SO}_2$  og sot (halvårsverdier) i Bergensområdet, se tabell 15.

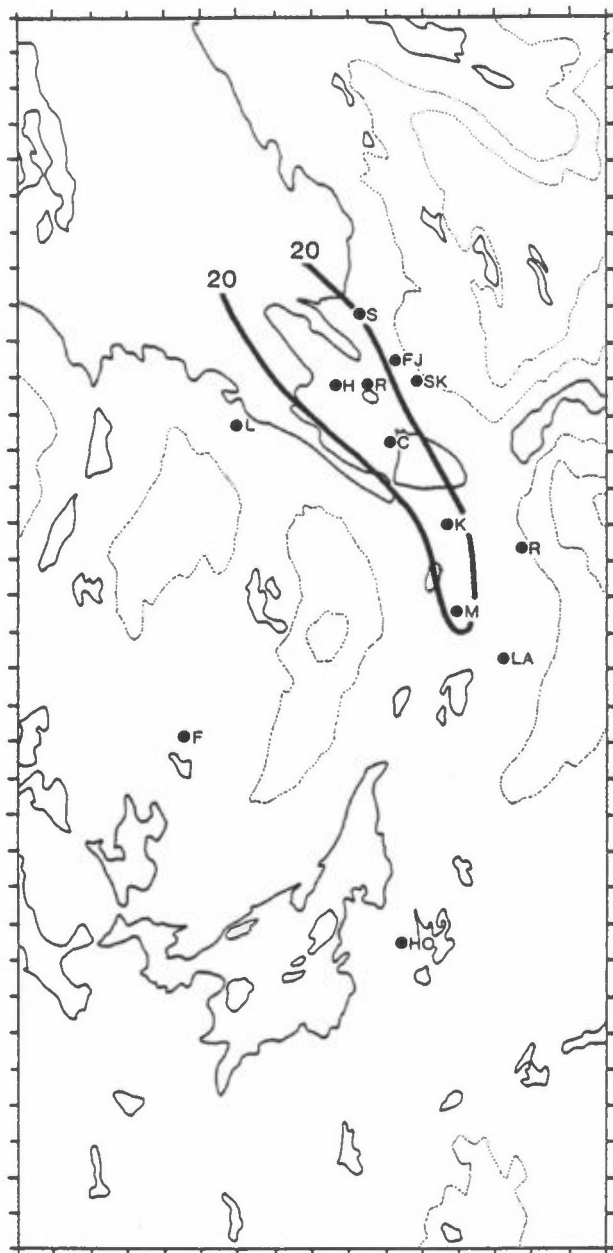
Tabell 15: Samtidig eksponering for  $\text{SO}_2$  og sot, halvårsmiddelverdier (antall eksponerte personer).

Vinterhalvår	Middelverdi av $\text{SO}_2$  ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Middelverdi av sot ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
1982/83	<20	21.000
1983/84	<20	24.000

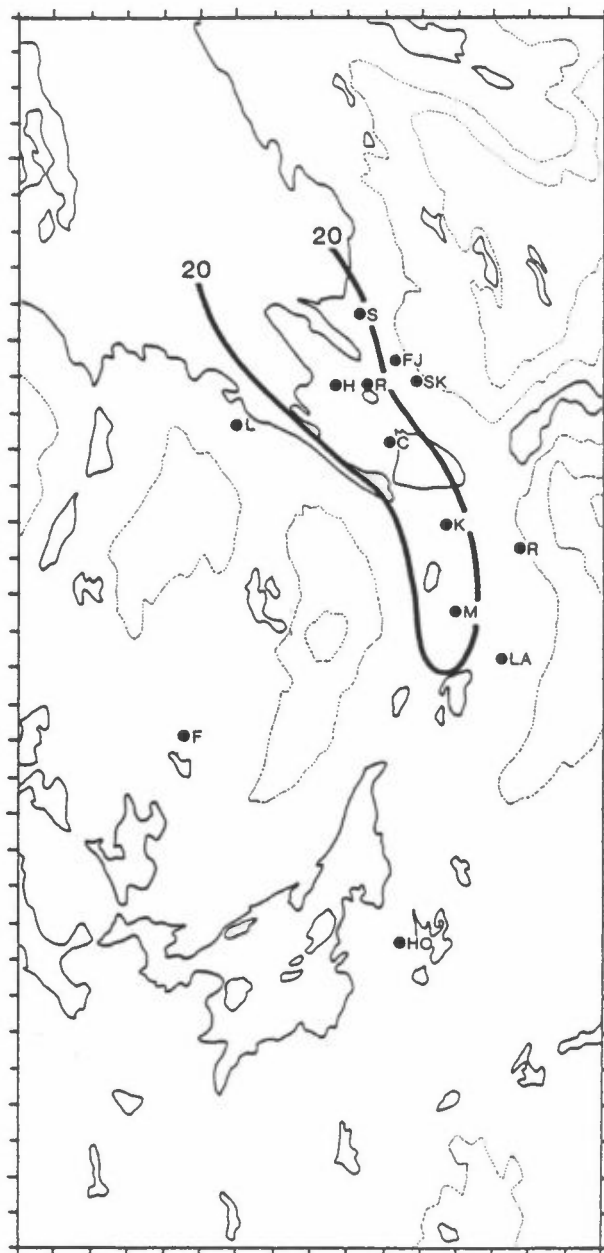
I hele undersøkelsesområdet bor det knapt 140.000 personer. Av disse var altså 20-25.000 personer eksponert for sotverdier over  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  vinterstid. Den samtidige middelverdien av  $\text{SO}_2$  var under  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Anslagsvis 13.000 mennesker bor i områder der døgnmiddelverdiene av  $\text{SO}_2$  og sot vinteren 1983/84 begge overskred nedre grenseverdi på  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Rundt 10.000 mennesker bor i områder der øvre grenseverdi for sot ( $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) ble overskredet.

Den samtidige døgneksponeringen for  $\text{SO}_2$  og sot er vanskeligere å beregne enn halvårsmiddeleksponeringen. Dette skyldes at de maksimale døgnverdiene av  $\text{SO}_2$  og sot kan inntreffe på forskjellige dager på de ulike stasjonene og heller ikke på samme dag for begge stoffer på hver stasjon. Tabell 16 viser imidlertid at bestemte dager eller perioder på noen få dager har gitt maksimale konsentrasjoner av  $\text{SO}_2$  og sot på de fleste stasjonene.



Figur 51: Sot, vinter 1982/83.  
Middelverdi ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) for  
oktober-mars.



Figur 52: Sot, vinter 1983/84.  
Middelverdi ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) for  
oktober-mars.

I tabell 17 er alle samtidige målinger av  $\text{SO}_2$  og sot gruppert i ulike konsentrasjonsnivåer. Tabellen viser eksempelvis at én dag på Landås vinteren 1983/84 hadde  $\text{SO}_2$ -konsentrasjon i intervallet 51-100  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  og sot-konsentrasjon i intervallet 101-150  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , mens tabell 16 viser at maksimalverdiene ikke inntraff på samme dag.

Informasjonen i tabellene 16 og 17 er benyttet til å utarbeide konsentrasjonsfelt av samtidig antatt høyeste døgnmiddelverdier av  $\text{SO}_2$  og sot for vintrene 1982/83 og 1983/84, se figurene 53 og 54.

Ut fra disse figurene har vi beregnet følgende eksponeringsdata for døgnmiddelverdier av  $\text{SO}_2$  og sot, se tabell 18.

Tabell 16: Maksimale døgnmiddelkonsentrasjoner av henholdsvis SO<sub>2</sub> og sot (µg/m<sup>3</sup>), dato verdiene opptrer på og døgnmiddelkonsentrasjoner av henholdsvis sot og SO<sub>2</sub> (µg/m<sup>3</sup>) de samme dagene, for vintrene 1982/83 og 1983/84.

Vinter	1982/83 (jan-feb)						1983/84 (nov-feb)					
	SO <sub>2</sub>			Sot			SO <sub>2</sub>			Sot		
Stasjon	Maks. SO <sub>2</sub> -verdi	Dato	Tilhørende sotverdi	Maks. sotverdi	Dato	Tilhørende SO <sub>2</sub> -verdi	Maks. SO <sub>2</sub> -verdi	Dato	Tilhørende sotverdi	Maks. sotverdi	Dato	Tilhørende SO <sub>2</sub> -verdi
DNS	55	8.2	79	79	8.2	55	103	25.1	111	129	19.12	79
CMI	49	8.2	71	71	8.2	49	111	25.1	168	168	25.1	111
Sandviken	54	8.2	79	79	8.2	54	75	25.1	79	79	25.1	75
Laksevåg	36	8.2	45	45	8.2	36	63	25.1	57	61	9.2	29
Minde	49	7.2	56	113	8.2	47	114	24.1	175	175	24.1	114
Landås	36	14.1	37	81	8.2	23	56	28.1	61	115	19.12	41
Hop skole	18	17.2	46	55	14.2	9	24	27.1	34	66	18.1	17
Fyllingsdalen							22	27.1	40	62	19.12	17
Rådhuset 5 m	65	18.2	45	78	8.2	50	108	25.1	136	136	25.1	108
Rådhuset 25 m	58	8.2	78	78	8.2	58						
Rådhuset 50 m	50	15.2	37	75	8.2	47						
Fjellien	38	15.2	22	39	17.2	25						
Skansemyren	31	15.2	18	28	8.2	20						
Kronstad	56	8.2	82	82	8.2	56	91	25.1	131	133	20.1	81
Ravneberget	27	17.2	52	52	17.2	27	27	28.1	20	22	9.11	13

Tabell 17: Antall samtidige døgnmiddelkonsentrasjoner av SO<sub>2</sub> og sot gruppert i ulike konsentrasjonsnivåer vinteren 1982/83 (jan-feb) og vinteren 1983/84 (nov-feb).

Stasjon	SO <sub>2</sub> -konsentrasjon (µg/m <sup>3</sup> )	Sot-konsentrasjon (µg/m <sup>3</sup> )												Sum antall observasjoner	
		0-50		51-100		101-150		151-200		82/83		83/84			
		82/83	83/84	82/83	83/84	82/83	83/84	82/83	83/84	82/83	83/84	82/83	83/84	82/83	83/84
DNS	0-50	47	105	3	5									50	110
	51-100		2	1	4		2							1	8
	101-150						1								1
CMI	0-50	56	102	3	7									59	111
	51-100		1		2		2								6
	101-150														1
Sandviken	0-50	42	101	1	4									43	105
	51-100		2	1	4									1	6
Laksevåg	0-50	50	114		2									50	116
	51-100		1		2										3

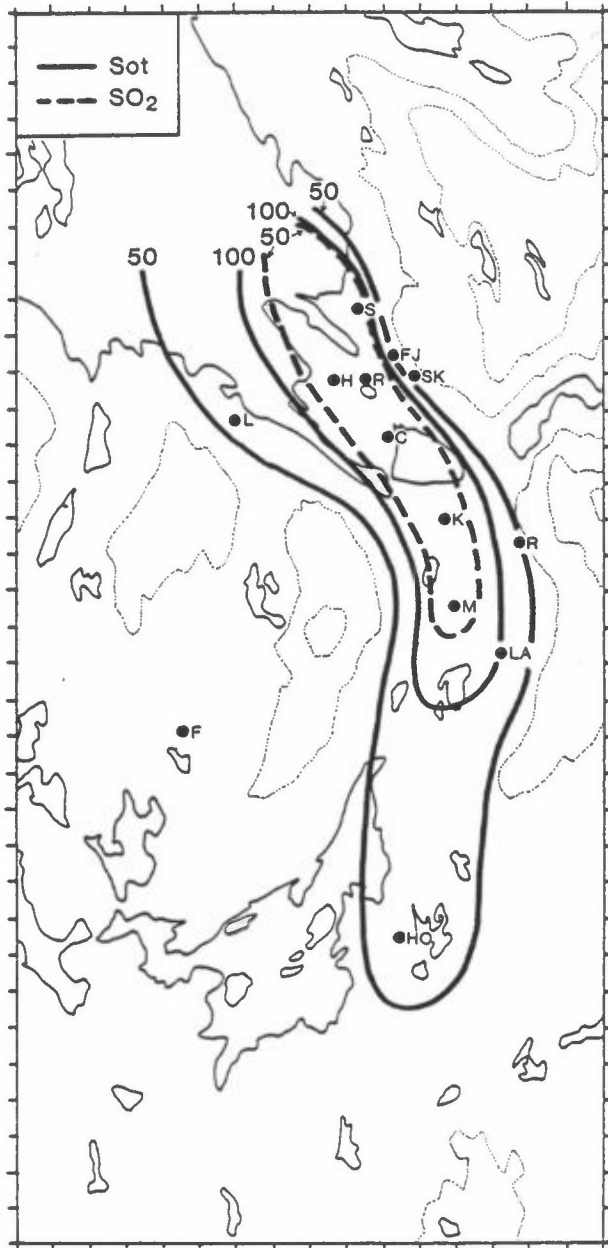
Tabell 17 forts.

Stasjon	SO <sub>2</sub> - konsentrasjon (µg/m <sup>3</sup> )	Sot-konsentrasjon (µg/m <sup>3</sup> )												Sum antall observasjoner	
		0-50		51-100		101-150		151-200		82/83		83/84			
		82/83	83/84	82/83	83/84	82/83	83/84	82/83	83/84	82/83	83/84	82/83	83/84	82/83	83/84
Minde	0- 50	33	89	6	14	1							40		
	51-100		3		4							1		105	
	101-150											1		10	
Landås	0- 50	47	68	3	8								50	78	
	51-100				1							1		2	
Hop skole	0- 50	46	87	1	4								47	91	
Fyllingsdalen	0- 50		116		2									118	
Rådhuset 5 m	0- 50	48		3										51	
	51-100	1												1	
Rådhuset 25 m	0- 50	50	106	1	5								51	111	
	51-100			1	5							2	1	7	
	101-150											1		1	

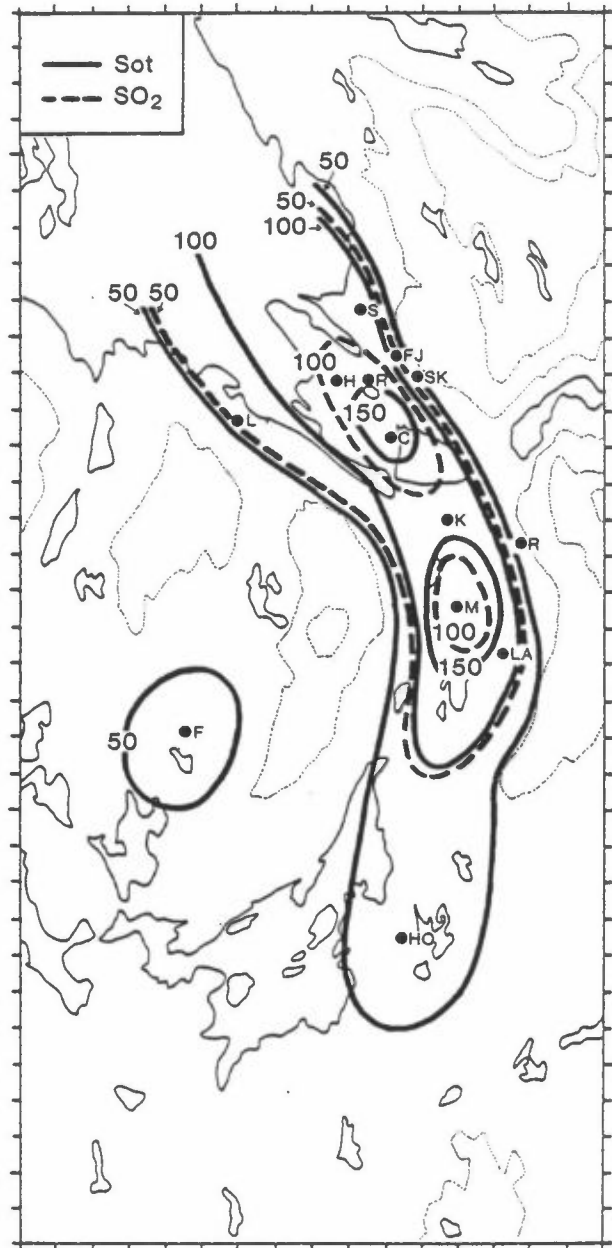


Tabell 17 forts.

Stasjon	SO <sub>2</sub> - konsentrasjon (µg/m <sup>3</sup> )	Sot-konsentrasjon (µg/m <sup>3</sup> )												Sum antall observasjoner		
		0-50		51-100		101-150		151-200								
		82/83	83/84	82/83	83/84	82/83	83/84	82/83	83/84	82/83	83/84	82/83	83/84	82/83	83/84	
Rådhuset 50 m	0- 50	50		1											51	
Fjellien	0- 50	51													51	
Skansemyren	0- 50	50													50	
Kronstad	0- 50	50	99	3	5					2				53	106	
	51-100			1	4					4				1	8	
Ravneberget	0- 50	58	120	1										59	120	



Figur 53: SO<sub>2</sub> og sot, vinter 1983.  
Maksimale, samtidige  
døgnmiddelverdier ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )



Figur 54: SO<sub>2</sub> og sot, vinter 1983/84.  
Maksimale, samtidige  
døgnmiddelverdier ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

Tabell 18: Samtidig eksponering for SO<sub>2</sub> og sot, høyeste døgnmiddelverdier (antall eksponerte personer<sup>2</sup>).

	Høyeste døgnmiddelverdi av sot ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Samtidig høyeste døgnmiddelverdi av SO <sub>2</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )			Sum antall eksponerte personer
		0-50	51-100	101-150	
Vinter 1982/83	51-100	28.000	0	0	28.000
	101-150	11.000	23.000	0	34.000
Vinter 1983/84	51-100	27.000	8.000	0	35.000
	101-150	0	23.000	6.000	29.000
	151-200	0	3.000	7.000	10.000

Tabellen viser at langt flere personer var eksponert for høye døgnmiddelverdier av SO<sub>2</sub> og sot enn for høye halvårsmiddelverdier. Høyere konsentrasjoner vinteren 1983/84 medførte flere eksponerte personer denne vinteren. F.eks. var 13.000 personer eksponert for samtidige døgnmiddelverdier av sot og SO<sub>2</sub> over nedre grenseverdi.

For NO<sub>2</sub> er det foreslått grenseverdier for halvårsmiddel-, døgnmiddel- og timesmiddelverdi.

For NO<sub>2</sub> er følgende grenseverdier foreslått:

6 mnd.: 75  $\mu\text{g}/\text{m}^3$

1 døgn: 100-150  $\mu\text{g}/\text{m}^3$

1 time: 200-350 "

Døgnmålinger er utført på DNS, CMI, Sandviken, Minde, Hop skole, Rådhuset og Skansemyren (bare vinteren 1982/83). DNS har også hatt kontinuerlige målinger (verdier gitt som timesmiddelverdier).

Halvårsmiddelverdien for NO<sub>2</sub> ble ikke overskredet i Bergen i løpet av måleperioden, bortsett fra tett ved de sterkest trafikkerte veiene. Anslagsvis 39.000 mennesker bor i områder der halvårsmiddelverdien var over 40 µg/m<sup>3</sup>.

Målte middelverdier for de to vintrene 1982/83 (jan-feb) og 1983/84 (nov-feb) er gitt i tabell 19.

Tabell 19: Middelverdier av NO<sub>2</sub> (µg/m<sup>3</sup>)

<sup>1</sup> Bare februar

<sup>2</sup> Bare januar

Stasjon	Jan-feb 1983	Nov 1983-feb 1984
DNS	52	58
CMI	44	43
Sandviken	44 <sup>1</sup>	36
Minde	42	47
Hop skole	38 <sup>1</sup>	~29
Rådhuset 5 m	52	
Rådhuset 25 m		48
Rådhuset 50 m	55	
Skansemyren	12 <sup>2</sup>	

Da ingen av stasjonene har hatt målinger i hele vinterhalvåret er det vanskelig å beregne halvårsmiddelverdier. Erfaring fra andre steder og målinger på DNS i mai-juni 1983 tyder på at NO<sub>2</sub>-konsentrasjonen varierer mindre fra måned til måned enn SO<sub>2</sub>- og sot-konsentrasjonen. Det antas derfor at målingene vinteren 1983/84 gir et rimelig godt bilde av halvårsmiddelverdiene.

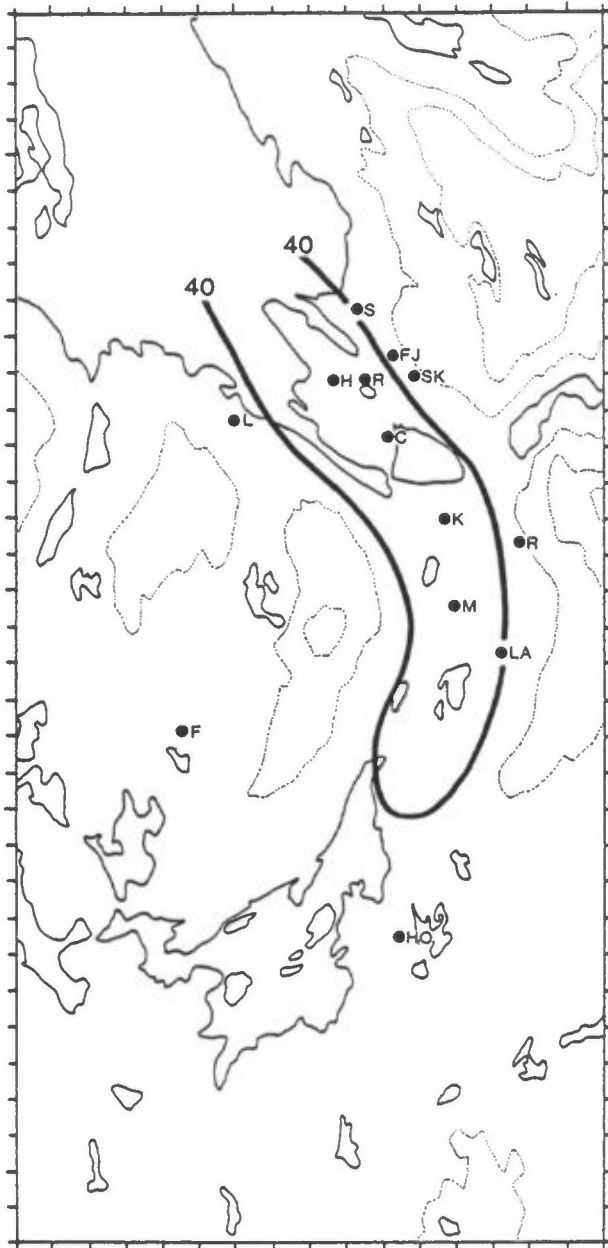
På grunnlag av målingene i perioden november 1983 - februar 1984 har vi i figur 55 vist middelkonsentrasjonsfeltet av NO<sub>2</sub> om vinteren i Bergen. Alle stasjonene hadde verdier klart under grenseverdien på 75 µg/m<sup>3</sup>. På grunnlag av figur 55 er det beregnet at ca 39.000 personer bor i områder hvor middelkonsentrasjonen av NO<sub>2</sub> om vinteren er over 40 µg/m<sup>3</sup> (halve grenseverdien).

Ca 13.000 mennesker bor i områder der øvre grenseverdi for NO<sub>2</sub> (døgnmiddelverdi) overskrides. Tilsvarende tall for nedre grenseverdi er 46.000 mennesker.

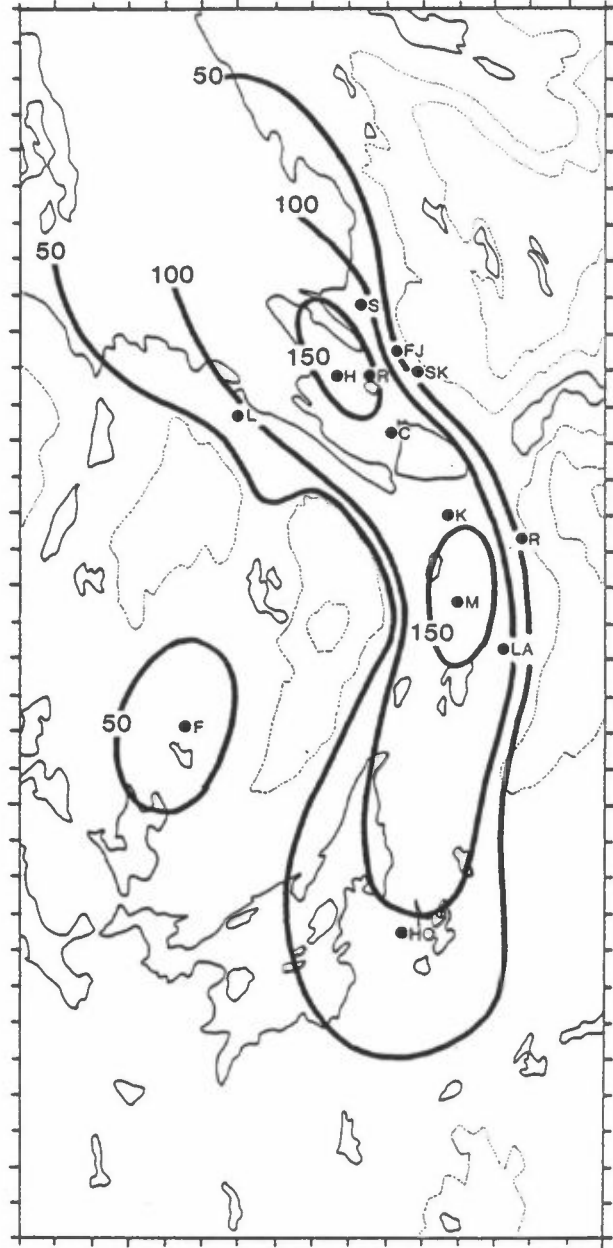
Tabell 20 viser høyeste døgnmiddelverdi av NO<sub>2</sub> hver av de to vintrene 1982/83 (jan-feb) og 1983/84 (nov-feb) og antall verdier i ulike konsentrasjonsnivåer. De høyeste verdiene ble målt vinteren 1983/84 (i januar). Nedre grenseverdi ble overskredet på alle stasjoner unntatt Hop skole denne vinteren. Øvre grenseverdi ble overskredet på DNS, Minde og Rådhuset. I figur 52 er tegnet konsentrasjonsfelt for halvårsmiddelverdi av NO<sub>2</sub> vinteren 1983/84.

På grunnlag av målingene vinteren 1983/84 er det tegnet et konsentrasjonsfelt av NO<sub>2</sub> for maksimale døgnmiddelkonsentrasjoner vinteren 1983/84, se figur 56. Den tegnede kurven for 50 µg/m<sup>3</sup> er mer usikker enn de andre kurvene. Målinger på Skansemyren antyder at de høyereliggende boligområdene nær Bergen sentrum (over ca 100 m o.h.) hadde døgnmiddelverdier under 50 µg/m<sup>3</sup>.

Ut fra figur 56 er det beregnet at følgende antall mennesker har vært eksponert for døgnmiddelverdier i ulike konsentrasjonsintervaller vinteren 1983/84, se tabell 21.



Figur 55: NO<sub>2</sub>, vinter 1983/84,  
Middelværdier (µg/m<sup>3</sup>) for  
november-februar.



Figur 56: NO<sub>2</sub>, vinter 1983/84.  
Maksimale døgnmiddelværdier  
(µg/m<sup>3</sup>).

Tabell 20: Maksimale døgnmiddelkonsentrasjoner av NO<sub>2</sub> og antall observasjoner i ulike konsentrasjonsintervaller vinteren 1982/83 (jan-feb) og vinteren 1983/84 (nov-feb).

Stasjon	Høyeste døgn- middelverdi (µg/m <sup>3</sup> )		NO <sub>2</sub> -konsentrasjon (µg/m <sup>3</sup> )								Sum antall observasjoner	
	82/83 83/84		0-50		51-100		101-150		151-200		82/83 83/84	
	82/83	83/84	82/83	83/84	82/83	83/84	82/83	83/84	82/83	83/84	82/83	83/84
DNS	104	184	27	45	24	56	1	3	1	3	52	105
CMI	92	129	11	79	8	24		2		2	19	105
Sandviken	76	104	31	100	10	11		1		1	41	112
Minde	94	188	30	73	15	39		4	3	4	45	119
Hop skole	74	96	25	73	8	9					33	82
Rådhuset 5 m	111		31		19		2				52	
Rådhuset 25 m		152		68		37		3	1			108
Rådhuset 50 m	122		28		20		4				52	
Skansemyren	24		19								19	

Tabell 21: Eksponering for NO<sub>2</sub> vinteren 1983/84, høyeste døgnmiddelverdi (antall eksponerte<sup>2</sup> personer).

Høyeste døgnmiddelverdi av NO <sub>2</sub> vinteren 1983/84	Antall eksponerte personer
50-100 µg/m <sup>3</sup>	39.000
100-150 "	33.000
150-200 "	13.000

Nedre grenseverdi for 1-times middelverdi av NO<sub>2</sub> overskrides sannsynligvis i vesentlige deler av Bergen sentrum og oppover Bergensdalen forbi Minde, i tillegg til ved boliger langs de sterkest trafikkerte innfartsveiene, der også øvre grenseverdi for timesmiddel kan overskrides.

Et sammendrag av de kontinuerlige målingene i Teaterparken ( DNS) er gitt i tabell 22.

Tabell 22: Resultater av målinger av timesmiddelverdier av NO<sub>2</sub> på DNS.

Periode	Maks. timesmiddel (µg/m <sup>3</sup> )	Antall timer		Ant. times-obs. totalt
		>200 µg/m <sup>3</sup>	>350 µg/m <sup>3</sup>	
Jan-feb 1983	230	3	0	1.132
Nov 1983-feb 1984	640	24	4	2.615

Målingene viser en klar overskridelse av nedre grenseverdi for én time, og at overskridelser forekommer rundt 1% av tiden. Øvre grenseverdi ble også overskredet noen ganger. Selv om timesmålinger ikke ble utført på andre stasjoner antyder disse målingene at nedre grenseverdi for én time



overskrides over et minst like stort område som nedre grenseverdi for døgn-middel. Det er også trolig at øvre grenseverdi overskrides i deler av sentrum og Bergensdalen til forbi Minde.

CO-konsentrasjonen i Bergen overskrider grenseverdien for 8 timer i deler av sentrum og langs de sterkt trafikkerte innfartsveier. Anslagsvis 15.000 mennesker bor eller arbeider tett ved gater der 8-timers-grenseverdien er beregnet å bli overskredet.

For CO er følgende grenseverdier foreslått:

8 timer: 10 mg/m<sup>3</sup>

1 time : 25 "

CO-målingene er utført bare på hovedstasjonen i Teaterparken (Tabell 23).

Tabell 23: Resultater av CO-målingene på DNS.

Periode	Maks. timesmiddel (mg/m <sup>3</sup> )	Ant. timer >25 mg/m <sup>3</sup>	Maks 8-timers middel (mg/m <sup>3</sup> )	Ant. dager med 8-timers middel >10 mg/m <sup>3</sup>	Ant. times observ. totalt
Jan-feb 1983	10	0	6	0	1.295
Nov 1983-feb 1984	23	0	17	5	2.693

Målingene viser at timesmiddelverdien ikke ble overskredet på denne stasjonen, mens 8-timers middelverdien ble overskredet 5 dager vinteren 1983/84.

Målestasjonen lå 50-60 meter fra Engen med trafikk 11.000 biler/døgn, og ca. 20 meter fra bussholdeplass. Målingene antyder at høye CO-verdier ikke bare er knyttet til områder like ved veien, men at deler av Bergen sentrum

generelt har CO-nivåer som i forurensningsepisoder, noen dager i løpet av vinteren, er høyere enn 8-timers grenseverdi.

Det er utført beregninger av hvor høyt CO-nivået er langs gate/vei-nettet i prosjektområdet (se Delrapport C og Datarapport II). Beregningene ga som resultat at CO-nivået ved kjørebane kant overskrider grenseverdien for 8-timers middelvei langs 35-40 km gate- og veistrekninger i prosjektområdet (figur 57). Beregningsmetoden som er brukt (Nordisk beregningsmetode for bilavgasser) er utviklet for veier med tette fasaderekker. Det er tatt hensyn til at denne modellen overvurderer forurensningen endel langs gater med spredt bebyggelse.

Langs disse veiene er det ca 16 fortau-km med tette fasaderekker, og ca 50 fortau-km med spredt bebyggelse (tabell 24) (NB: to fortau-km pr. vei km).

Befolkningens CO-eksponering langs gater og veier anslås på følgende måte:

1. Der det er tette fasaderekker er det hovedsakelig fasadene akkurat langs veien som får høy forurensning. Områdene bak er skjermet av fasadene. Det anslås at hver fasade-meter representerer ca 0.8 boende/arbeidende i de laveste 2 etasjer (2 leiligheter/kontorer/forretninger à 4 personer pr. 10 meter fasadelengde).

Estimatet på ca 0.8 boende/arbeidende i de to laveste etasjer pr fortau-meter svarer til et lignende estimat brukt i tilsvarende eksponeringsberegninger for Oslo.

2. Der det er spredt bebyggelse, vil man få konsentrasjoner over grenseverdien i følgende brede belter på hver side av veien, som funksjon av maksimal CO-konsentrasjon ved kjørebane kant:

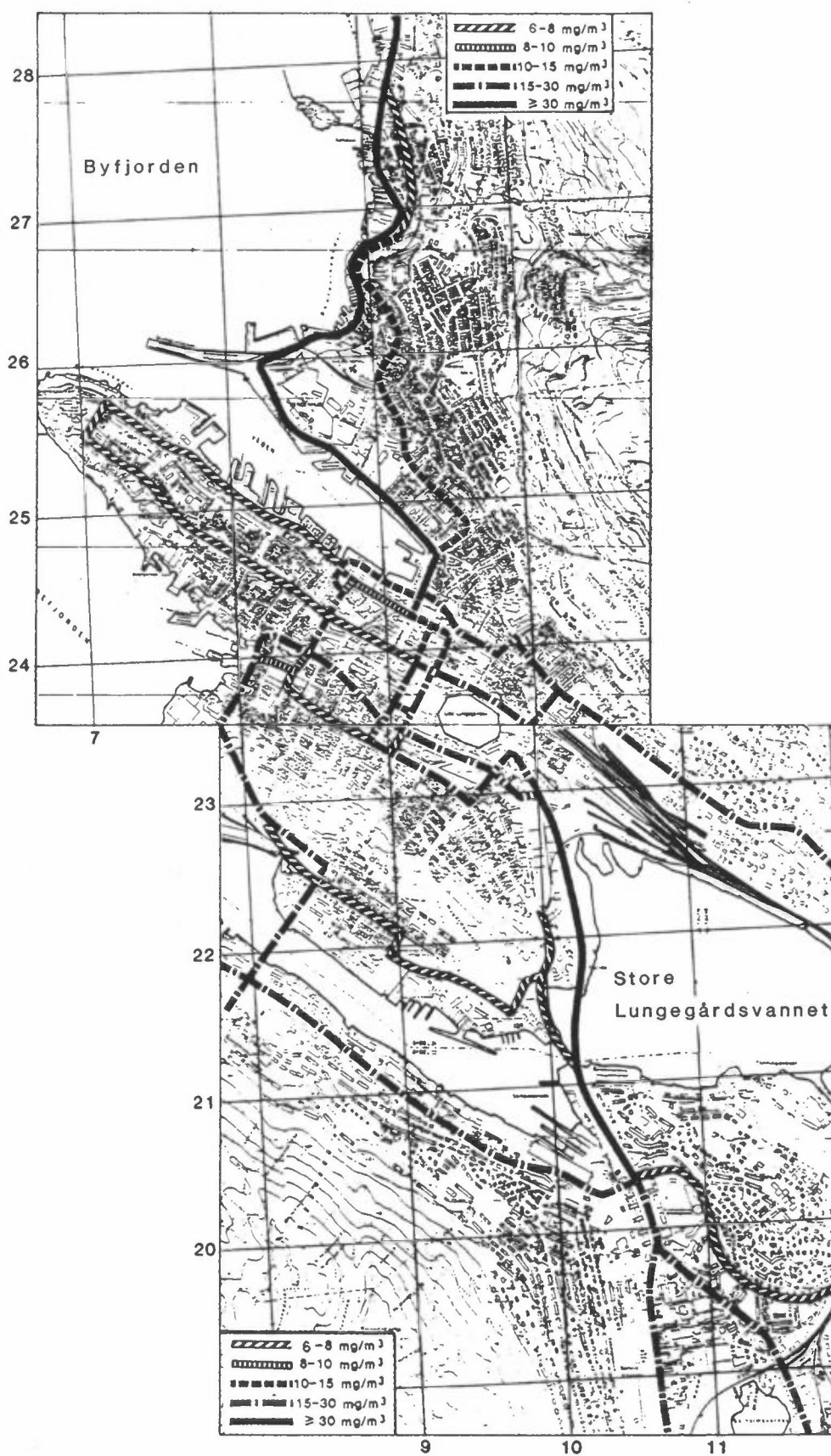
Maks. 8-timers CO ved kjørebane kant $\text{mg}/\text{m}^3$	Bredden av beltet, m
10-15	5
15-23	10
23-30	20
30-45	30
45-60	40
>60	50

Tabell 24: Beregnet antall fortau-km i prosjektområdet med CO-nivå ved kjørebane kant innenfor gitte interval.

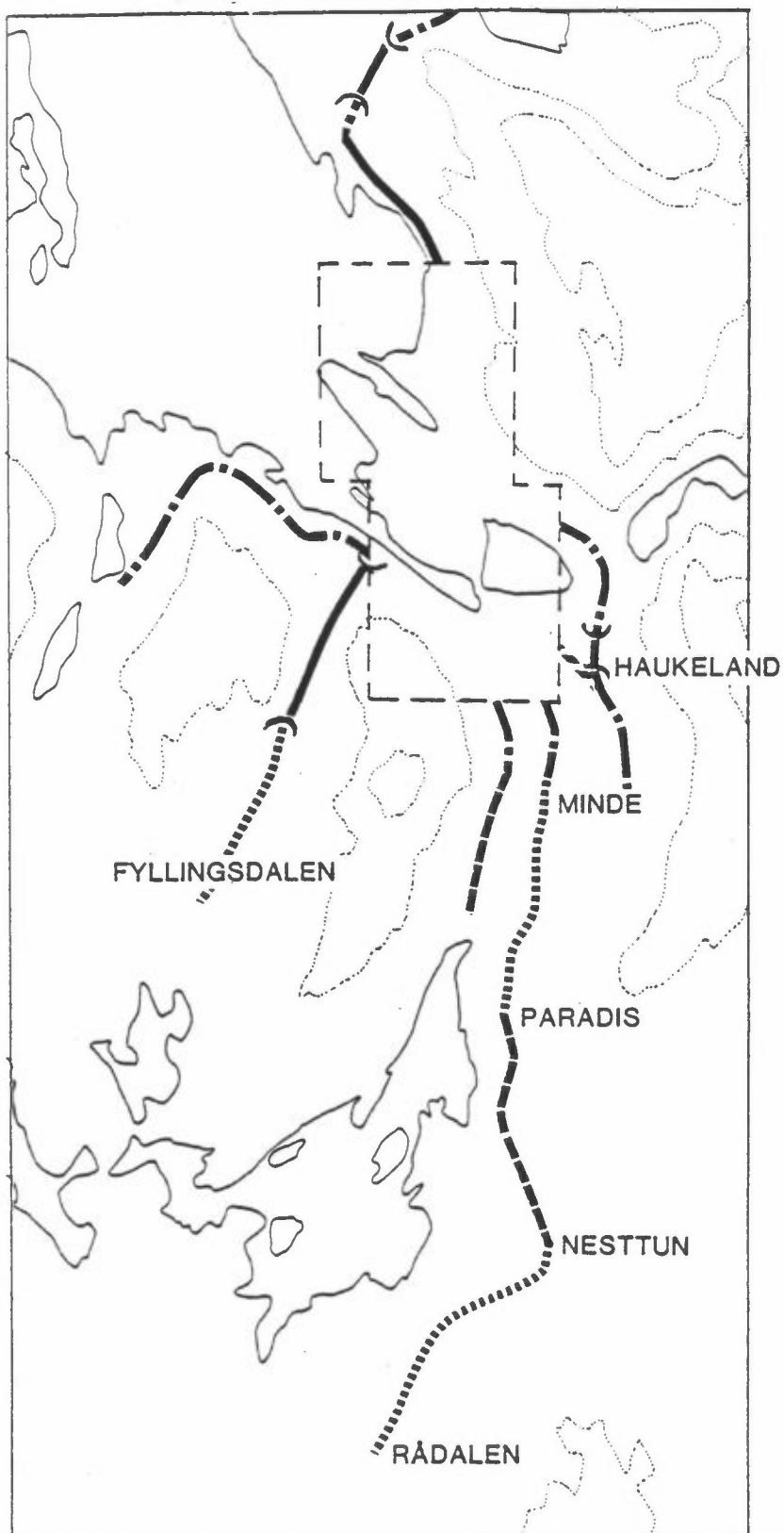
CO-nivå: maks. 8 timers middelverdi (99-prosentilnivå* i parentes)	Antall km fortau med sammenhengende fasaderekke		Antall km fortau med spredt bebyggelse		Sum
	Sentrum**	Utenfor sentrum	Sentrum**	Utenfor sentrum	
> 60 (>40)	0.8	0	4.2	3.4	8.4
45-60 (30-40)	0.2	0	2.0	0	2.2
30-45 (20-30)	2.4	1.1	3.4	9.7	16.6
23-30 (15-20)	4.2	0.8	9.3	7.4	21.7
15-23 (10-15)	2.6	0.2	2.0	7.9	12.7
10-15 ( 6-10)	4.1	0			4.1
Sum	14.3	2.1	20.9	28.4	65.7
	16.4		49.3		

\* 99-prosentil, på årsbasis, av 8 timers middelverdi (dvs. det nivå som overskrides i 1% av tiden).

\*\* Sentrum er her definert som området angitt i figur 57 (utsnittene).



Figur 57: CO. Beregnet konsentrasjon (8-timers middelværdi, 99-prosentilnivå på årsbasis) langs veinettet i Bergen.



Figur 57: forts.

Antall beboere i dette beltet beregnes ut fra befolkningstettheten i området som veien gjennomskjærer. Denne metoden overvurderer eksponeringen langs veier med spredt bebyggelse, og gir derfor en øvre grense for eksponeringen.

På grunnlag av dette beregnes følgende tall for befolkningens eksponering til CO langs gater med tette fasaderekker, tabell 25:

Tabell 25: Eksponering for CO langs gater med tette fasaderekker, høyeste 8-timers middelvei (antall eksponerte personer).

Maks. CO-konsentrasjoner. 8-timers middelvei	Sentrum	Utenfor sentrum	Sum
10-20	5300	200	5500
20-30	3300	600	3900
30-45	1900	900	2800
>45	800	0	800
Sum	11300	1700	13000

På grunnlag av beregningene for spredte veier kan en anslå at høyst 4-5000 personer bor i områder ved veier med spredt bebyggelse, der CO-grenseverdien overskrides.

Disse beregninger gir som resultat at noe over 15.000 personer bor/arbeider i områder langs gater og veier i prosjektområdet der CO-nivået til tider overskrider grenseverdien for 8-timers middelvei. De fleste av disse bor/arbeider i sentrum. Ca. 7.500 bor/arbeider i områder med maksimalt uten-dørs CO-nivå over  $20 \text{ mg/m}^3$ , og ca. 3.500 med maksimalt CO-nivå over  $30 \text{ mg/m}^3$ .

En del av disse personer og også endel personer utover disse vil også på reise til/fra arbeidet i bil/buss kunne få en korttids CO-belastning høyere enn 1-times grenseverdien på  $25 \text{ mg/m}^3$ .

I tillegg til denne eksponeringen langs hovedveinettet må en også regne at CO-nivået i større deler av sentrum, ikke bare umiddelbart ved veinettet, i enkelte episoder vil bli høyere enn 8-timers grenseverdien.

Omtrent 15.000 personer bor i områder der konsentrasjonen av benzo(a)pyren var over  $3 \text{ ng/m}^3$  vinteren 1983-84.

Grenseverdier for benzo(a)pyren (BaP) finnes ikke i Norge. Målinger er utført på DNS og Minde hver 6. dag i perioden november 1983 - februar 1984, i alt henholdsvis 19 og 17 prøver på DNS og Minde.

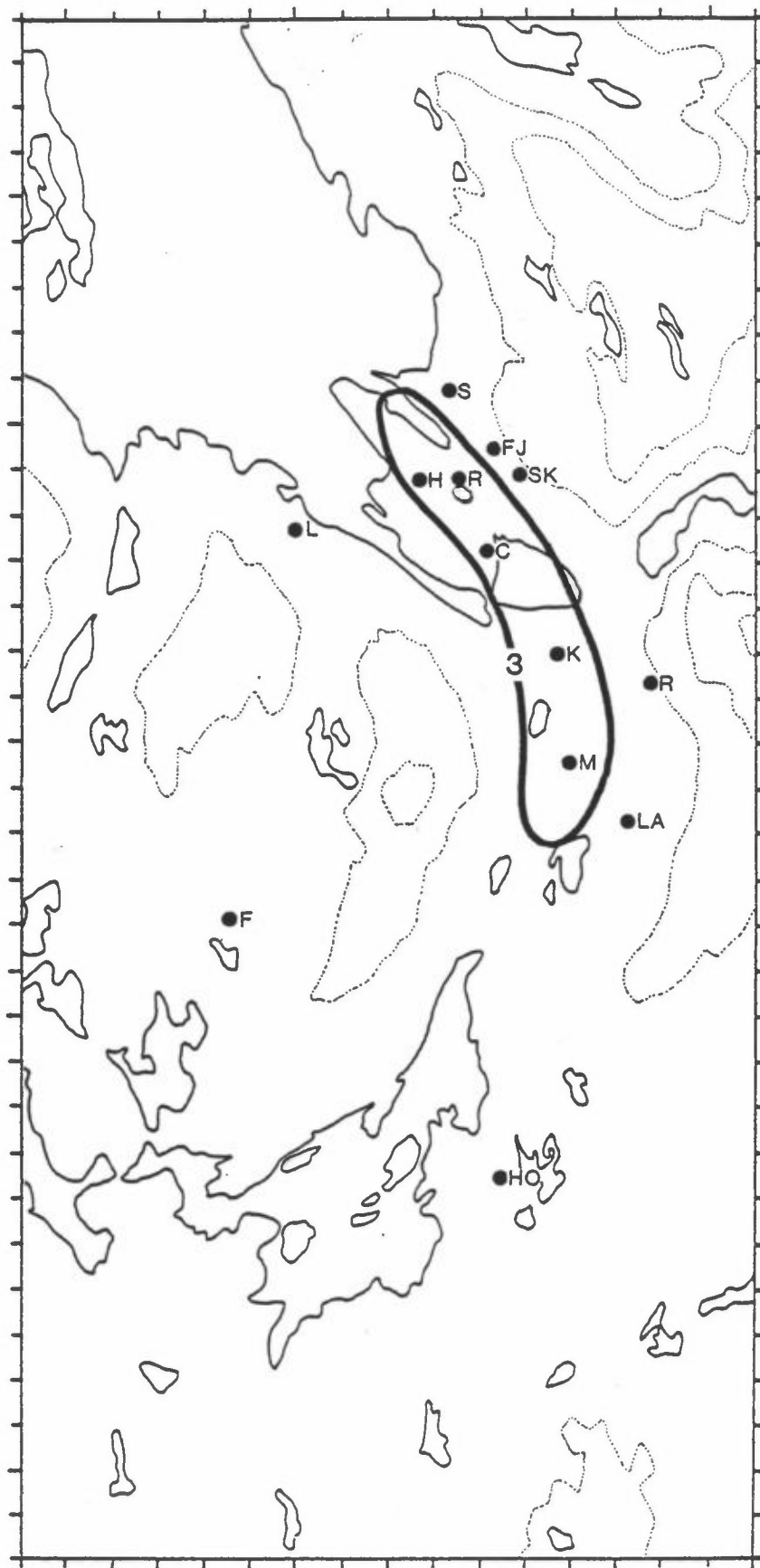
BaP-målingene gav følgende resultater, se tabell 26.

Tabell 26: Resultater av BaP-målingene.

Periode	Nov. 1983 - feb. 1984		
	Maks. døgnverdi ( $\text{ng/m}^3$ )	Middel ( $\text{ng/m}^3$ )	Antall obs.
DNS	11.6	3.1	19
Minde	9.8	3.7	17

Døgnmålingene av BaP og sot antyder en relativt god sammenheng mellom disse stoffene, som er ganske lik den sammenhengen en fant i Sarpsborg/Fredrikstad-området.

I figur 58 har vi på grunnlag av dette tegnet isolinje for en BaP-konsentrasjon på  $3 \text{ ng/m}^3$  for perioden november 1983-februar 1984. Det er beregnet at i alt ca 15.000 personer bor i områder med vintermiddelverdi av BaP over  $3 \text{ ng/m}^3$ .



Figur 58: Benzo(a)pyren, vinter 1983/84.  
Middelverdi (ng/m<sup>3</sup>) for november-februar.



## GRUNNLAGSMATERIALE 5 - HELSEVIRKNINGER AV LUFTFORURENSNINGER I BERGENSOMRÅDET

Laboratoriesjef Jon E. Dahl og Forsker Jan Hongslo

Statens Institutt for Folkehelse

21. mars 1986

### INNLEDNING

Vår vurdering av helsevirkninger av luftforurensninger i Bergensområdet er foretatt med utgangspunkt i den forurensningskartlegging som er utført av Norsk institutt for luftforskning (NILU) i perioden 1983-1984. Vi har benyttet tilgjengelige data om luftkvalitet og eksponeringsberegninger (se Grunnlagsmateriale 2, 3 og 4) samt de tilhørende delrapporter. Helsevurderingene omfatter komponentene svoveldioksid og sot, nitrogenoksider, karbonmonoksid og det polysykliske aromatiske hydrokarbonet benz(a)pyren.

Ved luftkvalitetsundersøkelsen ble det skaffet oversikt over konsentrasjonen av de nevnte komponenter. Eksponeringsberegningene tar hensyn til hvor folket bor, og gir et bilde på den luftforurensning befolkningen utsettes for, dersom den skulle være stasjonær. Imidlertid forflytter det enkelte individ seg innen ulike "mikromiljøer" med ulik grad av luftforurensning. Mens kartlegging baserer seg på uteluftkvalitet, vil det enkelte individ i stor grad oppholde seg innendørs og i noen grad i biler og kollektive transportmidler. Den innendørs luftforurensning vil i kvalitet og kvantitet være noe forskjellig fra uteluft og påvirket av faktorer som tetning, ventilasjonsgrad og lokale innendørs forurensningskilder (eks. tobakksrøyk) (1,2). Eksponeringsberegningene gir derfor et relativt grovt estimat for den luftforurensning som befolkningen utsettes for. Det kunne være ønskelig å utvikle eksponeringsberegningsmodeller hvor det også i en viss grad ble tatt hensyn til befolkningens adferdsmønster.

På den helsemessige siden er det samtidig store vanskeligheter med å finne forholdet mellom dose og effekt for de enkelte komponenter. Dosen som er den mengde som tilføres det vev eller organ hvor skaden opptrer (målorganet), lar seg vanskelig bestemme. Forhold ved forurensningskomponentene som retensjon i lungene, absorpsjon og transport til målorganet er bestemmende for tilført dose, men dessverre ofte lite kjent. Videre vil individuelle forhold som pustemåte (nese/munn) og grad av fysisk aktivitet som igjen regulerer pustedybde og -frekvens, være av betydning for tilført mengde luftforurensning. Dosebegrepet er derfor erstattet med konsentrasjonen av den enkelte komponent i omgivelsesluften og et anslag over eksponeringstid. Det er også relativt sparsomt med data over helsevirkninger av luftforurensning, og spesielt gjelder dette for langtidseffekter. De data som man har basert sine grenseverdier på (3), bygger i stor grad på resultater fra korttidseksponering av frivillige forsøkspersoner, høygradig eksponering i yrkesatmosfærer og dyreforsøk. I sistnevnte tilfelle er det alltid en rekke usikkerheter ved å ekstrapolere data over til den humane situasjon.

Det foreligger ingen undersøkelser over sykkelighet assosiert med luftforurensning i Bergen. I et utvalg av Oslos befolkning hadde 5.3% av mennene og 5.7% av kvinnene i aldersgruppen 16-69 år obstruktiv lungesykdom, og av disse var 1/4 astmatikere. I samme gruppe hadde 41% av mennene og 36% av kvinnene symptomer fra luftveiene som kunne betraktes som første tegn på obstruktiv lungesykdom (4). Selv om resultatene kun er fra et utvalg av Oslos befolkning, er det trolig at resultatene også kan anvendes på Bergens befolkning. I de bymessige strøk av Hordaland ble det i 1984 registrert 69 tilfeller av kreft i luftveiene hos menn og 22 tilfelle hos kvinner (5). I tillegg vil et stort antall mennesker med hjerte-/blodkarlidelser i mange situasjoner være de mest sårbare for luftforurensninger. En norsk undersøkelse viser at 6.4% av befolkningen lider av hjerte-/karsykdommer, og at antallet øker med alderen (14% i aldersgruppen 50-69 år, 25% i aldersgruppen over 70 år) (6). Omtrent halvparten av alle dødsfall i Norge skyldes hjerte-/karsykdommer. Man har svært begrensede kunnskaper om de effekter luftforurensninger har på barn, men det er trolig at barn vil kunne påvirkes mer av luftforurensninger enn voksne. Disse antagelser bygger på kunnskaper om andre stoffer som legemidler og deres effekter på barn. Videre er det trolig at barn kan ha et noe mindre velutviklet forsvarsapparat enn voksne,

og endelig synes den høyere fysiske aktivitet som finnes hos barn, å være ufordelaktig med tanke på tilført totaldose av luftforurensninger.

#### EFFEKTER AV ENKELTKOMPONENTER

Helseeffekter av luftforurensninger i det enkelte individ vil være den samlede effekt av samtlige forurensningskomponenter. Disse komponenter kan ha innbyrdes forsterkende effekter. Datagrunnlaget for å gi en slik samlet vurdering, er imidlertid ikke tilstede. Man må derfor vurdere enkeltkomponenter og se på deres effekter separat. En slik vurdering vil bli gitt i det følgende. Resultatet fra luftkvalitetsundersøkelsene og eksponeringsberegningene vil bli vurdert opp mot de kunnskaper man har om enkeltstoffenes helseskadelige potensiale og mot de eksisterende forslag til grenseverdier for luftkvalitet (3) (se også Grunnlagsmateriale 8).

#### **SVOVELDIOKSID OG SVEVESTØV (SOT)**

Eksponering for kombinasjonen  $\text{SO}_2$  og svevestøv fører i første rekke til økt hyppighet av luftveissykdommer og luftveissymptomer, bl a økt luftveismotstand.

Disse komponentene opptrer oftest sammen i forurenset luft. Det har derfor ikke vært mulig å skille deres helseeffekter fra hverandre i de epidemiologiske undersøkelsene som er basis for anbefalte grenseverdier, også for grenseverdiforslaget fra SFT (3). Forslaget til grenseverdier forutsetter derfor at luften inneholder begge komponentene, og at svevestøv måles som sot. Eksperimenter med mennesker og dyr har gitt holdepunkter for at virkningene av  $\text{SO}_2$  i luftveiene i stor grad er avhengig av at svevestøv også er tilstede. Dette kan tyde på en viss forsterkende effekt mellom  $\text{SO}_2$  og svevestøv.

Imidlertid vet man lite om helseeffektene av hver av komponentene alene, slik at en ekspertgruppe oppnevnt av WHO har anbefalt at forurensningsnivået

av  $\text{SO}_2$  og svevestøv også hver for seg bør ligge under de foreslåtte grenseverdiene (7). I reelle forurensningssituasjoner vil dessuten også begge komponentene være tilstede i tilstrekkelig høye konsentrasjoner til at kravet om samtidig eksponering etter vår mening vil være oppfylt.

WHO-ekspertene (7) har foreslått veiledende retningslinjer for 24-timers og 1-års eksponering for kombinasjoner av de to komponentene. For kortere eksponeringstid har de ikke funnet dataunderlaget tilstrekkelig til å komme med anbefalinger. Pga de store usikkerhetene i kunnskaper i sammenhengen mellom eksponering og helseeffekter, har ekspertene innarbeidet en "sikkerhetsfaktor" på 2 i forhold til de terskel-konsentrasjoner som har gitt påviselige effekter. Denne sikkerhetsfaktor kan synes å være liten. Det norske forslaget til grenseverdier for de to komponentene (3) slutter seg til WHO-anbefalingen, med den modifikasjon at 1-års verdien gjøres gjeldende for 1/2-år for å unngå for høy belastning i vinterhalvåret.

Halvårsmiddelverdier. Målinger av  $\text{SO}_2$  og sot er utført på en rekke målestasjoner gjennom vintrene 82-83 og 83-84. To av målestasjonene målte gjennom hele vinterhalvåret (oktober-mars). Ut fra disse målingene er halvårsmiddel-konsentrasjoner beregnet på alle målestasjonene for hele vinterhalvåret. Halvårsmiddelverdiene for  $\text{SO}_2$  på alle målestasjonene var under halvparten av nedre grenseverdi. For både sot og  $\text{SO}_2$  var det en tendens til litt høyere verdier vinteren 1983-84 enn vinteren 1982-83. Stasjonene i sentrumsområdet og langs dalaksen opp til Landås hadde middelverdier litt over halvparten av nedre grenseverdi. Litt høyere konsentrasjoner den andre vinteren skyldes hovedsakelig meteorologiske forhold. Spesielt januar 1984 var kaldere enn normalt, mens januar 1983 var mild.

Ut fra målinger av  $\text{SO}_2$  og sot og beregninger ved hjelp av matematiske spredningsmodeller har man kommet fram til konsentrasjonsfelt. Ut fra disse konsentrasjonsfelt og befolkningsfordelingen i området er befolkningseksponering for  $\text{SO}_2$  og sot (halvårsverdier) i Bergensområdet beregnet (Grunnlagsmateriale 4).

Ifølge denne beregningen bodde 21.000 personer vinteren 82/83 og 24.000 personer vinteren 83/84 i områder der halvårsmiddelverdien av sot var mellom nedre grenseverdi ( $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) og halvparten av nedre grenseverdi.

#### Døgnmiddelverdier

Den samtidige døgneksponeringen for  $\text{SO}_2$  og sot er vanskeligere å beregne enn halvårsmiddeleksponeringen. Dette skyldes at de maksimale døgnverdiene av  $\text{SO}_2$  og sot kan inntreffe på forskjellige dager på de ulike stasjonene og heller ikke på samme dag for begge stoffer på hver stasjon.

I Bergensområdet viser det seg at disse komponentene stort sett følger hverandre slik at maksimalverdiene for  $\text{SO}_2$  og sot opptrer på samme dag eller i perioder på noen få dager med ugunstige forhold. De maksimale døgnmiddelverdiene overskrider nedre grenseverdi både for  $\text{SO}_2$  og sot. For sot er også overskridelse av øvre grenseverdi registrert to dager vinteren 83-84 ved to trafikkbelastede målestasjoner.

Overskridelsene av nedre grenseverdi inntraff også hovedsakelig vinteren 83-84. Det dreier seg imidlertid om relativt få episoder for  $\text{SO}_2$ , kun 1 eller 2 døgn ved 4 av målestasjonene, mens nedre grenseverdi for sot overskrides opptil 6-7 døgn ved de mest belastede målestasjonene.

NILU har utarbeidet konsentrasjonsfelt og beregnet samtidig eksponering (dvs. antall eksponerte personer) for høyeste døgnmiddelverdier av  $\text{SO}_2$  og sot. Vinteren 83-84 ble 39.000 personer 1 eller flere ganger utsatt for døgnmiddelverdier av sot over nedre grenseverdi. Av disse var 13.000 personer samtidig utsatt for overskridelse av nedre grenseverdi for  $\text{SO}_2$ .

#### Samlet vurdering av $\text{SO}_2$ - og sot-eksponering

Vurdert mot SFT's forslag til grenseverdier er eksponeringsdata fra Bergensområdet vintrene 1982-83 og 1983-84 rimelig tilfredsstillende med hensyn til helseeffekter av  $\text{SO}_2$  og sot. De målte og beregnede verdier ligger hovedsakelig godt under nedre grenseverdi med unntak av enkelte episoder med overskridelser av  $\text{SO}_2$ - og sotedøgnmiddelverdier.

Det må imidlertid sterkt påpekes at det i grenseverdiforslagene kun er lagt inn en sikkerhetsfaktor på 2. Denne er trolig for liten til å gi spesielt følsomme personer tilstrekkelig beskyttelse. Dette gjelder i første rekke

personer med luftveissykdommer, eldre mennesker og mennesker med hjertelidelser. Tilsammen dreier dette seg om et betydelig antall sårbare personer. Under spesielt ugunstige episoder kan en del av disse oppleve en forverring av sin helsetilstand.

## NITROGENOKSIDER

I forurenset uteluft finnes flere forskjellige nitrogenoksider som  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  og  $\text{N}_2\text{O}_3$ . Fra et helsesynspunkt synes  $\text{NO}_2$  å være den viktigste. Kunnskaper om nitrogenoksidens toksiske virkninger er vunnet gjennom befolkningsstudier (epidemiologiske studier), kontrollert eksponering av enkeltindivider eller små grupper mennesker og ved dyreeksperimenter. I de epidemiologiske studiene har eksponeringen gjerne vært kompleks, noe som medfører vanskeligheter med å relatere de observerte effekter til  $\text{NO}_2$  alene. Forsøkspersonenes sikkerhet er av størst betydning ved eksperimentelle humanstudier, og følgelig må både eksponeringens grad, varighet og antall biologiske endepunkter begrenses. Ved dyreforsøk kan det derimot benyttes et større spektrum av eksponeringsbetingelser og biologiske endepunkter. Imidlertid er det alltid vanskeligheter med å overføre data fra dyreforsøk til den humane situasjon. En grundig gjennomgang av nitrogenoksidens effekter i dyr og mennesker er gitt av WHO (8) og Lindvall (9).

I dyreeksperimenter har man ved kortvarig høygradig eksponering påvist biokjemiske forandringer i lungene. Videre er det vist at nitrogendioksid kan transporteres med blodet til andre organ som lever, nyre og milt med påfølgende endringer i den cellulære metabolisme. Langvarig eksponering for  $\text{NO}_2$  (fra 600-2000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  og mer) kan resultere i skade av bindevevet i lungene, betennelsesreaksjoner og ødeleggelser av lungeblærene (emfysemutvikling) hos forsøksdyr. Redusert pustevolum og øket pustefrekvens samt redusert utveksling av  $\text{O}_2/\text{CO}_2$  er observert i flere dyreslag etter lang tids eksponering. Det er også funnet øket mottakelighet for luftveisinfeksjoner hos dyr. Man antar dette skyldes effekter av lungemakrofager, den mucociliære transportmekanisme og immunapparatet.

Den hyppigst observerte effekt av  $\text{NO}_2$ -eksponering i kontrollerte humanstudier er øket motstand i luftveiene som opptrer etter 15-30 min eksponering for konsentrasjoner på 1300-4000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Dette er gjerne forårsaket av væskeutsiv i lungene og sammentreknninger i luftrørene. Etter to timers

eksponering for  $900 \mu\text{g}/\text{m}^3$  hadde fem av en gruppe på tolv astmatikere en følelse av sammensnøringer i brystet (10). Tilsvarende konsentrasjon i 20 minutter medførte større sjanse for utløsning av anfall hos en annen gruppe astmatiske pasienter (11). Videre synes pasienter med andre lungesykdommer også å være mer følsomme overfor nitrogenoksid.

Det er få epidemiologiske studier over langtidseffekter av nitrogendioksid. Det synes å være en overhyppighet av akutt luftveissykdom hos barn i områder med høye nitrogendioksidkonsentrasjoner (årsmiddel  $150\text{--}300 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) enn i et kontrollmateriale (årsmiddel  $56 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Hyppigheten av luftveissykdommer ble funnet å øke med konsentrasjonen av nitrogendioksid på soveværelset til barn i hus hvor oppvarmingen skjedde med gass. Videre er det funnet en økning av kroniske luftveissykdommer hos individer eksponert for forurenset byluft hvor nitrogendioksid og svoveldioksid var de to viktigste forurensningskomponentene.

I dyreforsøk er det vist at ved samme totaldose er gjentatt, kortvarig og høygradig eksponering mer ugunstig enn langvarig, kontinuerlig eksponering for lavere konsentrasjon (12).

Datagrunnlaget for å foreslå grenseverdier for  $\text{NO}_2$  må anses som svakt og bygger i hovedsak på resultater fra eksperimentelle studier med mennesker og dyr. De eksperimentelle humanstudiene har bl a den svakhet at det nesten ikke er utført studier med gjentatt eksponering. Ekspertgruppen under WHO valgte å gi  $940 \mu\text{g NO}_2/\text{m}^3$  som laveste observerte effektnivå for kortvarig eksponering (8). Et tilsvarende nivå er også foreslått av andre (13). Pga usikkerheten i underlagsmaterialet benyttet WHO-gruppen en sikkerhetsfaktor på 3-5 og fremmet et forslag om en 1-times grenseverdi på  $190\text{--}320 \mu\text{g}/\text{m}^3$  for  $\text{NO}_2$ .

Denne verdi bør ifølge gruppen ikke overskrides mer enn en gang pr måned. En ekspertgruppe opprettet av Statens forurensningstilsyn foreslo en grenseverdi for en times eksponering på  $200\text{--}350 \mu\text{g}/\text{m}^3 \text{NO}_2$ . De påpeker at øvre del av intervallet er aktuelt ved enkeltstående eksponering mens den nedre del bør benyttes ved gjentatte eksponeringer. Grunnlaget for å fastsette døgn- og halvårsmidlete grenseverdier er ennå spinklere. SFT-gruppens forslag var  $100\text{--}150 \mu\text{g}/\text{m}^3$  og  $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (3). Tilsvarende nivåer er foreslått av andre (13), men WHO finner ikke å kunne foreslå langtids grenseverdier da de mener datagrunnlaget er for svakt (8).

### Halvårsmiddelverdier

Da ingen av stasjonene har hatt målinger i hele vinterhalvåret, finner NILU det vanskelig å beregne halvårsmiddelverdier. Imidlertid anslår de at målingene vinteren 1983/84 gir et rimelig godt bilde av halvårsmiddelverdiene. I perioden november 1983-februar 1984 var middelverdiene av  $\text{NO}_2$  mellom  $30\text{--}60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , og således klart under grenseverdien på  $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Det er beregnet at ca 39.000 personer bor i områder hvor middelkonsentrasjonen av  $\text{NO}_2$  om vinteren 1983-84 var over  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

### Døgnmiddelverdier

De høyeste døgnmiddelverdiene ble målt vinteren 1983-84, og spesielt høyt var det i januar. Nedre grenseverdi ( $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) ble overskredet på alle stasjoner unntatt en, og øvre grenseverdi ble overskredet på tre steder. Det var ialt 18 overskridelser av nedre grenseverdi i vinteren 1983-84, derav 5 også over øvre grenseverdi. Vinteren 1982-83 var det ialt 7 overskridelser av nedre grenseverdi og ingen av øvre. NILU har beregnet at 46.000 mennesker bor i områder der døgnmiddelverdien av  $\text{NO}_2$  overskred nedre grenseverdi ( $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) en eller flere ganger i løpet av vinteren 1983-84, og at 13.000 av disse bodde i områder hvor døgnmiddelverdien overskred  $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Høyeste døgnmiddelverdi denne vinteren var  $184 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . De høyeste konsentrasjonene av  $\text{NO}_2$  nærmer seg de nivåer hvor man i enkelte studier har sett effekter hos astmatikere (14), skjønt disse resultalter er noe omdiskutert (9). Også om sommeren lå døgnmiddelverdien for  $\text{NO}_2$  enkelte dager ganske nær opptil nedre grenseverdi. I tillegg til  $\text{NO}_2$ -utslipp fra direkte kilder får man en belastning ved at  $\text{NO}$  reagerer med ozon i lufta og danner  $\text{NO}_2$ . Denne belastningen er større om sommeren enn om vinteren, fordi ozon-konsentrasjonen er høyere om sommeren.

### Timesmiddelverdier

Kontinuerlige  $\text{NO}_2$ -registreringer ble utført på en stasjon (Teaterparken). Det ble registrert overskridelser av nedre timesmiddelgrenseverdi både vinteren 1982-83 og 1983-84. Den første vinteren skjedde overskridelsene tre ganger med høyeste timesmiddel på  $230 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Den andre vinteren ble nedre grenseverdi overskredet i tilsammen 20 timer i løpet av fem dager i desember 83 og januar 84. Øvre grenseverdi ( $350 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) ble overskredet i tre timer i løpet av dagene 18-25 januar 1984, og høyeste verdi var  $640 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Da målingene kun ble gjennomført på en stasjon, er det ikke mulig å avgjøre hvor mange individer som opplevde disse høye  $\text{NO}_2$ -verdiene. Dette er nivåer av  $\text{NO}_2$  hvor man i enkelte studier har funnet effekter hos friske forsøksper-



soner etter fra 20 minutter til en times eksponering (1, 15). WHO bemerket til sitt grenseverdiforslag at verdien ikke skulle overskrides mer enn en gang pr måned (8). Kommentarene til SFT-gruppens forslag til grenseverdi kan tolkes dithen at man kan akseptere et enkeltstående tilfelle av overskridelse av øvre grenseverdi. Ved hyppige høye verdier skal nedre grenseverdi legges til grunn ved helsevurderingen (3). I en nyere kommentar til luftkvalitetskriterier (13) anbefales at verdien  $190 \mu\text{g}/\text{m}^3$  som timesmiddel ikke overskrides mer enn 12 timer pr år.

#### Samlet vurdering av $\text{NO}_2$ -eksponeringen

Dyreforsøk indikerer at kortvarig, høygradig eksponering for  $\text{NO}_2$  er mer ugunstig enn langvarig, noe lavere eksponering. I Bergen har man et relativt høyt halvårsmiddelnivå av  $\text{NO}_2$  ( $40\text{--}60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) samtidig som det under vintermånedene er en rekke episoder med høye times- og døgnmiddelverdier. Timesmiddelverdiene ligger opp til et nivå hvor det er registrert helseeffekter i kontrollerte forsøk med mennesker (11, 14, 15). Videre er overskridelsene av grenseverdiforslagene langt hyppigere enn det som anbefales i kommentarer til disse verdiene (3, 8, 13). Nedre grenseverdi for døgnmiddel er overskredet en eller flere ganger i løpet av vinteren 1983-84 i områder hvor det bor nesten 50.000 mennesker. Legger man til grunn de tall som kom frem ved undersøkelsen i Oslo (4), vil det være 2.000-3.000 individer med kronisk lungesykdom i området. Det er sannsynlig at de vil få sin helsetilstand forverret i episoder med høy  $\text{NO}_2$ -eksponering, og særlig gjelder dette de som lider av astma. Enkelte timesmiddelverdier ligger i nivået hvor helseeffekter også kan forventes blant friske individer. Som tidligere nevnt, er det svært begrenset informasjon om  $\text{NO}_2$ -effekter på barn, men man må regne med at barn kan være mer følsomme for  $\text{NO}_2$ -eksponering enn voksne. Det blir derfor en relativt stor gruppe mennesker som vil kunne føle ubehag pga de periodevise høye  $\text{NO}_2$ -nivåer i Bergenområdet. Forurensningen med  $\text{NO}_2$  i Bergenområdet er etter vår mening helsemessig betenkelig. Det har vært for mange og for store overskridelser av grenseverdiene for korttidseksponering (1 times- og døgnmiddel).

#### **KARBONMONOKSID**

Ved eksponering for CO vil gassen diffundere fra lungeblærene og inn i blodkarene hvor den binder seg til hemoglobinet. CO har større affinitet til hemoglobinet enn oksygen og fortrenger dette fra hemoglobinet. Det dannes da

karboksyhemoglobin (COHb). De helseeffekter som er relatert til CO-eksponering, skyldes hovedsakelig en redusert transport av oksygen til de ulike celler og vev, men det er holdepunkter for at CO-binding til proteiner i cellene også kan spille en rolle (16). Helseeffekter av CO-eksponering vil derfor kunne opptre i en rekke organer. Sentralnervesystemet er det mest følsomme vev for oksygenunderskudd. Følgelig kan det ikke utelukkes at konsentrasjonsevne og evne til å utføre kompliserte bevegelser nedsettes selv ved moderat CO-eksponering. Det er imidlertid vanskelig å fastslå grenser for COHb-konsentrasjoner hvor slike effekter opptrer, fordi sentralnervesystemet er påvirkelig av en rekke andre faktorer. En ekspertgruppe under WHO anser det for mulig at COHb-nivåer på over 2.5% kan resultere i slike effekter (17). Hjertemuskulaturen er også følsom for økning i COHb-konsentrasjonen. Hos friske individer fører en økning av karboksyhemoglobin-nivået til en utvidelse av blodkarene for derved å øke blodtilførselen (18). Hos pasienter med noe fremskredet åreforkalkning er en slik utvidelse av blodkarene ikke lenger mulig. Disse pasientene vil derfor erfare hyppigere anfall med hjertekrampe når karboksyhemoglobin-nivået øker (19). Samtidig øker også anfallenes lengde (19). Man antar at disse pasienter opplever en forverring av sin tilstand når COHb-konsentrasjonen overstiger 2.5% (17). Også pasienter med anemi og pasienter med lungesykdom samt fostre vil kunne være sårbare for relativt moderat økning i CO-belastningen (17).

Karboksyhemoglobin-nivået er bestemt av en rekke faktorer i tillegg til CO-nivået i innåndingsluften. Både lungeventilasjon og diffusjonshastighet påvirker CO-opptaket og disse parametre varierer med alder, fysisk aktivitet og lungenes helsetilstand (19). Ved eksponering for en konstant konsentrasjon av CO vil det etter en viss tid inntre et maksimalt nivå av karboksyhemoglobin i blodet. Hvor høyt dette nivået blir, er bestemt av konsentrasjonen i innåndingsluften, men tiden det vil ta før maksimalverdi inntre er avhengig av lungeventilasjon og fysisk aktivitet (17). Videre er bindingen av CO til hemoglobinet reversibelt, slik at karboksyhemoglobinnivået varierer med konsentrasjonen av CO i innåndingsluften. Det betyr at måling av karboksyhemoglobin bare i begrenset grad gir et bilde av den CO-eksponering som individet har vært utsatt for i løpet av f.eks. ett døgn. Videre blir det bare begrensede muligheter for å relatere mulige helseeffekter representert ved COHb-verdiene i befolkningsgrupper til den virkelige CO-eksponeringen i innåndingsluften i løpet av en dag. De epidemiologiske erfaringer om kroniske helseeffekter ved CO-forurenset luft blir derfor mangelfulle (3).

Ekspertgruppen under WHO anbefaler at den generelle befolkning bør beskyttes mot CO-konsentrasjoner som vil resultere i karboksyhemoglobinnivåer over 5%, og at spesielt følsomme grupper ikke bør utsettes for høyere konsentrasjoner av karboksyhemoglobin enn 2.5% (17). SFT-gruppens forslag til grenseverdier har innebygget en viss sikkerhetsfaktor som vil resultere i karboksyhemoglobin (3). Grenseverdien lyder på  $25 \text{ mg/m}^3$  for en times eksponering og  $10 \text{ mg/m}^3$  midlet over 8 timer. Det synes som om det er 8 timersverdien som må tillegges størst vekt. Dette begrunnes med at det tar forholdsvis lang tid før metning oppnås ved konstant eksponering, og at CO-utskillelsen har en halveringstid på ca 5 timer (20).

Det er utført CO-målinger bare på hovedstasjonen, Teaterparken ved Den nasjonale scene. Denne ligger 50-60 meter fra nærmeste sterkt trafikkerte gate, og ca 20 meter fra en bussholdeplass. Målingene viser at grenseverdien for timesmiddel ikke ble overskredet hverken vinteren 1982-83 eller 1983-84. Den maksimale 8 timers middelvei vinteren 1982-83 (målt i løpet av januar og februar) var  $6 \text{ mg/m}^3$  og vinteren 1983-84 var høyeste målte 8 timers middel  $14 \text{ mg/m}^3$ . Samme vinter ble grenseverdiene midlet over 8 timer overskredet i tilsammen 5 dager. I tillegg er det utført beregninger av maksimal CO-eksponering langs gate/vei-nettet i prosjektområdet (Grunnlagsmateriale 4, 21). Det er beregnet hvor mange kilometer gater/veier som ligger i ulike intervaller av maksimale 8 timers middelvei for CO. Det anslås at ialt 35-40 km av undersøkelsesområdet gater/veier vil kunne ha maksimale 8 timers middelveier over grenseverdien. Det er videre anslått hvor mange individer som bor/arbeider langs disse gatene/veiene. Med bakgrunn i disse tallene er det anslått hvor mange individer som vil kunne oppleve maksimale 8 timers middelveier innen ulike konsentrasjonsintervaller av CO. Totalt vil ca 15.000 individer erfare 8 timers middelkonsentrasjoner av CO som overskrider grenseverdien ( $10 \text{ mg/m}^3$ ). Det er imidlertid ikke beregnet hvor ofte overskridelser av grenseverdien vil finne sted.

Vår helsevurdering vil i stor utstrekning ta utgangspunkt i CO-beregningene. Eksponeringsestimatet for CO er mer usikkert enn tilsvarende for  $\text{SO}_2$ , sot og  $\text{NO}_2$ , både fordi det er basert på beregninger av CO-konsentrasjon, som har en større usikkerhet enn målinger, og fordi konsentrasjonsgradientene for eksosforurensninger langs gater er sterkere enn de gradientene en finner for  $\text{SO}_2$  og  $\text{NO}_2$  i bymiljø.

### Timesmiddelverdi

Ved den ene stasjonen som målte CO-konsentrasjoner kontinuerlig, fant man ikke overskridelser av 1 times grenseverdien. Det høyeste timesmiddel som ble registrert i undersøkelsesperioden var  $23 \text{ mg/m}^3$  (desember 1983). I forurensningsperioder har man et relativt jevnt, høyt CO-nivå om dagen, med det høyeste nivå vanligvis i noen timer omkring rushtiden om ettermiddagen. De helsemessige sidene ved CO-eksponeringen vil derfor bli diskutert i avsnittet "Åtte timers middelverdi".

### Åtte timers middelverdi

Ved de kontinuerlige målingene er det registrert overskridelser av 8 timers grenseverdien 5 dager vinteren 1983-84. Videre er det beregnet at langs 66 km fortau langs gater/veier gjennom bebyggelse vil den maksimale 8 timers middelverdi overskride grenseverdien (22) (se Grunnlagsmateriale 4). På basis av disse data er det beregnet at ca 10.000 mennesker har opplevet en eller flere episoder med CO konsentrasjoner midlet over 8 timer som medfører at karboksyhemoglobinnivået overskrider 2.5% (dvs CO-konsentrasjoner over  $20 \text{ mg/m}^3$ ). Ved dette nivået har man funnet påvirkninger av sentralnervesystemet hos friske individer, og pasienter med åreforkalkning opplever hyppigere og mer langvarige anfall av hjertekrampe (17). Ved CO-verdier som overskrider  $45 \text{ mg/m}^3$ , noe som ca 1.000 individer vil kunne oppleve, vil karboksyhemoglobinnivået komme opp mot det området hvor pasienter med kronisk obstruktiv lungesykdom føler øket ubehag av sin sykdom (23). Ved disse nivåer vil friske individer i tillegg til de alt nevnte sentralnervøse forstyrrelsene, oppleve at mørke-adaptasjonsevnen til synssansen svekkes.

### Samlet vurdering av karbonmonoksid eksponering

CO-beregningene og til dels CO-målingene viser høye 8 timers middelverdier som er på et helsemessig betenkelig nivå. Imidlertid er det noe mer uklart hvor ofte slike verdier vil kunne inntre og det knytter seg en større usikkerhet til beregnet CO-eksponering enn til tilsvarende for  $\text{SO}_2$  og  $\text{NO}_2$ . Blant de som eksponeres for slike verdier, er det å forvente påvirkninger av sentralnervesystemet hos friske individer, at pasienter med fremskreden åreforkalkning vil få øket ubehag av sin sykdom, og i de mest ekstreme tilfeller at også pasienter med kronisk obstruktiv lungesykdom vil føle øket ubehag av sin sykdom. I tillegg til den estimerte CO-eksponering er det å forvente at CO-nivået vil være ytterligere forøket hos spesielt utsatte grupper som trafikanter i rushtiden og røykere.

## POLYSYKLISKE AROMATISKE HYDROKARBONER (PAH)

I miljøet forekommer PAH alltid som komplekse blandinger av enkeltstoffer. Disse enkeltstoffene har tildels forskjellig profil når det gjelder mulige helsevirkninger, slik at det er meget komplisert å vurdere helsefaren i den konkrete eksponeringssituasjonen. Et flertall enkelt-PAH er vist å være potente karsinogener i dyreeksperimenter, spesielt når det gjelder å utløse hudkreft hos mus. Derimot er det ingen studier som klart viser at enkelt-PAH er kreftfremkallende for mennesker, men det foreligger en klar overhyppighet av hudkreft hos arbeidere utsatt for PAH-holdig sot, tjære og oljer, samt av lungekreft hos arbeidere i koksgassproduksjon. Inntil for et par år siden var det alminnelig antatt at den mulige kreftfremkallende effekt av PAH i luftforurensninger var knyttet til PAH adsorbent på svevestøv. Nyere undersøkelser har vist at det på overflaten av svevestøv i tillegg finnes en rekke derivater av PAH som er mutagene. Stor interesse er fokusert omkring nitrerte PAH-forbindelser fordi denne gruppen inneholder potente mutagene forbindelser. En del av disse er også kreftfremkallende i dyreforsøk. Videre er det mulig at gasser som  $SO_2$ ,  $NO_x$  og  $O_3$  også kan påvirke utviklingen av lungekreft.

I utredningen "Luftforurensninger og lungekreft" (24) har forfatterne, Davis og Sanner, konkludert på basis av en samlet vurdering av epidemiologiske data, dyreforsøk og biologiske korttidstester at eksponering for omgivelsesluft i byer øker risikoen for lungekreft. I utredningen påpekes det videre at det kun i et fåtall undersøkelser har vært mulig å tallfeste økning i krefthyppighet til konsentrasjoner av luftforurensninger. Blant årsakene til dette er at utviklingen av kreft skyldes et samspill mellom en rekke faktorer, og at det er et langt tidsintervall fra en eksponering starter til lungekreft kan påvises. De kvantitative beregningene som er gjort, er stort sett basert på resultater fra yrkesmessig eksponering for høye konsentrasjoner av PAH, og beregninger med hjelp av multiple regresjonsanalyser. Videre er beregninger oftest basert på mengden benz(a)pyren (BaP) i luften.

BaP er ingen ideell indikator på en så heterogen gruppe som PAH fordi i ulike atmosfærer kan de andre PAH-forbindelser variere svært selv om BaP-konsentrasjonen er noenlunde lik. Bruk av BaP konsentrasjoner for vurdering av helseeffekter ved PAH-eksponering gir likevel det beste sammenligningsgrunnlag med tidligere tilsvarende vurderinger og er ifølge Davis og Sanner det beste mål som i dag er tilgjengelig ved beregninger av kreftrisiko.

Etter en samlet vurdering mener forfatterne at det er grunn til å anta at forurensningen i omgivelsesluften kan være en medvirkende årsak til mellom 5% og 25% av lungekrefttilfellene i Oslo, men anslaget må tas med stort forbehold. Til grunn for disse beregningene er lagt en gjennomsnittlig eksponering i Oslo som tilsvarer  $5 \text{ ng BaP/m}^3$ .

I undersøkelsen fra Bergen er det foretatt prøvetaking og bestemmelser av polysykliske aromatiske hydrokarboner (PAH) ved 2 målestasjoner (Teaterparken og Minde) i perioden november 1983-februar 1984. Prøvene er (3). tatt hver 6. dag, 19 prøver i Teaterparken og 17 på Minde. BaP-konsentrasjoner i de relativt få målingene som er gjort er sammenlignet med tilsvarende sotmålinger. Ifølge NILU antyder målingene en relativt god sammenheng mellom BaP og sot, som er ganske lik den sammenheng en fant i basisundersøkelsen i Sarpsborg/Fredrikstad. På dette grunnlag er eksponeringsberegninger for BaP utført. Den viser at ca 15.000 mennesker bor i området med vintermiddelverdi av BaP over  $3 \text{ ng/m}^3$ . Det kan synes som om nivået av BaP i Bergen tilsvarer det i Sarpsborg/Fredrikstad (25), som igjen ligger noe under nivået i Oslo (24). Dette bekrefter at PAH er en generell miljøforurensning spesielt i byer og tettsteder og ved industriell virksomhet. Den helsemessige konsekvens av PAH-forurensningen er derimot vanskelig å vurdere, blant annet ut fra de forhold som er nevnt over.

#### SAMLET VURDERING OG KONKLUSJON

Vurdert mot de gjeldende forslag til grenseverdier for luftkvalitet synes forurensningen av  $\text{SO}_2$  og sot i Bergenområdet ikke å representere noen helsefare for befolkningen i området. Det har imidlertid vært enkelte døgnmiddelverdier av  $\text{SO}_2$  og sot over grenseverdi. Spesielt utsatte grupper (eldre med hjerte- og lungelidelser, astmatikere) vil kunne ha øket ubehag av sin sykdom ved slike verdier av luftforurensning.

Det ble registrert et relativt høyt halvårsmiddelnivå av  $\text{NO}_2$  ( $40\text{--}60 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ ) samtidig som det under vintermånedene var en rekke episoder med høye times- og døgnmiddelverdier. Enkelte timesmiddelverdier lå på et nivå hvor det er registrert helseeffekter i kontrollerte forsøk med mennesker. Det var langt hyppigere overskridelser av grenseverdiene enn det som anbefales i

kommentarer til disse. Disse høye verdier opptrer i geografiske områder hvor det tilsammen bor ca 50.000 mennesker. Vi finner at  $\text{NO}_2$ -forurensningen i Bergensområdet ligger på et helsemessig betenkelig høyt nivå.

Beregninger av karbonmonoksidnivåer langs gater/veier i Bergensområdet viser at de maksimale 8 times middelveier kan bli relativt høye, noe som tildels bekreftes av målinger. Ca 10.000 mennesker bor/arbeider langs veier med CO-konsentrasjoner som kan forventes å gi helseeffekter hos friske individer og at pasienter med fremskreden åreforkalkning vil oppleve øket ubehag av sin tilstand. Imidlertid vet man ikke hvor ofte slike høye verdier opptrer. Vi er likevel noe betenkt over forurensningen med CO i Bergensområdet.

Polysykliske aromatiske hydrokarboner (PAH) er en generell miljøforurensning. Nivåene i Bergensområdet tilsvarer det som er registrert i andre norske byer. PAH-eksponering er satt i forbindelse med kreftutvikling, og spesielt synes enkelte PAH-forbindelser å være potente dyrekarsinogener. Det er imidlertid svært vanskelig å vurdere hvilken helsemessig betydning PAH-luftforurensning spiller. Trolig vil en høyere PAH-eksponering i byer og tettsteder kunne være en av flere faktorer som er med på å forklare en høyere lungekreftfrekvens blant bybefolkningen sammenlignet med dem som bor på landsbygda.

Basert på resultatene fra basisundersøkelsen i Bergensområdet synes forurensning med  $\text{NO}_2$  og CO å være de som har størst helsemessig betydning.

#### REFERANSER

1. Larssen, S. Luftforurensninger inne og ute ved Strømsveien 20, Oslo. Lillestrøm: NILU OR 18/81, 1981.
2. Lebowitz MD. Health effects of indoor pollutants. Ann Rev Public Health 1983; 4: 203-21,
3. Statens forurensningstilsyn. Luftforurensning - virkninger på helse og miljø. Oslo: SFT-rapport nr. 38, 1982.
4. Gulsvik A. Obstructive lung disease in an urban population. Oslo: Thesis, 1979.

5. Incidence of cancer in Norway 1984. Oslo: The Cancer Registry of Norway, 1985.
6. Helseundersøkelsen 1968. Oslo: Norges offisielle statistikk A321, 1970
7. Environmental Health Criteria 8: Sulfur oxides and suspended particulate matter. Geneva: World Health Organization, 1979.
8. Environmental Health Criteria 4: Oxides of nitrogen. Geneva: World Health Organization, 1977.
9. Lindvall, T. Health effects of nitrogen dioxide and oxidants. Scand J Work Environ health 1985; 11 (suppl 3): 10-28.
10. Kerr HD, Kulla TJ et al. Effects of nitrogen dioxide in pulmonary function of human subjects: An environmental chamber study. Environ Res 1979; 9: 392-404.
11. Bylin G, Lindvall T et al. Effects of short term exposure to ambient nitrogen dioxide concentrations on human bronchial reactivity and lung function. Eur J Respir Dis 1985; 66; 205-17.
12. Gardner DE, Miller FJ et al. Influence of exposure mode on the toxicity of NO<sub>2</sub>. Environ Health Perspect 1979; 30: 23-9.
13. Lindvall T. Recommendations for air quality standards for nitrogen dioxide and ozone. Scand J Work Environ Health 1985; 11 (suppl 3): 3-9.
14. Orehek J, Massaru JP et al. Effect of short-term, low-level, nitrogen dioxide exposure on bronchial sensitivity of astmatic patients. J Clin Invest 1976; 57: 301-7.
15. Rehn T, Svartengren M et al. Mucociliär transport i lunga och näsa samt luftvägsmotstånd efter exponering för kvävedioxid. Stockholm: The Coal-Health Environmental Project: Technical report 40, 1982.
16. Dolan MC. Carbon monoxide poisoning, Can Med Assoc J 1985; 133: 392-9.



17. Environmental Health Criteria 13: Carbon monoxide. Geneva: World Health Organization, 1977.
18. Ayres SM, Giannelli S, Mueller H. Myocardial and systemic responses to carboxyhemoglobin. *Ann NY Acad Sci* 1970; 174: 268-93.
19. Anderson EW, Andelman RJ et al. Effect of low-level carbon monoxide exposure on onset and duration of angina pectoris. *Ann Intern Med* 1973; 79: 46-50.
20. Peterson JE, Steward RD. Absorption and elimination of carbon monoxide by inactive young men. *Arch Environ Health* 1970; 21: 165-71.
21. Larssen S, Hoem K. Luftforurensning langs veinettet i Norge, Kartlegging langs riksveinettet samt fylkesveinettet i utvalgte byer. Lillestrøm: NILU OR 46/84, 1984.
22. Larssen S og K. Hoem. Basisundersøkelsen av luftkvaliteten i Bergen 1983-85. Datarapport II. Lillestrøm: NILU-rapport OR 6/86.
23. Caverley PMA, Leggett RJE, Flenley DC. Carbon monoxide and exercise tolerance in chronic bronchitis and emphysema. *Brit Med J* 1981; 283: 878-80.
24. Davis C, Sanner T. Luftforurensninger og lungekreft. Oslo: Laboratorium for Miljø- og Yrkesbetinget Kreft, 1983.
25. Dahl JE, Hongslo J. Helsevirkninger av luftforurensning i Sarpsborg--Fredrikstad området. Oslo: Statens Institutt for Folkehelse, 1985.



## GRUNNLAGSMATERIALE 6 - FORSLAG TIL FRAMTIDIG MÅLEPROGRAM FOR LUFTKVALITET

Basisundersøkelsen i Bergen gir bl.a. det nødvendige grunnlaget for utformingen av det framtidige overvåkingsprogram. De rutinemessige luftkvalitetsmålingene bør i utgangspunktet omfatte de stoffer og områder hvor foreslåtte grenseverdier overskrides.

Luftkvalitetsmålingene som er utført i Bergen gir, sammen med beregningene av forurensningsfelt, en god oversikt over luftkvaliteten i Bergen og dens variasjoner i rom og tid. Utslippskartleggingen og spredningsberegningene gir i tillegg god oversikt over hvilke kildetyper som gir hovedbidragene til konsentrasjonen i luft av ulike forurensningsstoffer.

På dette grunnlag kan det framsettes forslag til utforming av et revidert rutinemessig måleprogram. Basisundersøkelsen har vist at biltrafikken og oljefyringen gir hovedbidragene til luftforurensningen i Bergen. Ingen større enkeltkilder, kanskje med unntak av én kilde, har utslipp som gir grunn til spesiell luftkvalitetsovervåking. Luftforurensning i Bergen er derved et problem hovedsakelig knyttet til sentrumsområdene, der konsentrasjonen av biltrafikk, fyringsutslippet og befolkningen er størst. Disse områder må dekkes av den framtidige overvåkingen.

Det nåværende rutinemessige overvåkingsprogrammet for luftkvalitet i Bergen omfatter tre målestasjoner og stoffene SO<sub>2</sub>, sot og bly.

Den rutinemessige overvåkingen i dag omfatter målinger (døgnmiddelverdier) av SO<sub>2</sub> og sot hele året på stasjonene CMI og Kronstad som ligger nær sentrum på hver sin side av Store Lungegårdsvann og på stasjon Ravneberget som ligger øst for Kronstad. Stasjonen ligger ca 175 m.o.h. i skråningen opp mot Ulriken, nær skorsteinene for utslipp fra Haukeland sykehus (se figur 61, side 147). CMI og Kronstad inngår i det statlige overvåkingsprogrammet, mens Ravneberget drives av Fylkeslaboratoriet. Analyser av bly på filtrene fra CMI og Kronstad begynte i 1977. Siden 1983 er bly analysert bare på CMI. SO<sub>4</sub> er analysert på filtre fra CMI i perioden 1977-85 og fra Kronstad 1977-81.

CMI ligger i utkanten av det mest forurensede området i Bergen sentrum. Middelveier av  $\text{SO}_2$ , sot og  $\text{NO}_2$  er noe lavere på CMI enn i Teaterparken og ved Rådhuset. Maksimale døgnverdiene av  $\text{SO}_2$  og  $\text{NO}_2$  vil oftest være lavere på CMI, mens maksimale sot-verdiene kan være høyere enn i Teaterparken og på Rådhuset.

Kronstad ligger i Kronstad-Minde-området som er omtrent like forurenset som sentrum, og der de maksimale døgnverdiene kan bli minst like høye som i sentrum. På Ravneberget er forurensningsnivået lavt. Målingene av døgnverdiene av  $\text{SO}_2$  og sot tyder ikke på at målestasjonen påvirkes nevneverdig av utslippet fra Haukeland.

Det bør vurderes å utvide det nåværende måleprogrammet til å omfatte  $\text{NO}_2$  og svevestøv. En trafikkeksponert stasjon i sentrum bør opprettes.

Basisundersøkelsen har vist at  $\text{NO}_2$  og sot representerer det mest omfattende luftforurensningsproblemet i Bergen og at svevestøv-konsentrasjonen til tider er svært høy.  $\text{NO}_2$ -problemet vil trolig øke frem mot år 2000, i takt med forventet økt biltrafikk, inntil eventuell gjennomføring av strengere avgasskrav for personbiler innføres og får gjennomslag i bilparken. Vi vil derfor foreslå en utvidelse av måleprogrammet til også å omfatte  $\text{NO}_2$  og svevestøv.

Vi vil foreslå å beholde tre målestasjoner i Bergen, men vurdere omplacering. Målestasjonene bør plasseres i to områder: sentrum av Bergenshalvøya og Kronstad-Minde-området. Opprettholdelse av stasjonsplasseringen er også viktig for å sikre kontinuiteten i målingene som startet i 1970.

CMI ligger i utkanten av sentrumsområdet, ca 20 meter over bakken. Stasjonen er likevel en del trafikkpåvirket fra E68 over Nygårdsbroen. På grunn av vindretningsfordelingen er forurensningen på CMI i større grad et resultat av utslipp sørøst for stasjonen enn av utslipp over sentrum. Av denne grunn bør det vurderes å flytte stasjonen til sentrum, innenfor det området som er sterkest belastet. En slik plassering vil bedre kunne overvåke utslippsendringene i sentrumsområdet.

NILU foreslår at målingene ved Ravneberget avsluttes. Vi foreslår imidlertid at en ny målestasjon opprettes i et trafikkeksponert område i sentrum. Måleprogrammet bør omfatte stoffene  $\text{NO}_2$ , sot, partikler og  $\text{CO}$ , for å kunne

overvåke utviklingen i bilforurensningen, som er hovedkilden til luftforurensningen i Bergen. Dette måleprogrammet vil dekke utslipp både fra bensindrevne og dieseldrevne biler.

Korrosjonsstasjonen i Bergen ble i september 1984 flyttet fra Marineholmen til CMI. Nåværende program og plassering foreslås opprettholdt.



## GRUNNLAGSMATERIALE 7 - PROSJEKTBEKRIVELSE

Basisundersøkelser og rutinemessig overvåking er viktige elementer i det statlige programmet for forurensningsovervåking som administreres av Statens forurensningstilsyn. Basisundersøkelsene skal gi det nødvendige grunnlaget for utformingen av det fremtidige rutinemessige overvåkingsprogrammet.

Et statlig opplegg for overvåking av luftforurensningstilstanden i Norge startet i januar 1977 etter oppdrag fra Miljøverndepartementet/Statens forurensningstilsyn. Norsk institutt for luftforskning (NILU) har ansvaret for den faglige og praktiske gjennomføringen av programmet. Målingene foregår ved 35 stasjoner i 29 byer og tettsteder, og omfatter døgnmålinger av svoveldioksid ( $\text{SO}_2$ ), sot, partikulært sulfat ( $\text{SO}_4$ ) og bly.

Den rutinemessige overvåkingen inngår som en del av Statlig program for forurensningsovervåking som administreres av Statens forurensningstilsyn. I dette programmet forutsettes det at rutinemessig overvåking etter hvert skal bygge på basisundersøkelser. Basisundersøkelser er omfattende undersøkelser for å kartlegge forurensningstilstanden, skaffe oversikt over meteorologiske og andre naturgitte forhold av betydning, samt gi kunnskap om eksponerings-situasjonen. Basisundersøkelsene skal bl.a. avgjøre og gi grunnlaget for utformingen av denne overvåkingen. Etter hvert som basisundersøkelser gjennomføres i byer og tettsteder er det meningen at det nåværende rutinemessige overvåkingsprogrammet skal endres i henhold til de resultater en kommer fram til.

Basisundersøkelsen i Bergen var den andre av flere konsentrerte og målrettede undersøkelser. Den kom i gang ett år etter at den første basisundersøkelsen begynte i Sarpsborg/Fredrikstad.

Sarpsborg/Fredrikstad har en relativt enkel, homogen landskapsform. De tre viktigste kilder til forurensning: industri, husoppvarming og trafikk, er godt representert der.

Bergen ble valgt som det andre undersøkelsesområdet, hovedsakelig fordi en ville studere utbredelsen av luftforurensning i et stort tettstedområde med en mer komplisert topografi. Det var viktig å velge et område som kunne gi

grunnlag for å videreutvikle spredningsmodeller som tar hensyn til de ikke-homogene vindforhold en har i områder med komplisert topografi. Tidligere målinger har vist at om vinteren forekommer forurensningsepisoder med svak vind, sterk inversjon og sterk forurensning i Bergen. Episodene var antatt å skyldes topografiens innvirkning på vind- og strålingsforholdene.

Forurensningen i Bergen domineres av utslipp fra biltrafikk og oljeforbrenning hovedsakelig til husoppvarming. Ingen store industrikilder dominerer forurensningen i større deler av Bergen.

I basisundersøkelsen ble utslipp, spredningsforhold, luftkvalitet og virkninger av forurensning studert i detalj.

I Bergen omfattet undersøkelsen følgende deloppgaver:

- kartlegging av utslippene
- måling av meteorologiske forhold
- måling av luftkvalitet
- beregning av forurensningsfelt ved hjelp av spredningsmodeller
- vurdering av virkninger av forurensningen
  - . beregning av eksponering og vurdering av helseeffekter
  - . registrering av korrosjon på materialer
- rapportering

Kartleggingen av utslippene er et viktig grunnlag for å beregne forurensningsfeltene i prosjektområdet ved hjelp av spredningsmodeller. Sammen med meteorologiske målinger gir dette nødvendige inngangs-data til spredningsberegningene. Målingene av luftkvaliteten i enkeltpunkter ga en oversikt over hvordan luftkvaliteten varierte i rom og tid, og måleresultatene ga grunnlag for test av spredningsmodellene. Sammenligning mellom målte og beregnede verdier av forurensning ga mulighet for tilpassing og forbedring av spredningsmodellene.

Systemet ga bl.a. følgende informasjon:

- geografisk fordeling av luftforurensende utslipp fordelt i et rutenett med oppløsning 500 meter



- geografisk fordeling av forurensninger i typiske og ekstreme vær-situasjoner
- frekvensfordeling av forurensning i hver 500 meter-rute
- antall personer i området som utsettes for forurensninger høyere enn visse nivåer

Basisundersøkelsen i Bergen startet med planlegging i 1982.

Opprinnelig framdriftsplan er vist i figur 59. Detaljplanleggingen ble utført høsten 1982, (NILU OR 4/83) og måleprogrammet startet i desember-januar 1982-83. Utslippskartleggingen pågikk i hele 1983-84 og dels også i 1985. Spredningsberegningene og forberedelsene til disse ble gjennomført i 1984 og 1985. Rapporteringsfasen strakk seg gjennom hele 1985 og første halvår 1986. Datarapporter foreligger for måleperioden januar-august 1983 (inklusive utslippskartlegging 1983) og for september-februar 1984 (inklusive utslippskartlegging 1984) (NILU OR 55/85 og 6/86).

	1982	1983	1984	1985
Forprosjekt, prosjektplanlegging	[Horizontal line spanning 1982-1983]			
Utslippsoversikter	[Horizontal line spanning 1982-1985]			
Utvikling og anvendelse av spredningsmodeller	[Horizontal line spanning 1982-1985]			
Måleprogram, luftkvalitet og meteorologi	[Horizontal line spanning 1982-1984]			
Eksponeringsberegninger	[Horizontal line spanning 1983-1985]			
Virkningsstudier - korrosjon	[Horizontal line spanning 1983-1985]			
Avsluttende rapportering	[Horizontal line spanning 1984-1985]			
Status/framdriftsrapporter	Δ	Δ	Δ	

Figur 59: Framdriftsplan for basisundersøkelsen i Bergen.

Målinger av meteorologiske parametre ble utført på i alt 11 målestasjoner, hvorav 3 er faste klimastasjoner drevet av Meteorologisk institutt/Vervarslinga på Vestlandet.

Formålet med de meteorologiske målingene var dels for å gi nødvendige inngangsdata for beregninger av forurensningsfelt ved hjelp av spredningsmodeller, dels for å kunne vurdere hvor representative forholdene under måleperioden var med hensyn til spredningsforhold og utslippsmengder. Utslippsmengdene påvirkes i første rekke av lufttemperaturen. Måleprogrammet omfattet følgende parametre:

Parameter	Antall målestasjoner	
	Vinter 1983 og 1983/84	Sommer 1983 (mai-juni)
Vindretning	8	5
Vindstyrke	8	5
Temperatur, 1 høyde	5	1
Temperatur, 2 høyder	2	2
Turbulens	1	1
Relativ fuktighet	2	2

Figur 60 viser måleprogrammet i detalj.

Stasjons- nr.	Målested	Parameter/h.o.b.	1.kvartal 1983			2.kvartal 1983			3.kvartal 1983			4.kvartal 1983			1.kvartal 1984		
			J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M
A	Nygårdstangen	Vindretning 10 m } Vindstyrke 10 m } Temperatur 2 m }	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
B	Sjøflyhavna	Vindretning 10 m } Vindstyrke 10 m }	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
C	Laksevåg	Vindretning 20 m } Vindstyrke 20 m }	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
D	Storetveit	Vindretning 10 m } Vindstyrke 10 m }	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
E	Skjold	Vindretning 36 m } Vindstyrke 10 m, 36 m } Temperatur 2 m } Temp.differens 36-10 m } Turbulens 36 m } Relativ fuktighet }	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
F	Svartediket	Vindretning 10 m } Vindstyrke 10 m } Temperatur 2 m }	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
G	Fyllingsdalen	Vindretning 10 m } Vindstyrke 10 m } Temperatur 2 m }	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
H	Fløyen	Temperatur 2 m }	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
I	Fredriksberg (MI)	Vindretning 12 m, 19 m } Vindstyrke 12 m, 19 m } Temperatur 2 m, 12 m } Relativ fuktighet, 2 m }	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
J	Florida (MI)	Vindretning 45 m } Vindstyrke 45 m } Temperatur 2, 30, 41 m }	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
K	Flesland (MI)	Vindretning 10 m } Vindstyrke 10 m }	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	

Figur 60: Måleprogram for meteorologi. Stiplet linje angir hull i data-materialet. H.o.b.: Målepunktets høyde over bakken.

Målestedene er vist i figur 61. De er plassert for å dekke de viktigste luftstrømmer i området. Hovedluftstrømmen er langs Bergensdalen, og viktige drenasjestrømmer har man i sidedalene, f.eks. ned Isdalen og ut over Svartediket.

Tyngden av måleprogrammet var konsentrert om vinterperiodene januar-mars 1983 og november-februar 1983-84. Sommerperioden mai-juni 1983 var også godt dekket. I disse periodene ble også luftkvalitetsmålingene konsentrert.

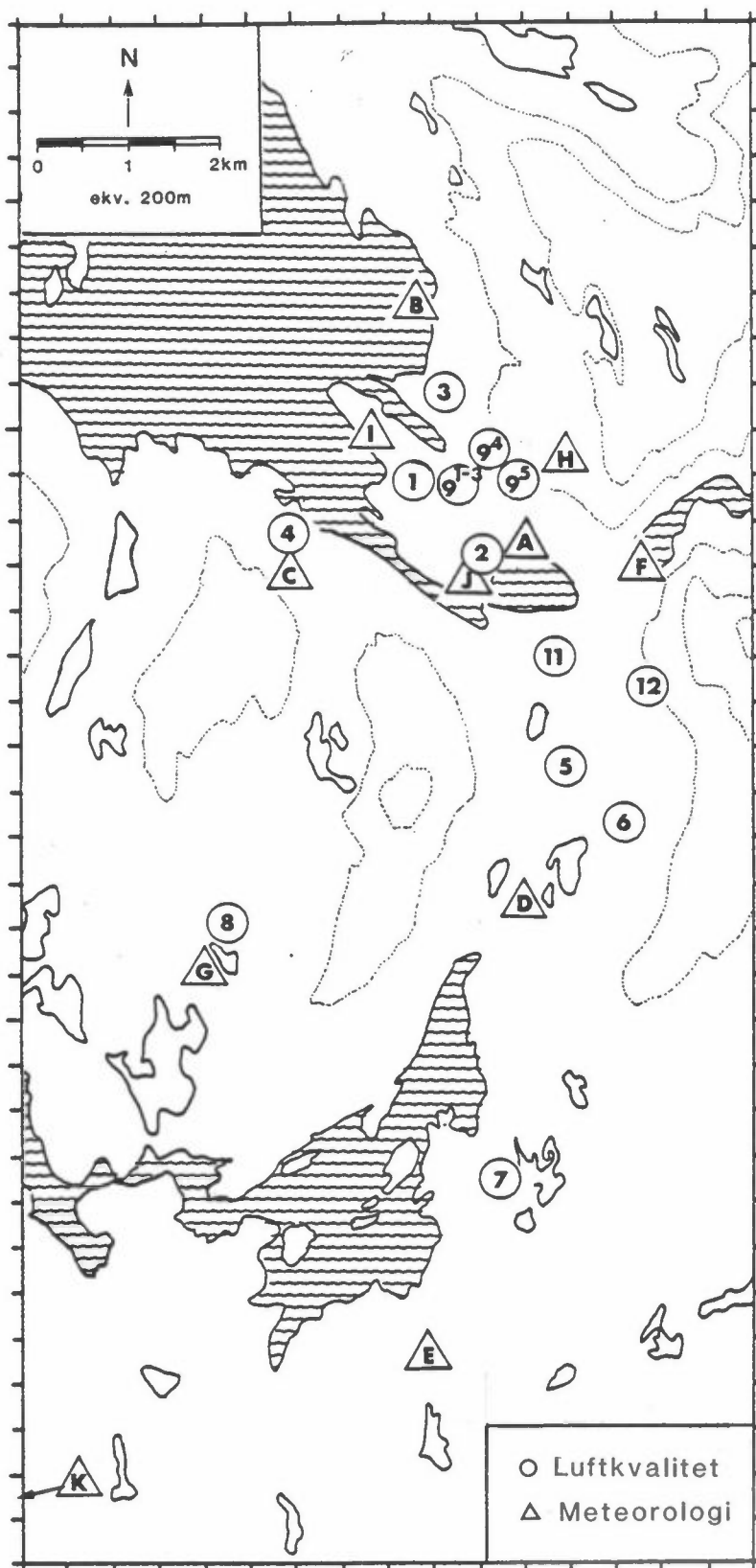
Måleprogrammet ble noe endret for første til siste vinterperiode. Vindstasjonene i Sandviken (Sjøflyhavna) ble flyttet til Laksevåg, og det ble opprettet en ny stasjon i Fyllingsdalen med vind- og temperaturmålinger.

Bare klimastasjonene samt NILU's hovedstasjon på Skjold var i drift i hele perioden for januar 1983 til februar 1984. Klimastasjonen Fredriksberg ga data bare i første halvår 1983.

Data for klimastasjonene Florida og Flesland, som har lange tidsserier, ble benyttet til å vurdere representativiteten av undersøkelsesperioden.

Målinger av luftkvalitet ble utført på ialt 15 målesteder, hvorav 3 er målestasjoner som har vært i drift siden begynnelsen av 1970-årene. To av disse inngår i det landsomfattende overvåkingsprogrammet for SO<sub>2</sub>, sot og bly.

Luftkvalitetsmålingene ble utført dels for å karakterisere luftkvaliteten i enkeltperioder, og dels for å gi referansepunkter for beregningene av forurensningsfelt (basert på utslippsoversikter).



Figur 61: Målestasjoner for luftkvalitet og meteorologi i Bergen (for stasjonsnavn, se figur 60 og 62 ).

Ved plassering av målestasjoner for luftkvalitet gjorde en i hvert tilfelle en avveining mellom på den ene siden ønsket om å representere gjennomsnittlig luftkvalitet i 500-meter-ruter for direkte sammenligning med beregningene, og på den annen side ønsket om å representere luftforurensningen i de sterkest forurensede delområder (utstrekning 50-100 meter) i ulike deler av prosjektområdet. I hovedsak var spørsmålet hvor langt fra nærliggende sterkt trafikkerte veier en i det enkelte tilfellet skulle plassere stasjonen.

Plasseringen av målestasjonene er vist i figur 61.

Luftkvalitetsstasjonene bli i hovedsak plassert i lavereliggende, tett befolkede områder fra Sandviken i nord til Hop i sør. Noen stasjoner (Rådhuset 25 meter og 50 meter, Fjellien og Skansemyren) ble plassert for å kunne studere vertikalfordeling av forurensning over Bergen sentrum.

Luftkvalitetsmålingene har omfattet en rekke stoffer. Måleprogrammet har variert fra stasjon til stasjon.

Programmet har omfattet følgende stoffer:

- svoveldioksid ( $\text{SO}_2$ )
- nitrogenoksider ( $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$ )
- karbonmonoksid ( $\text{CO}$ )
- sot (indikator for elementært karbon)
- svevestøv
  - . fin-fraksjon (partikler  $<2.5 \mu\text{m}$  i diameter)
  - . inhalerbart (partikler  $<10 \mu\text{m}$  i diameter)
- polisykliske aromatiske hydrokarboner, PAH (opptil 34 organiske komponenter i gass- og partikkelfase)

Luftkonsentrasjonene er i hovedsak målt som middelveidier over 24 timer. I endel forurensningsepisoder ble det målt middelveidier over 6 timer. På hovedstasjonen i Teaterparken (DNS) er i tillegg  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{NO}_2$  og  $\text{CO}$  målt med kontinuerlig registrerende instrumenter. Resultatene fra disse målingene er gitt som middelveidier over 1 time.

For alle komponenter bortsett fra PAH ble målinger utført hver dag i måleperioden. PAH-målingene ble som hovedregel tatt hver 6. dag.

Nedenfor følger en kort karakteristikk av de enkelte målestasjoner:

Stasjon 1: Teaterparken (DNS). Hovedstasjon plassert i det antatt mest forurensede området i Bergen. Den eneste stasjon utstyrt med kontinuerlig registrerende måleinstrumenter (for CO, NO<sub>x</sub>, NO<sub>2</sub> og SO<sub>2</sub>). Trafikkeksponert (50-60 m fra Engen med årsdøgntrafikk (ADT) 11.000 biler/døgn, 20 m fra bussholdeplass).  
Komponenter: SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, NO<sub>2</sub>, CO, sot, bly, svevestøv, PAH, korrosjon (fullt program).  
Drift: Vinter og sommer.

Stasjon 2: CMI. Sentrumstasjon. Fast overvåkingsstasjon plassert i 7. etasje i nåværende Bergen ingeniørhøgskole (tidl. CMI). Stasjonen er plassert nær Store Lungegårdsvann og påvirkes i noen grad av trafikken på hovedinnfartsåre fra sør (avstand 30 m, ADT 45.000).  
Komponenter: SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, sot, bly, korrosjon.  
Drift: Hele året

Stasjon 3: Sandviken. Plassert i sentrumsnært boligområde med gammel bebyggelse og antatt en del bruk av kull og koks til oppvarming.  
Komponenter: SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, sot, bly og svevestøv, korrosjon.  
Drift: Vinter

Stasjon 4: Laksevåg. Plassert i sentrumsnært boligområde med nyere bebyggelse.  
Komponenter: SO<sub>2</sub>, sot, bly, korrosjon.  
Drift: Vinter.

Stasjon 5: Minde. Plassert i boligområde som påvirkes av trafikken på hovedinnfartsveien fra sør (60 m avstand til vei med ADT 20.000).  
Komponenter: SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, sot, bly, svevestøv, PAH, korrosjon.  
Drift: Vinter.

- Stasjon 6: Landås. Plassert i boligområde utenfor sentrum. Lite trafikkpåvirket.  
Komponenter: SO<sub>2</sub>, sot, bly, korrosjon.  
Drift: Vinter.
- Stasjon 7: Hop. Plassert i boligområde langt unna Bergen sentrum, nær tettstedet Nesttun. Lite trafikkpåvirket.  
Komponenter: SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, sot, bly, svevestøv, korrosjon.  
Drift: Vinter og sommer, for å karakterisere svevestøvbelastningen i boligområde om sommeren.
- Stasjon 8: Fyllingsdalen. Plassert i boligområde utenfor sentrum.  
Komponenter: SO<sub>2</sub>, sot, bly, korrosjon.  
Drift: Vinter 1983-84.
- Stasjon 91, Rådhuset, 5 m, 25 m og 50 m over bakken. Sentrum. Stasjonene 92, 93: opprettet for å gi et vertikalsnitt over Bergen sentrum opp til 50 m.  
Komponenter: SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, sot, bly, svevestøv (på taket 50 m).  
Drift: Vinter.
- Stasjon 94: Fjellien. Plassert i boligområde ca 100 m over havet i fjellsiden opp mot Fløyen. Fortsettelse av vertikalsnittet.  
Komponenter: SO<sub>2</sub>, sot og bly.  
Drift: Februar 1983.
- Stasjon 95: Skansemyren. Plassert i boligområde ca 150 m over havet i fjellsiden opp mot Fløyen. Fortsettelse av vertikalsnittet.  
Komponenter: SO<sub>2</sub>, sot og bly.  
Drift: Februar 1983.
- Stasjon 11: Kronstad. Plassert i sentrumsnært boligområde nært Store Lungegårdsvann. Fast overvåkingsstasjon.  
Komponenter: SO<sub>2</sub>, sot, bly, korrosjon.  
Drift: Hele året.



Stasjon 12: Ravneberget. Plassert ca 180 m over havet i fjellsiden opp mot Ulriken. Stasjonen har vært drevet i flere år av Bergen kommune, opprinnelig opprettet for å overvåke utslippene fra Haukeland sykehus.

Komponenter:  $\text{SO}_2$ , sot, bly, korrosjon.

Drift: Hele året.

Målingene var i hovedsak konsentrert om vinterperiodene januar-februar 1983 og november-februar 1984. De faste stasjonene gikk hele året, og noen stasjoner var i tillegg i drift i sommerperioden mai-juni 1983.

Måleprogrammet på de enkelte stasjoner (datatilgjengeligheten) framgår av figur 62. Vinteren 1983 var 14 stasjoner i drift, inklusive de fem stasjoner 91-95 som dannet et tilnærmet vertikalsnitt opp til ca 150 meters høyde. I sommerperioden var hovedstasjonen i Teaterparken (DNS) og Hop i drift, i tillegg til de faste stasjonene CMI, Kronstad og Ravneberget. Sommerprogrammet skulle gi referanseverdier for luftkvalitet i sentrum og i et boligområde utenfor sentrum. Vinteren 1983-84 var 13 stasjoner i drift. Fyllingsdalen var nyopprettet mens Fjellien og Skansemyren ikke ble satt i drift. I Rådhuset gikk 25 m-stasjonen i hele perioden, mens 5 m- og 50 m-stasjonene gikk bare i februar. Det viste seg etterpå at januar ville ha vært en bedre måned å ha dette vertikalsnittet gående på grunn av de mange interessante forurensningsepisoder.

Målinger av atmosfærisk korrosjon ble utført på 11 stasjoner. Her ble også målt nedbørmengde og nedbørkvalitet.

I basisundersøkelsen var målet å kartlegge korrosjonen i Bergens-området og å etablere sammenhenger (dose-effekt-relasjoner) mellom miljøvariable (luftkvalitet og meteorologiske parametre) og korrosjon. Dose-effekt-sammenhenger er nødvendige for å beregne skadevirkninger og for å vurdere tiltak for reduksjon av slike. Undersøkelsen i Bergen har vært viktig for å sammenligne dose-effektsammenhenger fra et område med mye nedbør, høy fuktighet, sjøsaltbelastning og lite  $\text{SO}_2$  med tørrere og mer  $\text{SO}_2$ -rike områder i Sarpsborg-Fredrikstad.

		1983				
		JAN	FEB	MAR	MAI	JUN
<u>Kont. målinger</u>						
<u>DNS</u>	CO	5		5	9	13
	NO <sub>x</sub> , NO <sub>2</sub>	22	27			
	SO <sub>2</sub>					
<u>24h middelveier</u>						
<u>SO<sub>2</sub></u>	1 DNS	8		5		
	2 CHI					
og	3 Sandviken	13		3		
<u>Sot</u>	4 Laksevåg	8				
	5 Minde	15		2		
	6 Landås	10				
	7 Hop		26			
	91 Rådhuset 5m	8		5		
	92 " 25m					
	93 " 50m					
	94 Fjellien					
	95 Skansemyr					
	11 Kronstad	6				
	12 Ravneberget					
<u>Pb</u>	1					
	2					
	3					
	4					
	5		26			
	6					
	7		26			
	91					
	92					
	93					
	94					
	95					
<u>NO<sub>2</sub></u>	1	8		5		
	2		10			
	3	13				
	5	15				
	7		27			
	91	8				
	93					
	95		26			
<u>Sveve-</u>	1	7		6		
<u>støy</u>	3	14				
	5		28	8	15	
	7					
	93		28			

Figur 62: Måleprogram (datatilgjengelighet) for luftkvalitetsmålinger i Bergen.

	1983				1984	
	SEP	OKT	NOV	DES	JAN	FEB
<b>KONTINUERLIGE MÅLINGER</b>						
DNS CO			20		8	
NO <sub>x</sub> , NO <sub>2</sub>			20		8 12	
SO <sub>2</sub>			29	13 19		
<b>DØGNVERDIER</b>						
<b>SO<sub>2</sub> OG SOT</b>						
1 DNS						
2 CMI						
3 SANDVIKEN						
4 LAKSEVÅG						
5 MINDE						
6 LANDÅS					12 18	5
7 HOP						3
8 FYLLINGSDALEN						
91 RÅDHUSET 5M						6
92 " 25M						
93 " 50M						6
11 KRONSTAD				29	5	
12 RAVNESBERGET						
<b>NO<sub>2</sub></b>						
1 DNS					8 18 21 28	
2 CMI					20 23	23
3 SANDVIKEN			5 11		26	
5 MINDE						
7 HOP SKOLE			13 21			5
92 RÅDHUSET 25M					2 8	26
<b>PB</b>						
1 DNS						
2 CMI						
3 SANDVIKEN						
4 LAKSEVÅG						
5 MINDE						
6 LANDÅS					12 18	
7 HOP SKOLE						
8 FYLLINGSDALEN						
92 RÅDHUSET 25M						
11 KRONSTAD					5	
12 RAVNEBERGET						
<b>SVEVESTØV</b>						
1 DNS			2			
5 MINDE			22	23	8 15	20
<b>PAH, BENZEN</b>						
1 DNS			11 17 23 29 5 13 17 21 28	6 10 14 20 26	1 7	24
5 MINDE			17 23 29 5 13 17 21 28	6 10 14	26 1 7 13 18	24

Figur 62: forts.

Målingene har omfattet årseksponering av stål, sink, kopper og aluminium, samt kvartalseksponering av stål i 2 år (1983 og 1984). I perioden februar-desember 1984 ble det dessuten utført månedseksponeringer av stål. Plater av de ulike metallene ble eksponert i  $45^0$  vinkel med horisontalplanet, med flaten vendt mot sør.

Nedbørkvalitet (pH, klorid) ble målt på samtlige stasjoner, mens kloridbelastning fra luft ble målt på CMI, Fyllingsdalen og Fredriksberg i perioden februar-desember 1984.

Den daglige drift av målestasjonene ble utført av personell ved Bergen ingeniørhøyskole og Geofysisk institutt ved Universitetet i Bergen.

Målestasjonene ble opprettet av NILU i samarbeid med Helseseksjonen i Bergen Kommune. Forberedende arbeid med tillatelser ble utført av siv.ing. J.A. Brinkmann og avd.ing. P.E. Tveiten. NILU foretok nødvendig kontroll og kalibrering med jevne mellomrom. Til den daglige drift av luftkvalitets-stasjonene ble det opprettet avtaler med lektor E. Meisingset og hans medarbeidere ing. Johannessen og ing. Bjorheim ved Kjemiavdelingen ved Bergen ingeniørhøyskole, som utførte et meget omfattende arbeid med kontroll og prøveskift ved stasjonene. Spesielt under forurensningsepisodene med 6-timers-prøver ble det gjennomført en meget omfattende arbeidsinnsats. Driften av det meteorologiske måleprogrammet ble inntil sommeren 1983 utført av cand.real. Inger Bauer-Hanssen ved Geofysisk institutt, og senere av student Frode Hassel ved samme institutt. Sondeoppstigningene som ble foretatt jevnlig gjennom hele døgnet under enkelte forurensningsepisoder ble utført av studentene Frode Hassel og Eirik Berge ved Geofysisk institutt.

## GRUNNLAGSMATERIALE 8 - GRENSEVERDIER OG VURDERINGSGRUNNLAG FOR LUFTKVALITET

En arbeidsgruppe oppnevnt av SFT har beskrevet sammenhengen mellom luftforurensning og skadevirkninger på helse og miljø.

Ved vurdering av luftkvaliteten i et område er det vanlig å sammenligne målte eller beregnede konsentrasjoner med retningslinjer for luftkvalitet. SFT/Røykskaderådet utarbeidet i 1977 et forslag til retningslinjer for de mest alminnelig forekommende forurensningskomponenter (svoveldioksid ( $\text{SO}_2$ ), sot, nitrogendioksid ( $\text{NO}_2$ ) og fluorid).

I 1978 kom det et forslag fra Bilforurensningsutvalget om å utarbeide luftkvalitetsverdier også for bly, karbonmonoksid (CO) og fotokjemiske oksidanter. SFT oppnevnte i 1979 en arbeidsgruppe for å se på sammenhengen mellom luftforurensning og skadevirkninger på helse og miljø.

Resultatet av arbeidet er presentert i SFT-rapport nr. 38: "Luftforurensning. Virkninger på helse og miljø". Arbeidsgruppen har på grunnlag av litteraturstudier beskrevet sammenhengen mellom luftforurensning og skadevirkninger på helse og miljø (dose-effektforhold) for stoffene svoveldioksid ( $\text{SO}_2$ ), svevestøv (målt med OECD-metoden (sot)), nitrogenoksid ( $\text{NO}_2$ ), karbonmonoksid (CO), fotokjemiske oksidanter, bly og fluorider. For samtlige stoffer, unntatt bly, har gruppen angitt luftkvalitetsverdier for helsevirkninger.

Med "grenseverdier for helsevirkninger" for et stoff menes her et eksponeringsnivå (den mengden av forurensning) som en ut fra nåværende viten antar befolkningen kan utsettes for uten at helsevirkninger forekommer.

Grenseverdier for luftkvalitet er gitt både for korte (1-24 timer) og lange (3 eller 6 måneder) midlertidige.

For  $\text{SO}_2$  og sot har "SFT-gruppen" ikke funnet grunnlag for å fastsette en bestemt grenseverdi. Det er derfor foreslått følgende konsentrasjonsområder:

Svoveldioksid

Halvårsmiddel : 40- 60  $\mu\text{g}/\text{m}^3$   
 Døgnmiddel : 100-150 "

Sot

Halvårsmiddel : 40- 60  $\mu\text{g}/\text{m}^3$   
 Døgnmiddel : 100-150 "

Nitrogendioksid

Halvårsmiddel : 75  $\mu\text{g}/\text{m}^3$   
 Døgnmiddel : 100-150 "  
 Timesmiddel : 200-350 "

Karbonmonoksid

8-timers middel: 10  $\text{mg}/\text{m}^3$   
 Timesmiddel : 25 "

For bly har "SFT-gruppen" ikke funnet grunnlag for å angi en grenseverdi for luftkvalitet. Dette skyldes mangelfull kunnskap om blybelastningen i den norske befolkning, og at det ikke er nok bare å ta hensyn til den direkte tilførselen av bly fra luft. I denne rapporten har en valgt å bruke den grenseverdien Environmental Protection Agency i USA vedtok i 1978. Denne er strengere enn de retningslinjer som brukes i Vest-Tyskland.

Bly

Kvartalsmiddel : 1.5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . "Air Quality Criteria", USA

Til sammenligning har Vest-Tyskland følgende retningslinjer:

Årsmiddel : 1.5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$   
 Døgnmiddel : 3 "

I samarbeid med SFT er det utarbeidet et vurderingsgrunnlag for klassifisering av luftforurensninger i klassene "lite", "middels" og "mye" luftforurensning.

Inndeling i klassene "lite", "middels" og "mye" luftforurensning er vist i tabell 12. Klassifiseringen bygger på norske forslag til grenseverdier. For bly er grunnlaget grenseverdier i Vest-Tyskland og USA.

Klassifiseringen er utarbeidet på grunnlag av grenseverdier for virkningskategori helse. For virkningskategori vegetasjon er grenseverdiene for svoveldioksid lavere enn for virkningskategori helse.

Tabell 12: Grenseverdier for luftforurensning og klassifisering i kategoriene "lite", "middels" og "mye" luftforurensning. Grenseverdiene og klassifiseringen gjelder virkningskategori helse.  
(Alle verdier i  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , unntatt CO som er i  $\text{mg}/\text{m}^3$ .)

Stoff	Midlingstid	Norske grenseverdier	"Lite"	"Middels"	"Mye"
SO <sub>2</sub>	24 h	100-150	< 100	101-150	>150
	6 mnd	40- 60	< 40	41- 60	> 60
NO <sub>2</sub>	1 h	200-350	< 200	201-350	>350
	24 h	100-150	< 100	101-150	>150
	6 mnd	75	< 60	61- 90	> 90
Sot	24 h	100-150	< 100	101-150	>150
	6 mnd	40- 60	< 40	41- 60	> 60
Bly	24 h		< 1.5	1.5-3	> 3
	1 mnd		< 1	1 -2	> 2
Co	1 h	25	< 20	20- 35	> 35
	8 h	10	< 8	8- 15	> 15

Klassifiseringen for bly tar utgangspunkt i amerikanske (3 mnd:  $1.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) og vest-tyske (døgn:  $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , år:  $1.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) grenseverdier.

