



Statlig program for forurensningsovervåking

RAPPORT NR 234/86

Oppdragsgiver

Statens forurensningstilsyn

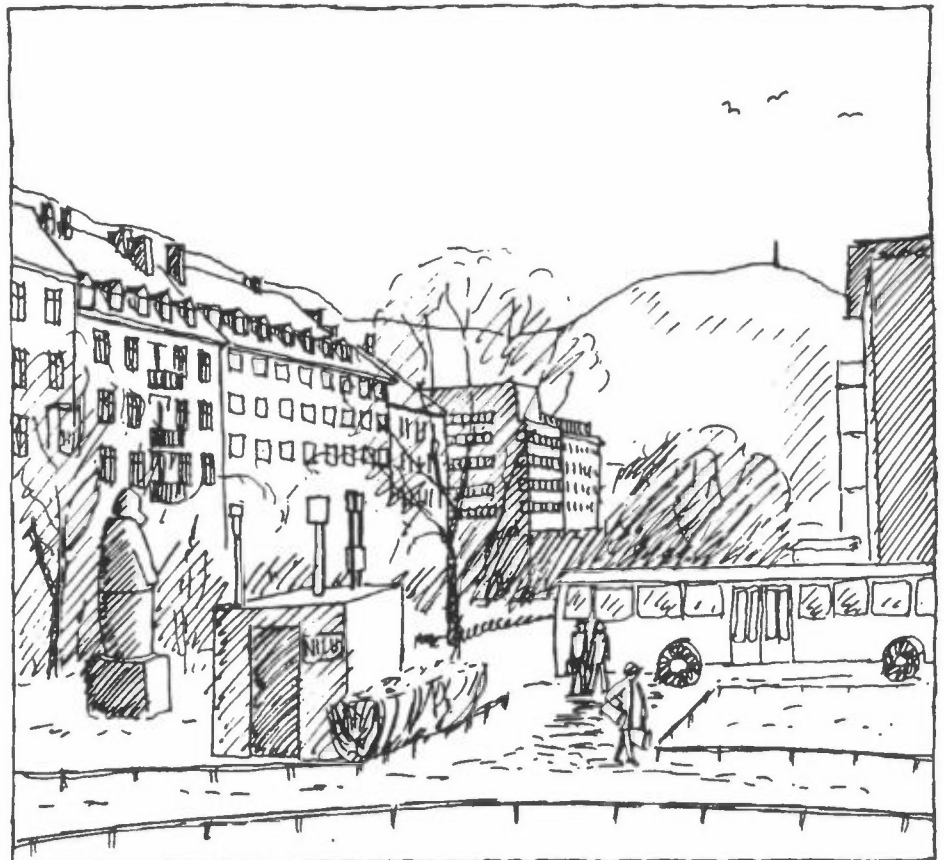
Deltagende institusjon

NILU

BASISUNDERSØKELSE AV LUFTKVALITETEN I BERGEN, 1983 – 1985

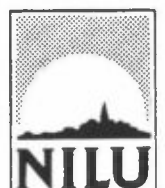
SPREDNINGSBEREGNINGER

DELRAPPORT C



Norsk institutt for luftforskning

Postboks 130 – 2001 Lillestrøm





Statlig program for forurensningsovervåking

Det statlige programmet omfatter overvåking av forurensningsforholdene i

**luft og nedbør
grunnvann
vassdrag og fjorder
havområder
skog**

Overvåkingen består i langsiktige undersøkelser av de fysiske, kjemiske og biologiske forhold.

Hovedmålsettingen med overvåkingsprogrammet er å dekke myndighetenes behov for informasjon om forurensningsforholdene med sikte på best mulig forvaltning av naturressursene.

Hovedmålet spenner over en rekke delmål der overvåkingen bl.a. skal:

gi informasjon om tilstand og utvikling av forurensningssituasjonen på kort og lang sikt.

registrere virkningen av iverksatte tiltak og danne grunnlag for vurdering av nye forurensningsbegrensende tiltak.

påvise eventuell uheldig utvikling i resipienten på et tidlig tidspunkt.

over tid gi bedre kunnskaper om de enkelte vannforekomsters naturlige forhold.

Sammen med overvåkingen vil det føres kontroll med forurensende utlipp og andre aktiviteter.

Overvåkingsprogrammet finansieres i hovedsak over statsbudsjettet. Statens forurensningstilsyn er ansvarlig for gjennomføring av programmet.

Resultater fra de enkelte overvåkingsprosjekter publiseres i årlige rapporter.

Henvendelser vedrørende programmet kan i tillegg til de aktuelle institutter rettes til Statens forurensningstilsyn, Postboks 8100 Dep, 0032 Oslo 1, tlf. 02 - 57 34 00.

NILU OR : 49/86
REFERANSE: O-8249
DATO : APRIL 1986

**BASISUNDERSØKELSE AV LUFTKVALITETEN
I BERGEN 1983 - 1986.**

SPREDNINGSBEREGNINGER.

K.E. Grønskei

NORSK INSTITUTT FOR LUFTFORSKNING
POSTBOKS 130, 2001 LILLESTRØM
NORGE

ISBN-82-7247-720-3

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 delelement 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.	SFT rapport	232/86
Eksponering og helsevirkninger.	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 212/85 NILU rapport OR 6/86
Parameterisering av nettostrålingen.	NILU rapport TR 12/83
A numerical model suitable for the simulation of a broad class circulation systems on the atmospheric mesoscale.	NILU rapport (under arbeid)
Forslag til plan for basisundersøkelsen i Bergen.	NILU rapport OR 4/83

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 Vervarslinga på Vestlandet.

KONKLUSJON

Sammenligning av målte og beregnede forurensningskonsentrasjoner i Bergen indikerer nøyaktigheten i beskrivelsen av luftkvaliteten i Bergen ved hjelp av sammenhengen mellom kjente utslipp og forurensningskonsentrasjoner. Årsaken er beskrevet ved hjelp av spredningsberegninger på grunnlag av utslippsdata og meteorologiske målinger.

SO₂-forurensninger:

Det er samsvar mellom målte og beregnede SO₂-konsentrasjoner i vinterhalvåret. De beregnede konsentrasjonene er basert på data for utslipp og spredningsforhold. Dataene viser at SO₂-konsentrasjonen vesentlig skyldes mange små fyringsutslipp.

Overskridelser av SFTs grenseverdier forekommer i episoder med stagnerende luft. Episodene karakteriseres videre av kald luft nærmest bakken som er årsak til en stabil temperatursjiktning og liten vertikal blanding av forurensningsutslippene. Beregninger i episodene viser at små endringer i vær-situasjonen og bakkens termiske egenskaper kan gi store endringer i forurensningsbelastningen.

Eksosforurensninger:

Beregnete luftkonsentrasjoner av NO_x, partikler, elementært karbon, CO og Pb var lavere enn de observerte verdiene. De beregnede verdiene indikerer at disse forurensningskomponentene vesentlig skyldes eksosen fra biltrafikken. Det er sannsynlig at årsaken til avviket skyldes en kombinasjon av flere faktorer:

- ved de aktuelle temperatur- og trafikkforhold i Bergen var utslippet fra biltrafikken sannsynligvis større enn antatt. (40-60% tillegg på grunn av lav temperatur og dårlig trafikkavvikling.)
- utslipp fra biltrafikken på gater og veier fører til spesielt høye konsentrasjoner innenfor en sone på hver side av veiene (ca 100 m). Utstrekningen av disse forurensningssonene er ikke nøyaktig beskrevet ved hjelp av tilgjengelige beregningsmetoder.

Beskrivelse av sammenhengen mellom utslipp og observerte forurensningskonsentrasjoner i Bergen har vist at det kan være nødvendig å vurdere følgende faktorer når nye forurensningsutslipp skal lokaliseres

- kanaliserte luftstrømmer fører til at begrensede områder er spesielt utsatt for utslipp med uheldig lokalisering.
- mange små utslipp i lav høyde i Bergensdalen fører til overskridelser av grenseverdiene i episoder.
- variasjoner i spredningsforholdene innenfor beregningsområdet i forurensningsepisodene skiller mellom gunstige og uheldige lokaliseringer av nye utslipp som angitt nedenfor.

Kanaliseringen og variasjonen i spredningsforholdene skyldes vensentlig den kompliserte topografien i Bergensområdet. Utslipp over bakkeinvertasjonen (~200 m over havet) vil spres bedre enn utslipp lavere i Bergensdalen.

Utslipp plassert i kildeområdene for fallvindene vil ofte belaste bebodde områder i Bergen mer enn utslipp plassert nær fjorden.

SAMMENDRAG AV HVA UNDERSØKELSEN OMFATTET

Middelkonsentrasjonen i vinterhalvåret og timevise konsentrasjoner i forurensningsepisoder er beregnet ved hjelp av spredningsmodeller.

Forurensningskonsentrasjonene ble beregnet for vinterhalvåret ved hjelp av en spredningsmodell som summerer bidragene fra flere enkeltkilder og kildegrupper basert på midlere utslippsdata og vindstatistikk fra to vindstasjoner. I forurensningsepisodene ble det benyttet en dynamisk værvarslingsmodell tilpasset lokal topografi i Bergen til å klarlegge variabale spredningsforhold i hele området. Beregningsmetoden gir hovedtrekkene i de lokale spredningsforholdene og deres variasjon i beregningsområdet. Tilleggsberegninger og/eller målinger er nødvendig for å få detaljert samsvar mellom målte og observerte forurensningskonsentrasjoner i et område. Beregningsresultatene er like vel benyttet sammen med målinger til å klarlegge variasjoner i spredningsforholdene i området som kan ha betydning ved eventuell lokalisering av nye forurensningsutslipp.

NILU har benyttet data og vurderinger ved Geofysisk Institutt, Universitetet i Bergen som grunnlag for valg av spredningsparametere.

Spredningen av forurensninger i atmosfæren nær forurensningskilden avhenger av horisontale lokalvinder og av blandingsforholdene i atmosfæren. Blandingsforholdene er videre avhengig av de topografiske forhold, av friksjonen og av varmembalansen i atmosfæren.

Anvendelse av temperatur og vindmålinger i master indikerer at bestemmelsen av varmefluksen er beheftet med de største usikkerhetene. Forurensningsepisoder i Bergen forekommer uten unntak ved lav vindhastighet. Spesielt i disse situasjonene er spredningen i atmosfæren (vertikalblandingen) avhengig av varmembalansen ved bakken. I litteraturen er det videre forslag om å parameterisere vertikalspredningen. Noen aktuelle parametre er proporsjonale med vertikal varmefluks som vanskelig lar seg måle direkte. Det er derfor ønskelig å bestemme den indirekte.

I samarbeid med Geofysisk Institutt, Universitetet i Bergen har NILU benyttet eksisterende meteorologiske data fra Bergen sentrum for å bestemme varmeutvekslingen og spredningen i atmosfæren indirekte.

Resultatene viser at nettostrålingen som er viktig for varmembalansen ved bakken og dermed spredningsforholdene, kan parameteriseres ved solhøyde og skydekke på samme måte i Bergen som i Danmark. Dette kan rettferdiggjøre bruk av parameteriseringen også andre steder i Norge når en mangler målinger av temperatur og vind i master.

For Bergensområdet som helhet må vi regne med at fordelingen av fjell, daler og fjorder får innflytelse på spredningsforholdene. Ved Geofysisk Institutt er det tidligere vist at utslipp, vind og temperaturvariasjonen med høyden er bestemmende for SO_2 -variasjonen fra dag til dag i Bergen. NILU har lagt vekt på disse resultatene i sitt valg av spredningsparametre.

INNHALDSFORTEGNELSE

	Side
FORORD	3
KONKLUSJON	5
SAMMENDRAG AV HVA UNDERSØKELSEN OMFATTET	7
GRUNNLAGSMATERIALE 1: FORMÅL, METODE OG GJENNOMFØRING	11
GRUNNLAGSMATERIALE 2: BEREGNEDE OG OBSERVERTE KONSENTRASJONER	20
GRUNNLAGSMATERIALE 3: VIRKNINGER AV KOMPLISERT TOPOGRAFI PÅ SPREDNINGEN I BERGENSOMRÅDET	33
REFERANSER	34
VEDLEGG A: Data for spredning, vinddreining og topografi	37
VEDLEGG B: Beregning av svoveldioksidkonsentrasjoner ved store enkeltkilder	45
VEDLEGG C: Simulering av forurensningsepisoder i Bergen.....	51

**BASISUNDERSØKELSE AV LUFTKVALITETEN I BERGEN 1983-1986.
SPREDNINGSBEREGNINGER.**

GRUNNLAGSMATERIALE 1: FORMÅL, METODE OG GJENNOMFØRING

Resultatet av spredningsberegninger basert på utslippsdata og meteorologiske data gir grunnlag for å:

1. Klarlegge sammenhengen mellom utslipp og luftkvalitet (målte forurensningskonsentrasjoner).
2. Vurdere datagrunnlaget for beregningene.
3. Forbedre kjennskapet til befolkningseksposeringen i området.

Bergensområdet er karakterisert av komplisert topografi og kompliserte spredningsforhold i episoder med svak vind. En kontroll og en videreutvikling av beregningsmetodene var viktige i Bergen. Beregningsresultatene for basisundersøkelsen i Sarpsborg/Fredrikstad (Grønskei og Gram (1984)) viste videre at en utjevning av utslippene i km²-ruter ikke gav tilfredsstillende beskrivelse av forurensningsbidrag fra biltrafikken. På bakgrunn av erfaring med beregninger i Sarpsborg/Fredrikstad og andre områder la en vekt på å løse følgende arbeidsoppgaver:

- 1) Registrere utslipp og trafikkdata i 0.5 x 0.5 km² ruter (Gram og Hoem 1986).
- 2) Utføre konsentrasjonsberegninger som følge av utslipp langs enkelte gatesegmenter, samt å summere bidragene i enkelte beregningspunkter.
- 3) Ta hensyn til topografiens dreining av vinden i metodene for beregning av langtidsmiddelverdier i området (Grønskei 1986).
- 4) Vurdere sammenhengen mellom strålingsdata, varmembalansen ved bakken og spredningsklassifisering (Hanssen-Bauer 1983).
- 5) Beskrive spredningsmeteorologiske data i episoder ved målinger og ved

en dynamisk vindmodell for området (Iversen 1986).

Det er skrevet tekniske rapporter om arbeidet med punktene 1, 3, 4 og 5. Arbeidet med punkt 2 pågår fortsatt som en del av metodeundersøkelsene ved NILU. I denne rapporten fremstilles resultatet av spredningsberegningene. Avvik mellom beregningsresultater og målinger søkes klarlagt ut fra en vurdering av datagrunnlaget for beregningene og anvendbarheten av beregningsmetodene.

Beregninger er utført for SO₂, NO_x, partikler, sot, elementært karbon, CO og bly.

Metode

Basert på utslippsdata og på data for spredningsforholdene (meteorologiske data) er det utført spredningsberegninger for å angi konsentrasjonsfordelingen i området.

a) Langtidsmiddelverdier

Vinddata fra to stasjoner i området, Florida og Storetveit, er benyttet til å beskrive strømlinjer for forurensningstransporten i Bergensdalen. Samtidige målinger av vindretning og vindhastighet viser at det er en tendens til kanalisering av vinden ved Storetveit, hastigheten er dessuten lavere enn i samme høyde over bakken på Florida. Datagrunnlaget for beregning av dreiningen er vist i vedlegg A, og metoden er beskrevet i et foredrag presentert på en WMO-kongress i Leningrad i mai 1986 (Grønskei, 1986). NILU's metode for beregning av vertikalspredning er anvendt. Metoden er utprøvet i flere områder bl.a. Sarpsborg/Fredrikstad og Oslo (Grønskei og Gram, 1984).

b) Forurensningskonsentrasjonen ved store enkeltkilder er beregnet ved en metode beskrevet av Bøhler (1985) (se vedlegg B). Ved beregning av langtidsmiddelverdier ble følgende kilder tatt med som punktkilder:

Blikkvalseverket
Bergensmeieriet
Hansa Bryggerier
J.C. Martens
Haukeland Sykehus

Figur 1 viser beregningsområdet, gridsystemet og punktkildenes posisjoner. Ved beregning av bidraget fra punktkildene var det nødvendig å ta hensyn til topografien som beskrevet av Sivertsen (1980).

- c) Forurensningsbidraget fra linjekilder (gater og veier) er beregnet dels ved å benytte den nordiske beregningsmetoden (Larssen 1984), dels ved å benytte EPAs HIWAY-modell (Zimmerman and Thompson 1975). Den nordiske beregningsmetoden er benyttet til å anslå 99-prosentilen i fordelingen av timevise konsentrasjoner ved sterkt trafikkerte gater i Bergen. Resultatene er fremstilt i delrapporten om målinger av luftkvalitet i Bergen (Larssen, 1986). For å beregne det samtidige bidraget til langtidsmiddelkonsentrasjoner fra flere vegsegmenter, er beregningsresultater fra HIWAY modellen benyttet. Programmering av en tilsvarende spredningsmodell i NILUs programsystem er påbegynt, men regneprogrammet er ikke utprøvet.

I et byområde har det vist seg nødvendig å beregne bidraget fra dominerende trafikkårer spesielt. Det har stor betydning for beskrivelsen av konsentrasjonen nær linjekildene (ut til en avstand på 100-200 meter).

d) Arealkilder

I Bergen forekommer det mange små enkeltkilder innenfor hver beregningsrute. Det har ikke vært mulig å samle inn og å bearbeide informasjon om nøyaktig posisjon for hver enkelt av småkildene. De behandles derfor summarisk som 100 punktkilder jevnt fordelt i hver rute. Utslippshøyde og blanding ved kildene er bestemt på grunnlag av hushøyde og terreng i hver del av området. Beregningene av bidraget fra punktkildene summeres i faste beregningspunkter. Det interpoleres mellom disse beregningspunktene. Denne beregningsmetoden for bidraget fra mange småkilder (arealkilder) ble først foreslått av H. Fortak (1970).

e) Episodeberegninger

NILU ved Trond Iversen har i samarbeid med Meteorologisk Institutt utarbeidet en beregningsmetode for vind i komplisert terreng. Metoden beskrives i en egen rapport. Beregningsmetoden tar hensyn til den storstilte vær-situasjonen samt virkningene av varmbalansen og topografiske forhold på spredningen i Bergen (Iversen og Nordeng, 1986). Beregningsresultater for lokale vind- og utvekslingsforhold i episodene

benyttet til spredningsberegninger. Spesielt i episodene varierer spredningsforholdene med tiden og i rommet. Metoden for konsentrasjonsberegninger som tar hensyn til de variable spredningsforholdene er beskrevet av Grønnskei og Gram (1981).

Når metoden er utprøvet, kan den videre anvendes til å vurdere om enkelte deler av området er mer utsatt for utslipp av luftforurensninger enn andre.

f) Parameterisering av vertikalspredning i komplisert terreng.

I Bergen er det en årrekke utført strålingsmålinger og bestemmelse av netto strålingsbalanse. Varmebalansen og den vertikale varmefluksen i atmosfæren påvirker spredningene. Denne parameteren lar seg vanskelig måle direkte, og indirekte metoder er foreslått i litteraturen (Nielsen et al., 1981 og Holtslag et al., 1981).

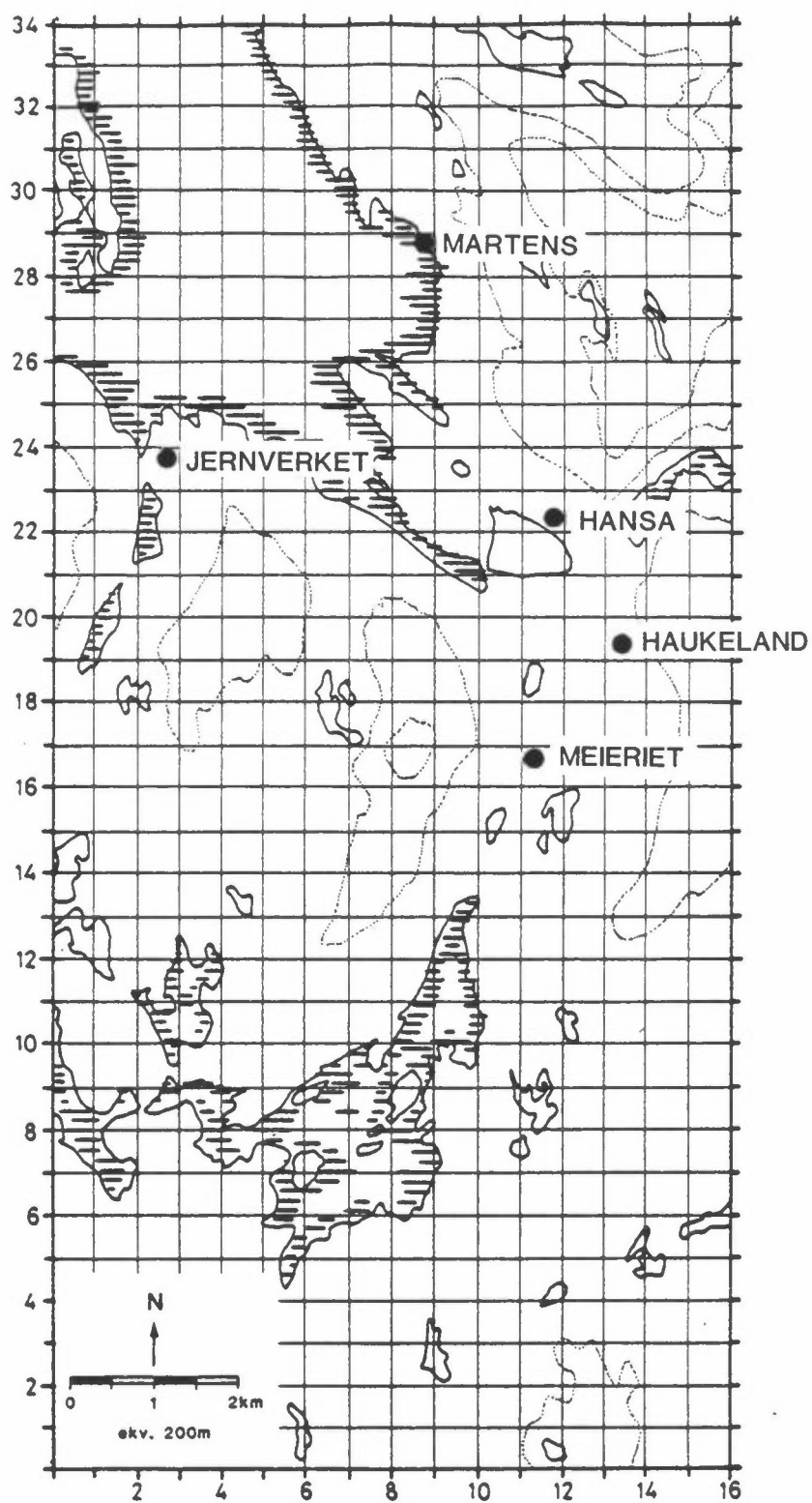
NILU ved Inger Hanssen-Bauer har samarbeidet med Universitetet i Bergen for å etterprøve metodene med sikte på anvendelse i Norge. Det er skrevet en egen rapport om denne delen av arbeidet (Hanssen-Bauer, 1983).

Utslippsdata

På grunnlag av informasjon innsamlet ved spørreskjema er det gitt en oversikt over utslipp fra

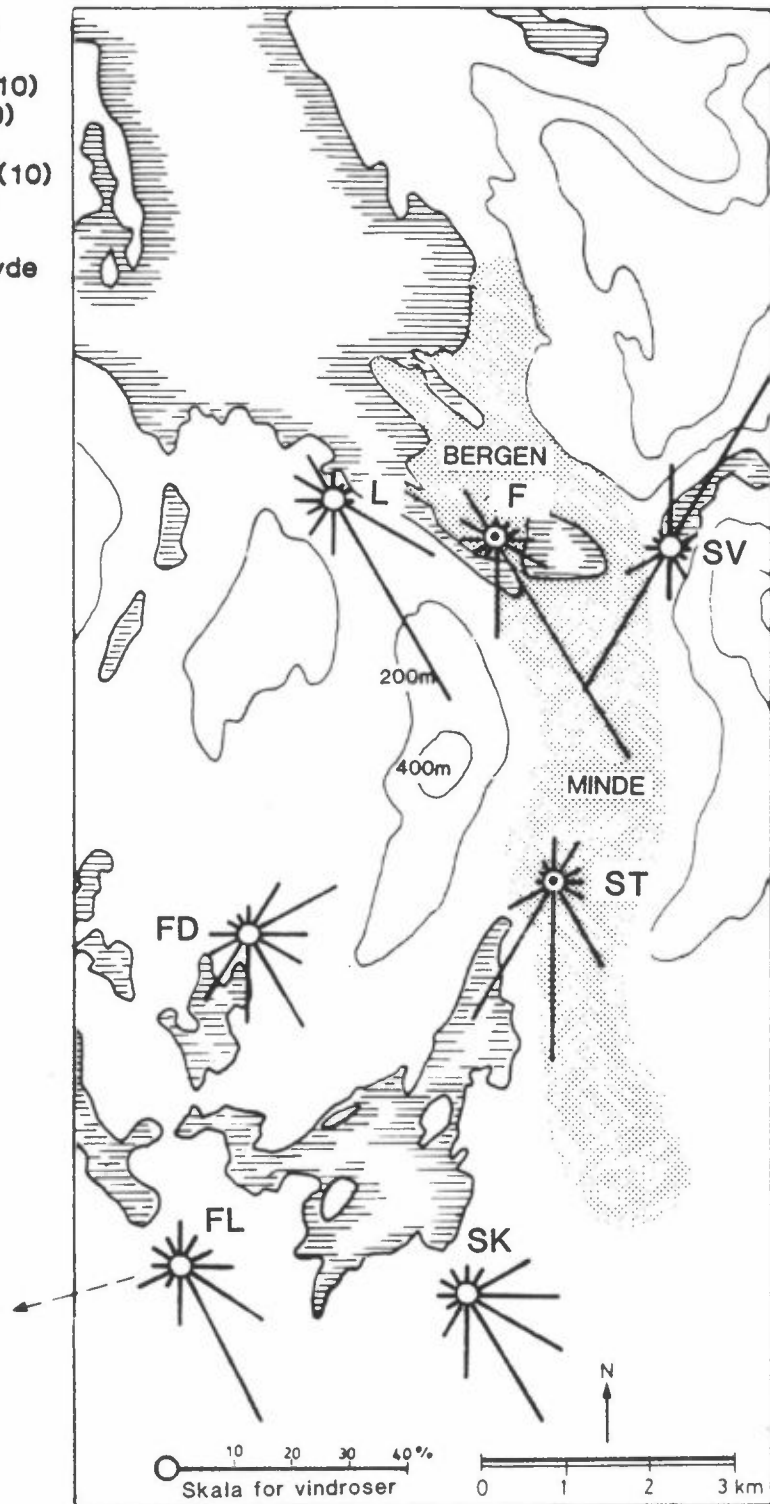
- fyringsanlegg
- biltrafikk
- prosessutslipp fra industri og annen virksomhet
- avfallsforbrenning

Tidsvariasjonen i utslippene i løpet av basisundersøkelsen er beskrevet ved hjelp av endringer i totalt oljeforbruk og informasjoner fra spørreundersøkelsen. Detaljert informasjon om utslippsoversiktene i Bergen finnes i en egen rapport (Gram og Hoem, 1986).



Figur 1: Beregningsområdet i Bergen med topografi, gridsystemet og punktkildenes posisjoner.

- L-Laksevåg (20)
 F- Florida (45)
 SV-Svartediket (10)
 ST-Storetveit (10)
 SK-Skjold (36)
 FD-Fyllingsdalen (10)
 FL-Flesland (10)
- () Målepunkthøyde
 over bakken



Figur 2: Vindroser i dalene indikerer typiske strømlinjer for transport av luftforurensninger. Stasjonsbetegnelser er vedlagt.

Data for spredningsforholdene

Figur 2 indikerer typiske luftstrømmer i dalene ved hjelp av vindroser plassert ved målestasjonene. Sammenhengen mellom meteorologiske data og forurensningskonsentrasjoner i Bergen er undersøkt tidligere ved Geofysisk Institutt ved Universitetet i Bergen.

Det er funnet et godt samsvar mellom inversjonsstyrke, svak vindhastighet og høye forurensningskonsentrasjoner i Bergen (Dugstad, 1972 og Hansen-Bauer, 1985). Tilsvarende formler er funnet i andre byer som Stockholm og Oslo (Bringfeldt, 1971 og Lindberg, 1969). Sammenhengen mellom SO_2 -konsentrasjoner og meteorologiske parametre kan i enkelte tilfeller benyttes til å korrigere for variasjonen i meteorologiske forhold når utviklingen i forurensningssituasjonen skal vurderes. Formlene kan bare benyttes på et bestemt sted når den romlige fordelingen av utslippet er tilnærmet uendret.

I Bergen er det videre utført undersøkelser for å beskrive stabilitetsforholdene og inversjonsstyrkene (Fitje, 1972 og Eidsnes, 1977). Disse undersøkelsene viser at temperaturmålerne nær bakken er påvirket av strålingsforholdene ved bakken. Påvirkningen er spesielt stor i solskinn. Målt temperatur belyser derfor ikke den termiske stabiliteten og spredningsforholdene i atmosfæren. Dette gjelder blant annet temperaturmålingene 2 m over bakken på Florida. Hanssen-Bauer (1985) fant likevel god sammenheng mellom SO_2 -konsentrasjoner og temperaturdifferanser mellom 37 m og 2 m på Florida. NILU valgte derfor å benytte denne parameteren til å klassifisere vertikale spredningsforhold. Det ble likevel tatt hensyn til resultatene til Fitje og Eidsnes ved valg av spredningsklasser.

Olseth (1977) har beskrevet sammenhengen mellom den termiske stabiliteten i atmosfæren, netto strålingsbalanse og vind i Bergen. Inversjonsperiodene var lange og inversjonsstyrken stor når vinden var svak. Strålingsfeil på temperaufølerne kunne føre til kunstig fall eller stigning i temperaturen med høyden.

Flux av bevegelsesmengde og følbare varme har sammenheng med vertikalutvekslingen i atmosfæren. Både målingene i Bergen og andre steder viser at målingen av vertikal temperaturgradient ved bakken kan være beheftet med feil som fører til galt estimat av vertikalutvekslingen.

Spredningsparametre som benyttes i beregningene er utviklet på grunnlag av resultater av sporstoffforsøk. Det er stor variasjon mellom resultatene av forskjellige serier av sporstoffforsøk, og vi må regne med at anvendbarheten av forskjellige parametre er avhengig av stedet og underlaget.

Det er ønskelig å unngå et subjektivt valg av spredningsparametre, og det pågår undersøkelser for å velge spredningsparametre på grunnlag av vind- og temperaturobservasjoner i atmosfæren, samt kjennskap til bakkens struktur (ruhet). Dersom temperaturobservasjonene er beheftet med feil eller når målinger av temperaturvariasjonen med høyden mangler, er det ønskelig å benytte en indirekte metode til å klassifisere spredningsforholdene. Klassifiseringen tar utgangspunkt i solhøyde, skydekke, temperatur og bakkens egenskaper.

Vertikal varmefluks er en av grunnparametrene som er nødvendig for å beskrive blandingsforholdene i grenselaget. Denne parameter kan bestemmes på tre ulike måter:

- I Registrering av samvariasjonen ($\overline{w'T'}$) mellom den fluktuerende vertikalhastigheten (w') og temperaturfluktuasjonene (T').
- II Registrering av vind og temperaturvariasjonen med høyden og bruk av en formelbeskrivelse av vertikalutvekslingen i grenselaget.
- III Bruk av data for solhøyde, skydekke, temperatur og underlagets struktur for å parameterisere varmembalansen i bakkesjiktet.

Metode I har størst nøyaktighet, men det innebærer kompliserte målinger som vanskelig lar seg gjennomføre uten kontinuerlig tilsyn med instrumentene.

Metode II lar seg gjennomføre i lengre tidsrom ved å måle i ulike høyder i en mast. Usikkerheten i resultatene er avhengig av anvendbarheten av formlene i ulike områder. Det har vist seg at målinger av temperaturvariasjonen med høyden ofte er lite representative. Når temperaturvariasjonen er liten, er målingene ofte unøyaktige.

Metode III er enklere å benytte, men parameteriseringen kan være beheftet med usikkerheter. I Bergen var det gjennom en årrekke utført strålingsmålinger samtidig med meteorologiske observasjoner. Dataene var

egnet til å parameterisere nettostrålingene og varmembalansen i bakkesjiktet på samme måte som utført i andre områder (Danmark og Holland). Det er av interesse å gjennomføre parameteriseringen i Bergen og å sammenligne resultatene med tilsvarende undersøkelser i Danmark og Holland for å vurdere anvendbarheten av parameteriseringen.

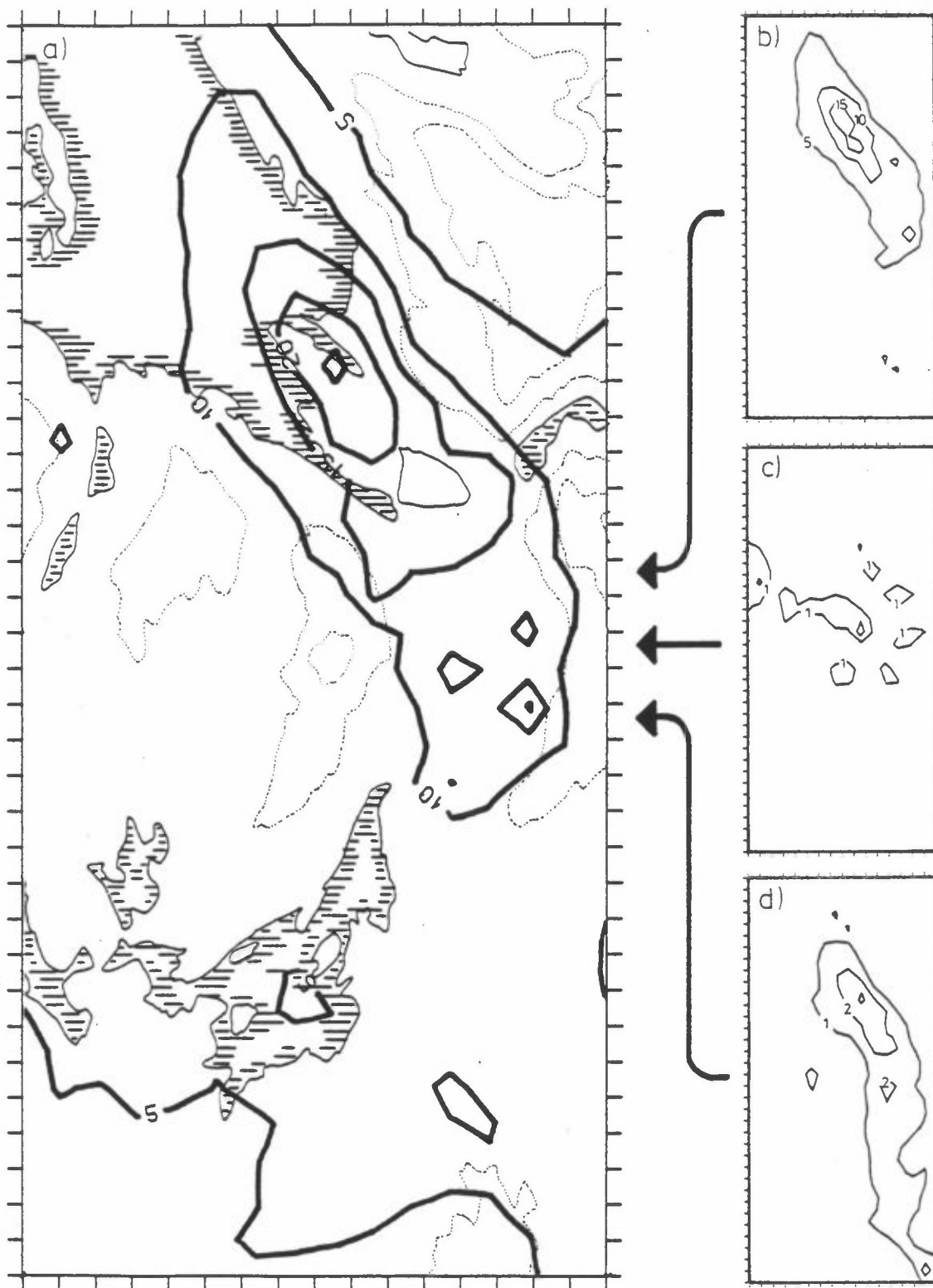
I langtidsmiddelberegningene har vi benyttet de samme metodene for valg av spredningsparametre som i andre basisundersøkelser. Data som er benyttet er gitt i vedlegg A.

GRUNNLAGSMATERIALE 2: BEREGNEDE OG OBSERVERTE KONSENTRASJONER

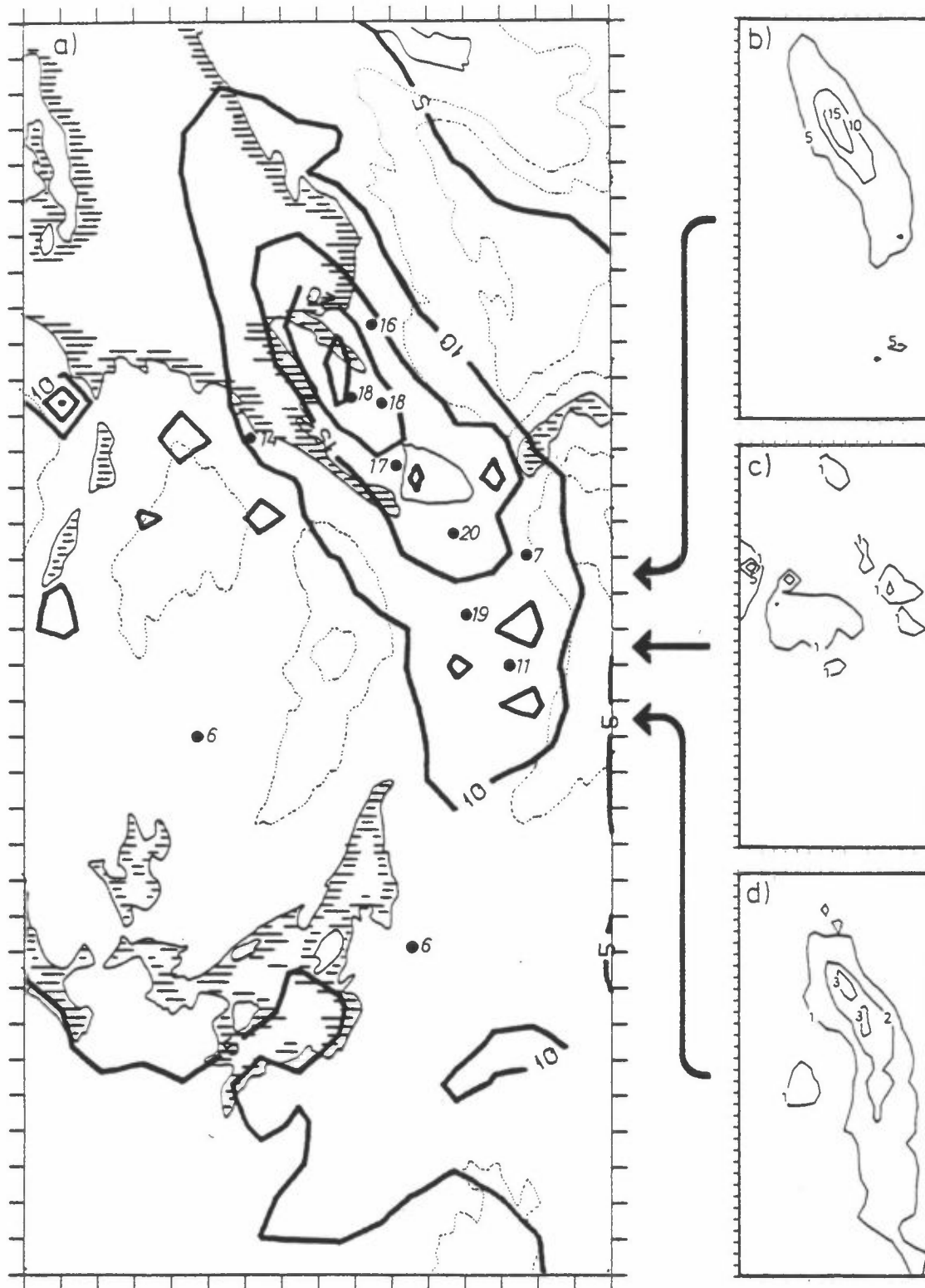
Vintermiddelverdier av SO_2 i $0.5 \times 0.5 \text{ km}^2$ -ruter er lavere enn grenseverdien. Figurene 3 og 4 viser fordelingene av SO_2 -konsentrasjonen i perioden januar -februar 1983 (figur 3a) og i desember 1983-februar 1984 (figur 4a). Dette er periodene med målinger av luftkvalitet. I figurene har en fremstilt bidraget til SO_2 -konsentrasjonen i området fra tre kildegrupper

- b) små fyringsanlegg og lave industriutslipp (beregnet på grunnlag av middelutslipp i $0.5 \times 0.5 \text{ km}^2$ ruter).
- c) store fyringsanlegg og industriutslipp, (dvs. piper med utslipp over bygningenes turbulenssone)
- d) biltrafikk (beregnet på grunnlag av middelutslipp i $0.5 \times 0.5 \text{ km}^2$ -ruter).

SO_2 -konsentrasjonen som skyldes kilder utenfor beregningsområdet er estimert til $5 \mu\text{g } SO_2/\text{m}^3$ på bakgrunn av målingene.



Figur 3: Midlere SO₂-konsentrasjon i perioden januar-februar 1983.
 (a) beregnede verdier er angitt. Konsentrasjons- bidraget fra små oljefyringsanlegg (b), industri og store fyringsanlegg (c) og biltrafikk (d) er angitt til venstre i figuren. Enhet: $\mu\text{g}/\text{m}^3$.



Figur 4: Midlere SO₂-konsentrasjon i perioden desember 1983 til februar 1984
 (a) beregnede verdier. Observerte verdier er angitt ved målestasjonene. Konsentrasjonsbidraget fra små oljefyringsanlegg (b), industri og store fyringsanlegg (c) og biltrafikk (d) er angitt til venstre i figuren. Enhet: µg/m³.

Beregnete og observerte verdier viser at konsentrasjonene er høyere vinteren 1983/84 enn januar og februar 1983. Når det gjelder bidraget fra de forskjellige kildegruppene ser en av figurene:

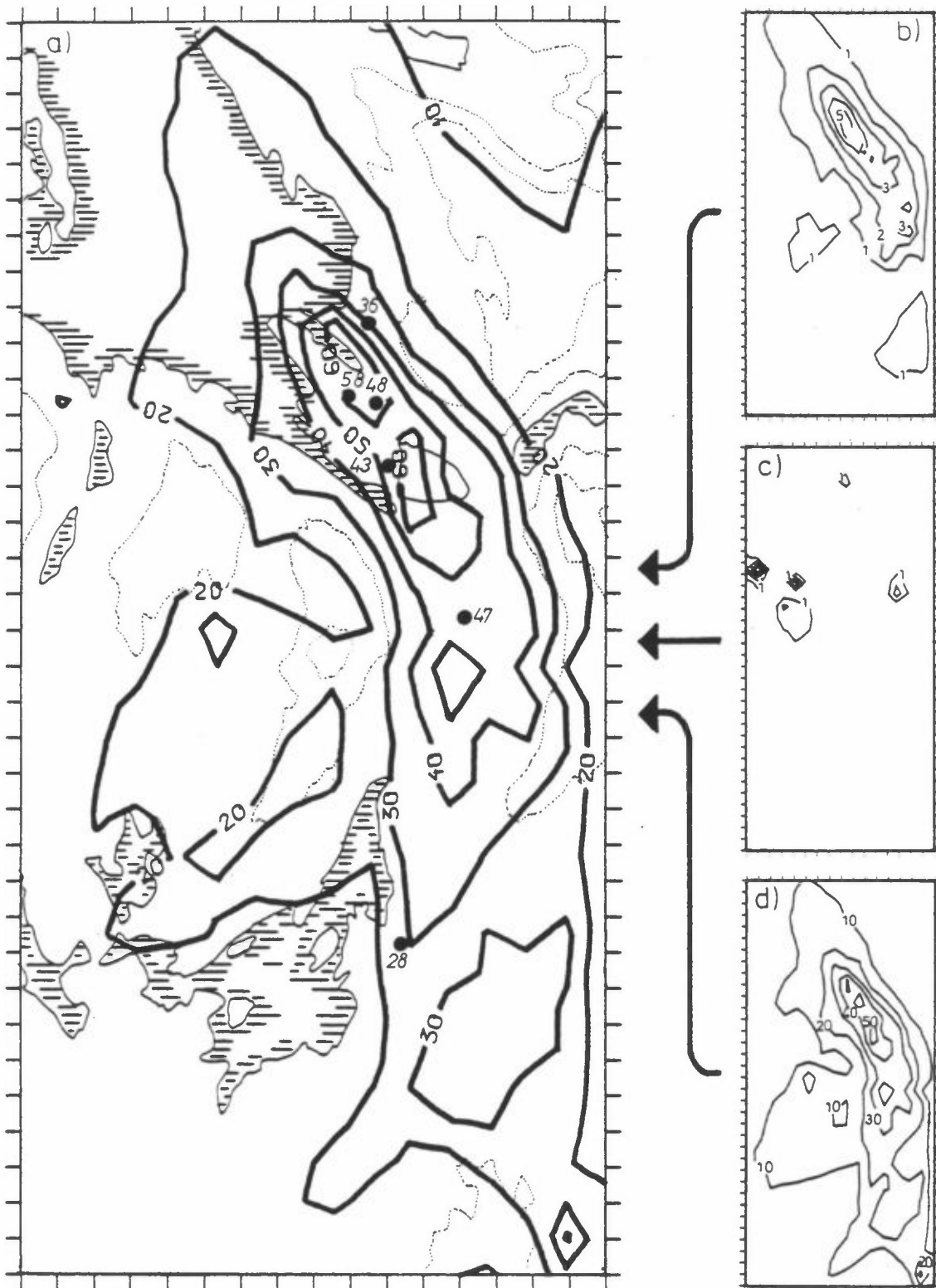
1. Det er liten forskjell i konsentrasjonsbidraget fra små fyringsanlegg. Det skyldes at SO_2 -utslippene ble redusert, men spredningsforholdene var dårligere vinteren 83/84 sammenlignet med perioden januar-februar 1983.
2. SO_2 -bidraget fra biltrafikken er lite og skyldes diesebilene. Bidraget var ca 30% høyere vinteren 83/84 sammenlignet med perioden januar-februar 1983. Det skyldes endringer i de meteorologiske forholdene.
3. Endringene i konsentrasjonene fra industrien skyldes en kombinasjon av endrede utslipps- og spredningsforhold.

Observert og beregnet konsentrasjonsgradient mellom Minde og Landås indikerer i begge beregningsperiodene at kanaliseringen av forurensninger langs dalen er sterkere enn det som er tatt hensyn til i beregningsmodellen eller at dårligere spredning forekommer i dette området. Forøvrig må beregningsresultatene for SO_2 betegnes som gode.

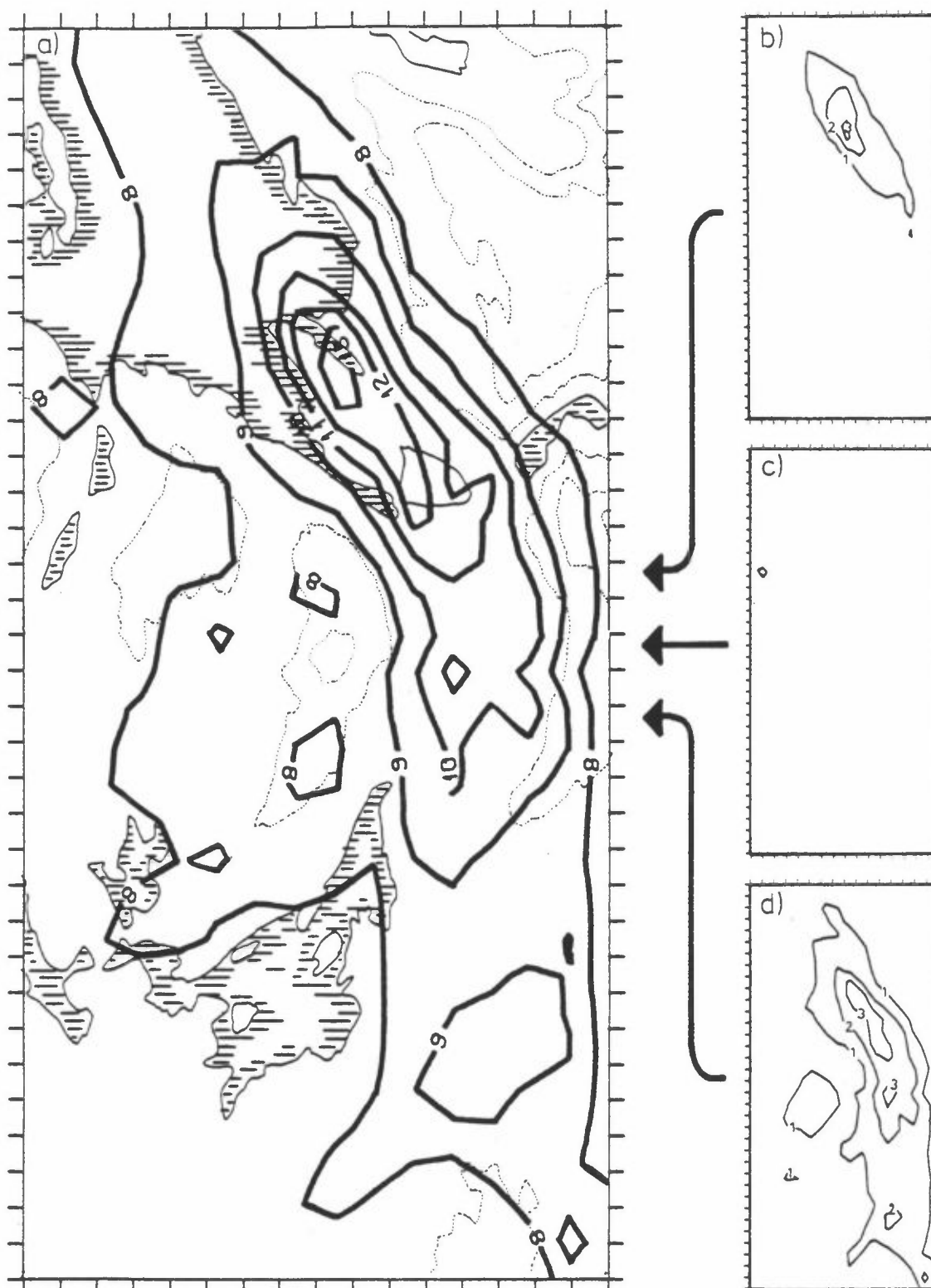
Observerte forurensningskonsentrasjoner fra bileksos er høyere enn beregnede verdier.

Figurene 5, 6, 7, 8 og 9 viser beregnete og observerte middelverdier for vinterperioden desember 1983-februar 1984 for henholdsvis NO_x , partikler, elementært karbon, CO og bly. Årsaken til avviket bør finnes blant en eller flere av følgende punkter:

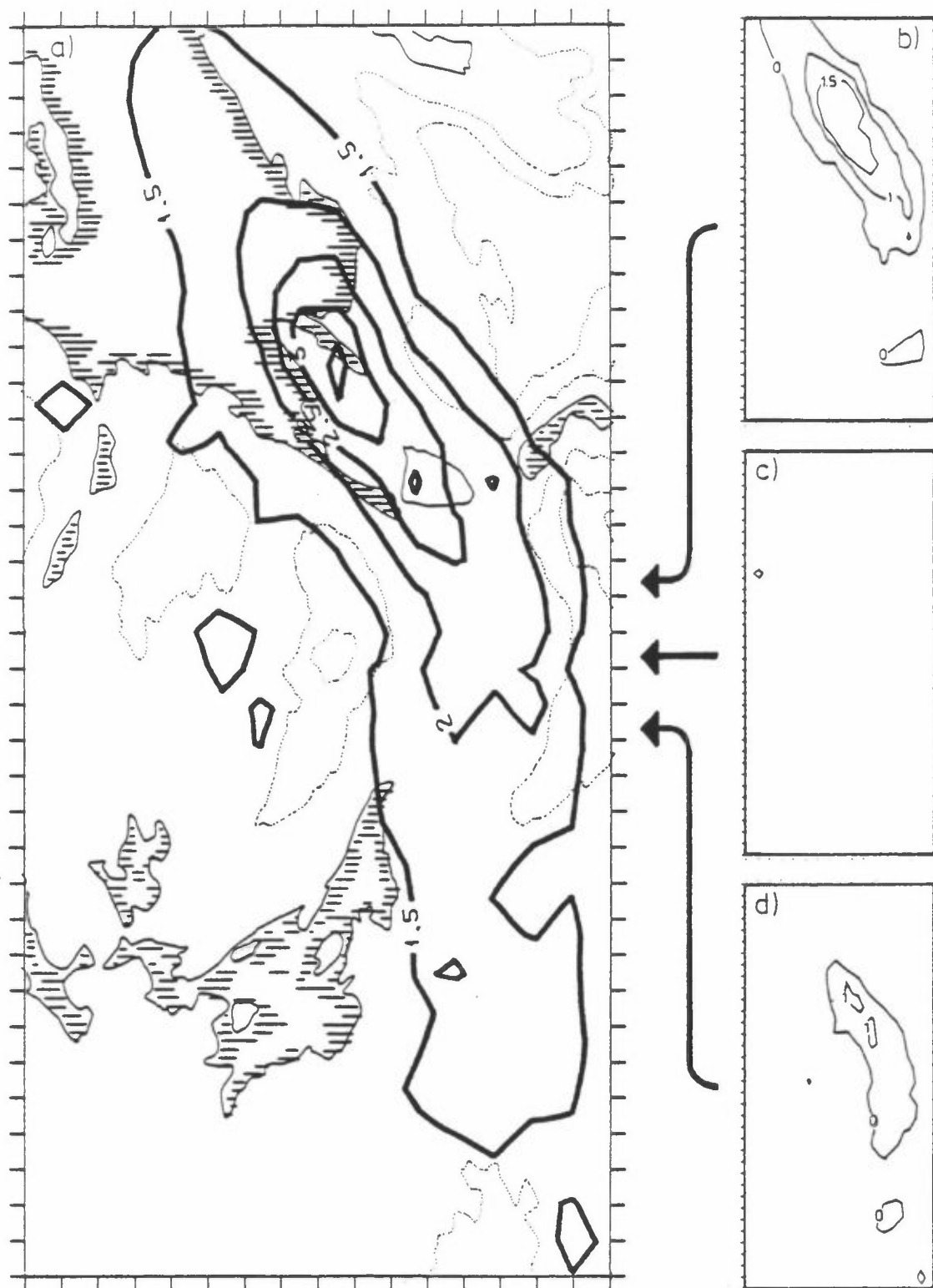
- 1) Ekstrabelastning som følge av utslipp fra veier nær målestasjonene.
- 2) Dårligere vertikalspredning enn beregnet for utslipp nær bakken i et byområde
- 3) Underestimert utslipp fra biltrafikk.



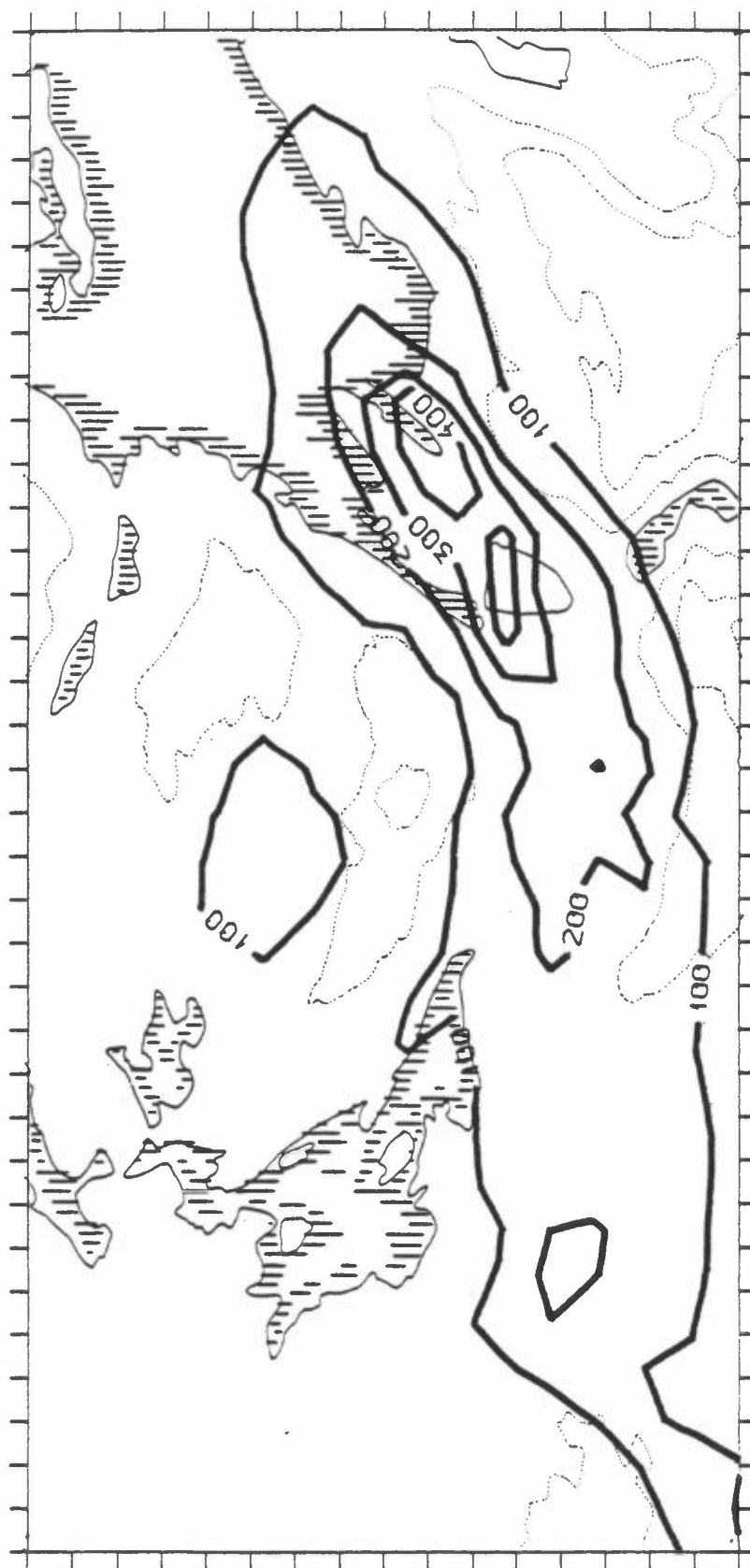
Figur 5: Midlere NO_x-konsentrasjon i perioden desember 1983 - februar 1984
 (a) beregnede verdier. Observerte verdier for NO₂ er angitt ved målestasjonene. Konsentrasjonsbidraget fra små oljefyringsanlegg (b), industri og store fyringsanlegg (c) og biltrafikk (d) er angitt til venstre i figuren. Enhet: $\mu\text{g}/\text{m}^3$.



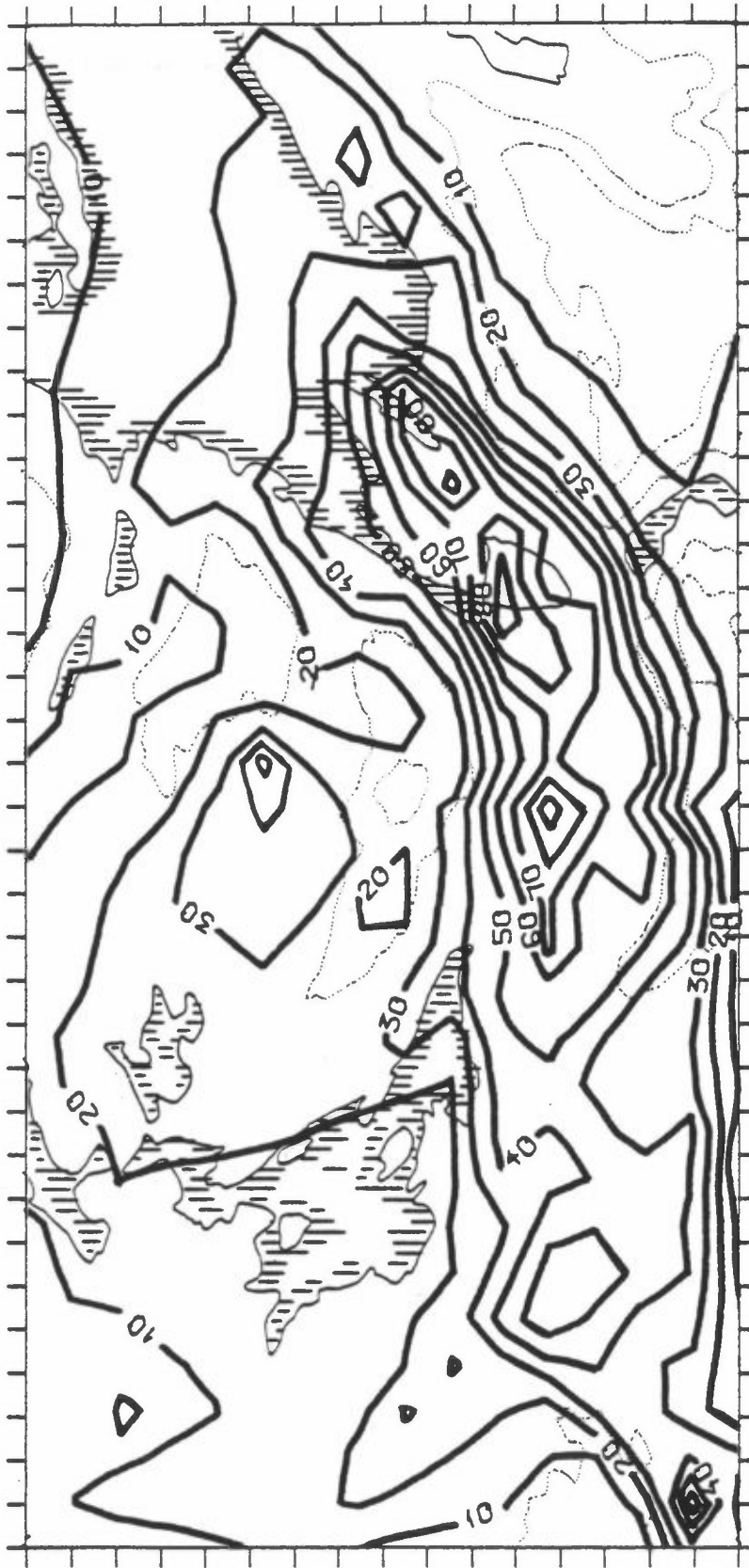
Figur 6: Midlere konsentrasjon av partikler i perioden desember 1983 til februar 1984 (a) beregnede verdier. Konsentrasjonsbidraget fra små oljefyringsanlegg (b), industri og store fyringsanlegg (c) og biltrafikk (d) er angitt til venstre i figuren. Enhet: $\mu\text{g}/\text{m}^3$.



Figur 7: Midlere konsentrasjon av elementært karbon i perioden desember 1983 - februar 1984 (a) beregnede verdier er angitt. Konsentrasjonsbidraget fra små oljefyringsanlegg (b), industri og store fyringsanlegg (c) og biltrafikk (d) er angitt til venstre i figuren. Enhet: $\mu\text{g}/\text{m}^3$.



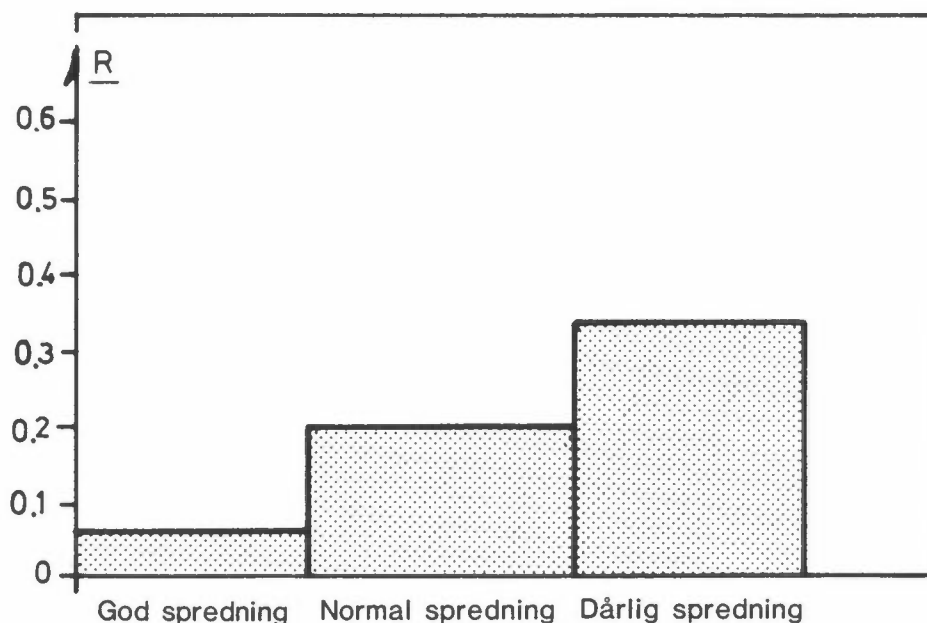
Figur 8: Midlere CO-konsentrasjon i perioden desember 1983 - februar 1984. Beregnede verdier er angitt på grunnlag av utslipp fra biltrafikken. Enhet: $\mu\text{g}/\text{m}^3$.



Figur 9: Midlere Pb-konsentrasjon i perioden desember 1983 - februar 1984. Beregnede verdier er angitt på grunnlag av utslipp fra biltrafikken. Enhet: $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Ekstrabelastning som følge av utslipp fra veier nær målestasjonene - dårlig vertikalspredning.

Fortynningsfaktoren for bileksos mellom 100 m og 1 km fra en veibane er vist i figur 10.



Figur 10: Forholdet (R) mellom konsentrasjonen i avstanden 1 km og i avstanden 100 m fra en veibane.

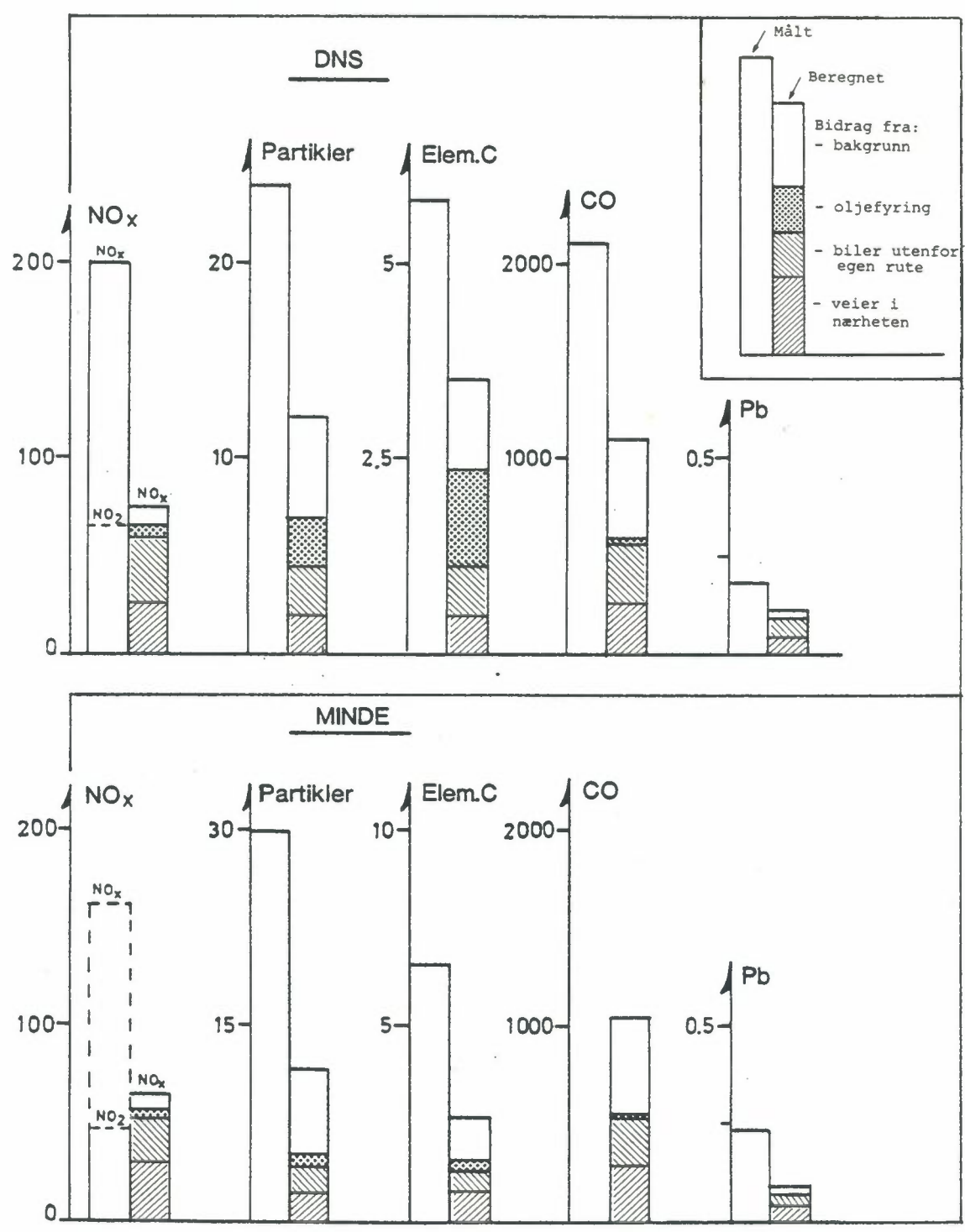
I beregningsmetodene regner en med den samme fortynningen mellom 1 km og 10 km. Det er videre sannsynlig at fortynningen mellom 1 m og 100 m er like viktig for belastningen fra biltrafikk som fortynningen mellom 100 m og 10 km. Vi har få generelt anvendbare data for avstander mindre enn 100 m i byområder. I nærsonen ved gatene virker sannsynligvis bygninger, lokale vindforhold og kjøreforhold inn på spredningen. I denne forbindelse får vindhastigheten betydning for spredning av forurensningsutslipp sammen med temperatursjiktningen i atmosfæren. Det er utført sporstofforsøk i Sarpsborg som indikerer at spredningen i grove trekk behandles riktig også for utslipp fra biltrafikk i byområder. I samsvar med resultatet av sporstoffundersøkelsen som ble utført i Sarpsborg/Fredrikstad kan bare en begrenset del av avviket skyldes at spredningen av utslipp fra biltrafikken er dårligere enn spredningen av utslipp som skjer gjennom piper over tak (Grønnskei (1984)).

Ved å regne med middelutslipp i $0.5 \times 0.5 \text{ km}^2$ ruter må en regne med å underestimere bidraget fra sterkt trafikkerte veier som ligger nær målestasjonene.

Det er utført arbeid for å beregne bidraget fra nærliggende trafikkårer. Dette arbeidet er ikke avsluttet. Vi har likevel utført forenklete beregninger av konsentrasjonen ved Den nasjonale scene (DNS) og ved Minde. Figur 11 viser observerte og beregnete middelkonsentrasjoner. Beregnet middelkonsentrasjon er oppdelt i bidrag fra nærliggende veier, fra biltrafikk utenfor egen rute, fra oljefyring og fra kilder utenfor beregningsområdet. HIWAY modellen er benyttet til å beregne bidraget fra nærliggende veier. Figurene viser betydningen av nærliggende veier på begge målestasjonene.

Underestimerte utslipp fra biltrafikk

Usikkerheten i utslippsfaktorene for biltrafikk i norske byer er vanskelig å vurdere. Eksempelvis tyder svenske utslippsmålinger på økte NO_x-utslipp fra biler ved kjøring vinterstid. I Bergen er trafikkavviklingen meget dårlig for ca 30% av det totale trafikkarbeidet. Det fører til økt bensinforbruk og økt utslipp av forurensninger, særlig for CO, men også for NO_x. Vi regner med at en betydelig del av avviket mellom beregnede og observerte konsentrasjoner kan skyldes utslippsberegningene.



Figur 11: Målte og beregnede middelkonsentrasjoner, (\bar{c}), for vinterperioden desember 1983-februar 1984. Beregnet konsentrasjonsbidrag fra nærliggende veier, biler utenfor egen rute, oljefyring og bakgrunn er angitt på figuren for NO_x-, partikkel-, elementært karbon-, CO- og Pb-konsentrasjonene.

Data for maksimale utslipp av SO₂ fra enkeltkilder indikerer at overskridelser av grenseverdiene for 1-times konsentrasjonene forekommer ved tre fyringsanlegg. Ved fem andre fyringsanlegg er beregnede maksimal-konsentrasjoner ved bakken nær grenseverdien.

Resultatet av beregningene er vist i vedlegg B.

GRUNNLAGSMATERIALE 3: VIRKNINGER AV TOPOGRAFIEN PÅ SPREDNINGEN I BERGENS-OMRÅDET

1. Vindmålingene viser at vindretningen ofte dreies langs fjellssidene i Bergensdalen.

Figur 2 viser vindroser ved de ulike vindstasjonene. I spredningsberegningene er det tatt hensyn til dreiningen i vindretningen ved å evaluere en strømfunksjon for transport av luftforurensningene med vinden (Grønskei, 1986). Vindmålingene fra Florida og fra Storetveit er benyttet til spredningsberegningene. Vinddata og forenklete regler for dreiningen er vist i vedlegg A (tabell A3).

2. Tidligere undersøkelser fra Bergen viser at inversjonsstyrken bestemmer variasjoner i SO₂-konsentrasjonen fra dag til dag (Hanssen-Bauer, 1985).

For å beregne middelverdiene av forurensningskonsentrasjonene i vinterhalvåret har NILU derfor benyttet registreringer av inversjonsstyrken på Florida til å klassifisere vertikalspredningen for halvårsmiddelverdier. Spesielle undersøkelser av målingene (Hanssen-Bauer, 1983) indikerer at verdiene for den vertikale temperaturgradient ikke følger vanlige regler for klassifisering av atmosfærens grenselag over flatt og homogent terreng. Vi hadde derfor ikke grunnlag for å ta hensyn til både vind- og temperaturmålinger når spredningsforholdene skulle bestemmes. Klassifiseringen vist i vedlegg A er skjønnsmessig bestemt.

Når det gjelder registreringer av strålingsforholdene lot verdiene seg parameterisere ved hjelp av solhøyde og skydekke på samme måte som i Danmark og i Holland (Hanssen-Bauer, 1983). Formlene kan derfor sannsynligvis benyttes også i andre områder til å klassifisere spredningsforholdene sammen med vindobservasjoner.

3. Topografien i Bergensområdet fører til horisontale forskjeller i spredningsforholdene som kan være av betydning ved lokalisering av nye forurensningsutslipp og ved vurdering av sammenhengen mellom eksisterende forurensningsutslipp og observerte konsentrasjoner.

I samarbeid med Det norske Meteorologiske Institutt har NILU utviklet en

beregningsmetode for lokale vind- og turbulensforhold i forurensnings-episoder. På grunnlag av kjennskapet til topografien og bakkens egenskaper i Bergen samt vær-situasjonen på stor skala, er vind- og spredningsforholdene i Bergen beregnet i forurensningsepisodene 20-21 januar 1984 og 18-19 desember 1983. Resultatet av beregningene er vist i vedlegg C.

Når det dannes kraftige bakkeinversjoner i Bergensdalen og vinden er svak, gir dette en kraftig "opphopning" av forurensning nær de største kildeområdene. Imidlertid fører topografien ofte til et komplisert system av fallvinder som sprer luftforurensningene ut over et større område. Vinden fra Isdalen forbedrer spredningen av forurensninger fra Bergen sentrum. På kalde vinterdager fører en åpen fjord (varmere enn omgivelsene) til bedre vertikalutveksling. Når fjorden er kaldere enn omgivelsene blir vertikalutvekslingen redusert i dette området.

Bakkeinversjonene når opp i variabel høyde, og utslipp over bakkeinversjonen fortynnes vesentlig bedre enn utslipp nede i dalen. Konsentrasjonsmålinger og sondeoppstigninger i episoder indikerer at bakkeinversjonene sjelden når opp i en høyde over 200 m o.h.

Anvendelse av dynamiske beregningsmetoder for lokale vind- og spredningsforhold i Bergen har vist at det er vanskelig å gå direkte fra "værkart-skala" (~1000 km) til "Bergen-skala" (~10 km). Spredningsberegninger fra andre områder har vist at lokale målinger av vind- og spredningsforhold kan benyttes til å beskrive korttidsvariasjoner i observerte forurensningskonsentrasjoner når samtlige utslipp er kjent.

En fullstendig oversikt over lokale vind- og spredningsforhold stiller store krav til målingene. En kombinasjon av målinger og beregningsresultater vil sannsynligvis gi det beste resultatet. Målingene kan anvendes til å bestemme vind- og spredningsforholdene langs beregningsområdets grenseflater.

REFERANSER

- Berge, E. og Hassel, F. (1984) En undersøkelse av temperaturinversjoner og lokale drenasjestrømmer i Bergen. Bergen, Geophysical Institute Div. B. (Rapport Nr. 2, 1984).

- Bringfelt, B. (1971) Important factors for the sulphur dioxide concentration in central Stockholm. Atmos. Environ., 5, 949-972.
- Bøhler, T. (1985) Skorsteinshøydeberegninger for små forbrenningsanlegg. Lillestrøm (NILU OR 2/85).
- Dugstad, I. (1972) Målinger av luftforurensninger i Bergen 1969-1972. Foreløpige resultater. Bergen, Geophysical Institute Div. B. (Rapport nr. 2, 1972).
- Eidsnes, R.P. (1977) Stabilitetsmålinger i Bergensområdet. Hovedfagsoppgave i meteorologi ved Universitetet i Bergen.
- Fitje, A. (1972) En undersøkelse av atmosfæriske stabilitetsforhold i Bergensområdet. Hovedfagsoppgave i meteorologi ved Universitetet i Bergen.
- Fortak, H. (1970) Numerical simulation of temporal and spatial distributions of urban air pollution concentration. Proceedings of symposium on multiple-source urban diffusion models. Research Triangle Park, North Carolina.
- Gram, F. og Hoem, K. (1986) Utslipp av luftforurensninger i Bergen. Rapport under utarbeidelse.
- Grønskei, K.E. og Gram, F. (1980) A dispersion model for regional air pollution problems. Air Pollution Forecasting. Papers presented at the WMO RA VI International meeting, Leningrad November 1980.
- Grønskei, K.E. (1984) Registrering av spredning ved sporstoff i Sarpsborg (NILU OR 24/84).
- Grønskei, K.E. og Gram, F. (1984) Basisundersøkelse av luftkvaliteten i Sarpsborg og Fredrikstad 1981-1983. Delrapport D: Spredningsberegninger. Lillestrøm (NILU OR 41/84).
- Grønskei, K.E. (1986) Stationary stream function for air pollution modelling. Leningrad May 1986. Lillestrøm (NILU F 17/86).
- Hanssen-Bauer, I. (1983) Parameterisering av nettostrålingen og den følbare varmeflux i Bergen. Lillestrøm (NILU TR 12/83).
- Hanssen-Bauer, I. A simple model for diffusion of SO₂ i Bergen. Atmos. Environ., 19, 415-422.

- Holtslag, A.A.M. et al. (1981) Estimation of the sensible heat flux from standard meteorological data for stability calculations during daytime. In: Air Pollution Modelling and its Application, I. New York, Plenum Press, pp 401-406.
- Iversen, T. and Nordeng, T.E. (1986): A numerical model suitable for the simulation of a broad class of circulation systems on the atmospheric mesoscale. Lillestrøm (NILU TR under arbeid.)
- Larssen, S. (1982) Nordisk Beregningsmetode for bilavgasser. Rapport fra Nordisk Seminar, Vettre v/Oslo 9-10.12.81. Lillestrøm (NILU OR 29/82).
- Larssen, S. et al. (1985) Basisundersøkelse av luftkvaliteten i Bergen 1983-1985. Lillestrøm (NILU OR 55/85).
- Lindberg, W. (1968) Den alminnelige luftforurensning i Norge. Oslo, Røykskaderådet.
- Nielsen, L.B. et al. (1981) Net radiation estimated from standard meteorological data. In: Air Pollution Modelling and its Application, I. New York, Plenum Press, pp 385-399.
- Olseth, J. (1977) Inversjonar i Bergensområdet og desse sett i høve til netto strålingsbalanse og vind. Hovudfagsoppgåve i meteorologi, Universitetet i Bergen.
- Sivertsen, B. (1980) The application of Gaussian dispersion models at NILU. Lillestrøm (NILU TN 11/80).
- Zimmerman, J.R. og Thompson, R.S. (1975) Users guide for HIWAY, a highway air pollution model. Research Triangle Park, North Carolina, U.S. Environmental Protection Agency (EPA-650/4-74-008).

VEDLEGG A

Data for spredning, vinddreining og topografi

Spredningsklassene er definert på grunnlag av timevise meteorologiske observasjoner fra Florida. Observasjonene av vindretning, vindstyrke og registrering av temperaturforskjell (stab. klasse) mellom 40 og 2 m høyde over bakken inndeles i følgende klasser:

Vindretning: 30 graders sektorer omkring følgende vindretning 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210, 240, 270, 300, 330, 360.

Vindstyrke: 0.3-2 m/s, 2-4 m/s, 4-6 m/s og over 6 m/s.

Stabilitet ved $\Delta T = T_{40\text{ m}} - T_{2\text{ m}}$: Klasse 1 $\Delta T < -1.5^{\circ}\text{C}$
 Klasse 2 $-1.5^{\circ}\text{C} < 0^{\circ}\text{C}$
 Klasse 3 $0^{\circ}\text{C} < \Delta T < 1.5^{\circ}\text{C}$
 Klasse 4 $1.5^{\circ}\text{C} < \Delta T$

Dette gir tilsammen 192 klasser. For hver beregningsperiode angis en tabell som viser frekvens av timevise meteorologiobservasjoner i hver spredningsklasse som vist nedenfor.

SEKTOR	Vindstyrke: 0-2 m/s				2-4 m/s				4-6 m/s				Over 6 m/s			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
30																
60																
360																
Stille																

Frekvenser av observasjoner i ulike spredningsklasser er vist for to beregningsperioder. Tabell A1 viser data for 1. beregningsperiode: Januar - februar 1983. Tabell A2 viser data for 2. beregningsperiode.

Tabell A1: Frekvenser av timesvise observasjoner på Florida, Bergen i forskjellige spredningsklasser i perioden januar-februar 1983. Enhet: prosent.

"VINTER-MIDDEL", -5.0, 1.0,3.0,5.0,7.0, J, N, 500.,300.,200.,200.,	Periode, middeltemp. Vindhastighet Standard vindprofileksp.J/N? Innlest inv.høyder J/N? Inversjons høyder
30	0.0 0.3 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.3 0.0 0.0 0.0
60	0.0 0.0 0.3 0.3 0.0 0.3 0.0 0.0 0.3 0.3 0.5 0.0 0.0 1.3 0.0 0.0
90	0.0 0.0 0.3 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.8 0.0 0.0 0.0 1.8 0.0 0.3
120	0.0 2.4 0.8 1.3 0.0 2.4 1.1 0.3 0.0 1.1 0.0 0.0 0.3 0.3 0.0 0.0
150	1.1 4.0 1.3 3.7 1.6 8.7 1.6 0.5 0.8 5.8 0.0 0.0 0.0 5.5 0.0 0.0
180	0.0 0.3 0.0 0.0 0.5 2.6 0.5 0.0 0.5 1.1 0.0 0.0 0.0 1.1 0.0 0.0
210	0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.8 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
240	0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.8 0.5 0.0 0.0 1.1 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
270	0.0 0.3 0.0 0.0 0.0 0.8 0.3 0.0 0.0 1.6 0.3 0.0 0.0 4.2 0.0 0.0
300	0.5 1.8 0.0 0.3 0.5 1.3 0.3 0.3 0.0 0.8 0.0 0.0 0.3 1.8 0.5 0.0
330	0.8 1.6 0.0 0.0 1.1 0.8 1.1 0.8 0.8 4.0 0.0 0.0 0.3 3.7 0.0 0.0
360	0.0 0.0 0.0 0.3 0.0 0.5 0.8 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
	0.5 2.4 2.4 1.6

Tabell A2: Frekvenser av timesvise observasjoner på Florida, Bergen i forskjellige spredningsklasser i perioden november 1983 - februar 1984. Enhet: prosent.

"VINTER-MIDDEL", 2.15, 1.0,3.0,5.0,7.0, J, N, 500.,300.,200.,200.,	Periode, middeltemp. Vindhastighet Standard vindprofileksp.J/N? Innlest inv.høyder J/N? Inversjons høyder
030	0.0 0.1 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.2 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
060	0.0 0.2 0.1 0.1 0.0 0.1 0.1 0.2 0.0 0.2 0.1 0.1 0.0 0.3 0.0 0.0
090	0.1 0.2 0.2 0.2 0.0 0.8 0.1 0.3 0.2 0.5 0.2 0.0 0.0 1.0 0.1 0.3
120	0.0 1.3 0.2 1.2 0.0 1.8 0.4 0.3 0.0 0.2 0.2 0.0 0.0 0.9 0.3 0.0
150	0.4 3.5 1.8 3.2 0.7 9.2 1.7 1.2 0.3 8.8 0.5 0.1 0.1 7.5 0.4 0.0
180	0.0 0.8 0.5 2.1 0.1 2.8 0.4 0.2 0.1 4.8 0.0 0.0 0.0 2.5 0.0 0.0
210	0.0 0.4 0.0 0.1 0.0 0.2 0.1 0.0 0.0 0.1 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
240	0.0 0.2 0.1 0.5 0.0 0.4 0.2 0.0 0.1 0.4 0.0 0.0 0.0 0.2 0.0 0.0
270	0.0 0.2 0.4 0.2 0.0 0.3 0.0 0.2 0.0 0.4 0.1 0.1 0.1 1.7 0.0 0.0
300	0.0 1.6 0.4 0.7 0.1 0.8 0.7 0.1 0.0 0.5 0.2 0.0 0.1 1.4 0.2 0.0
330	0.2 0.7 0.2 0.3 0.1 1.6 0.7 0.5 0.1 1.8 0.4 0.1 0.2 2.1 0.3 0.1
360	0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.1 0.0 0.2 0.0 0.3 0.0 0.0 0.0 0.3 0.0 0.0
	0.2 1.8 1.6 4.9

Tabell A3 viser frekvenser av timesvise vindretninger på Storetveit (dd_2) når vindretningene på Florida (dd_1) er gitt. 12 kombinasjoner av dd_1 og dd_2 som er innrammet i tabellen, er benyttet som kanaliseringsregler for vinden på Storetveit.

Figur A1 viser klassene for initialspredningen (bokshøyde) i Bergensområdet. Følgende data for initialspredningen ble benyttet i beregningene:

Klasse 0:	0 m
" 1:	40 m
" 2:	20 m
" 3:	40 m
" 4:	20 m

Høyden av fyringsutslippene er regnet midt i boksene mens utslipp fra biltrafikken er regnet i 1 m høyde. Den vertikale spredningen av forurensning i Bergen er videre begrenset ved å regne med følgende inversjonshøyder:

Inversjonshøyde

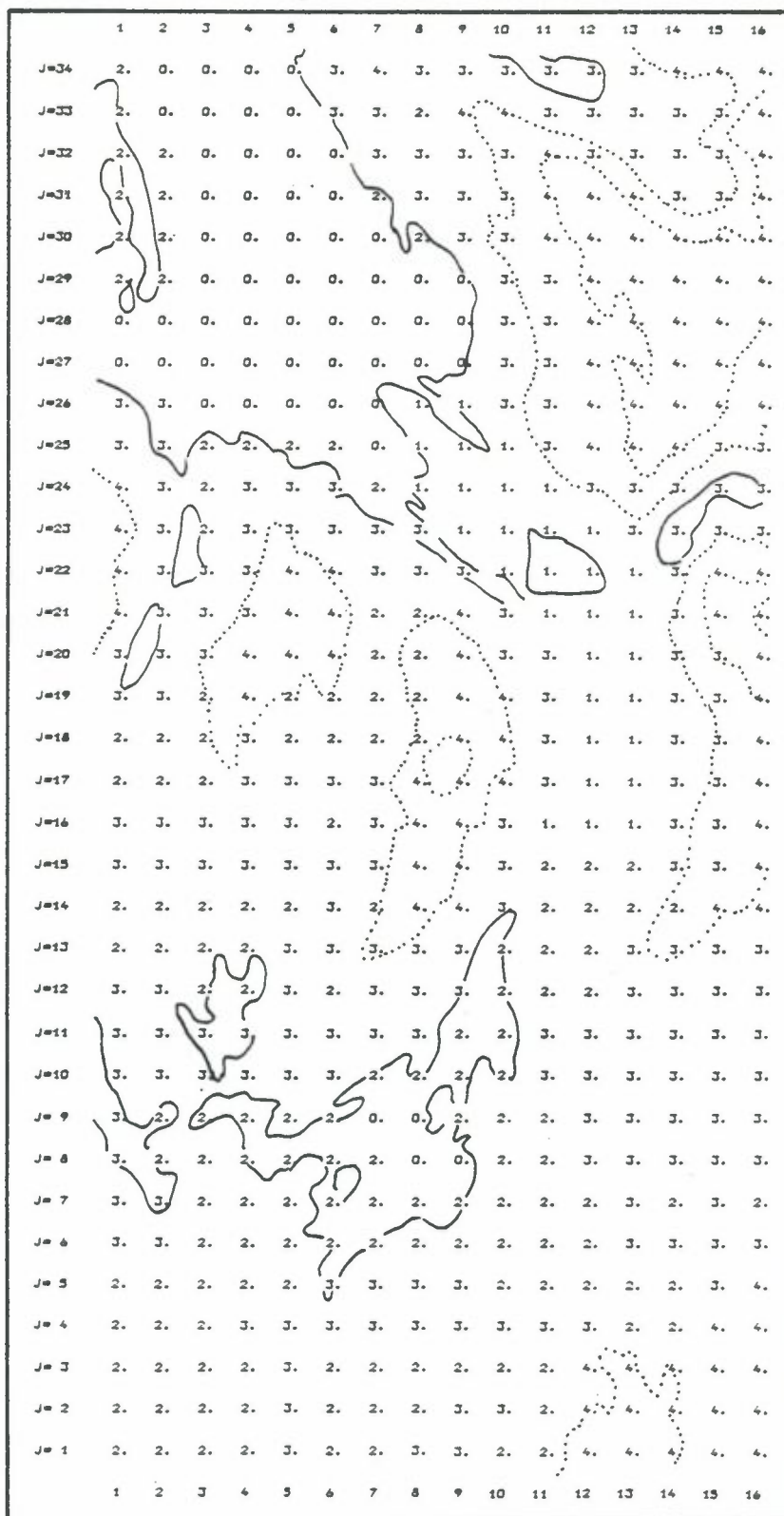
Stabilitetsklasse 1:	500 m
" 2:	300 m
" 3:	200 m
" 4:	200 m

Ved beregning av bidraget fra punktkildene i området er det regnet med en utjevnet topografi som vist i figur A2. Forurensningenes høyde over bakken fra store enkeltkilder finnes ved å trekke utjevnet terrenghøyde fra høyden til røykfanens senterlinje.

Tabell A3: Betinget frekvens av samtidige observasjoner av vindretninger i 30-graders sektorer på stasjonene Florida og Storetveit. Observasjonsperiode: Januar og februar 1983. Den 1. kolonnen viser vindretningen på Florida (dd_1) i grader. Den 1. linjen viser vindretningen på Storetveit (dd_2) i grader.

dd_1	dd_2	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360	UN*	SUM
30		2											1		3
60		2	3					1					2		10
90			1	2					1						3
120				1		4	7	19	13	2				13	58
150		1	1			4	149	110	54	5			1	17	342
180						2	39	23	5					3	72
210							2	9	2						13
240							3	25	4			1			33
270		1				2	2	37	34	3	1		1	3	84
300		19	10	2	1		7	9	9	5	3		14	6	85
330		15	6							1	1	17	86	3	129
360		4	1					1					14	2	22
UN*		3	6	1	1		3	11	3	1		1	1	52	83
SUM		47	28	6	2	12	212	245	125	17	5	19	120	99	937

UN* = Observasjoner med vindhastighet under 0.3 m/s.



Figur A1: Klasser for beskrivelse av initialspredning 0-4.

34	5	0	0	0	0	50	150	175	50	40	40	0	50	180	180	190
32	5	0	0	0	0	25	100	175	175	185	100	50	60	70	150	190
	2	2	0	0	0	75	85	150	185	200	180	150	50	180	200	
30	2	5	0	0	0	10	50	100	150	200	200	200	150	150	190	
	2	10	0	0	0	0	10	40	150	200	200	200	200	200	200	
28	1	10	0	0	0	0	0	0	50	180	200	200	200	200	200	
	0	0	0	0	0	0	0	0	40	150	200	200	200	200	200	
25	0	0	0	0	0	0	0	0	5	40	150	200	200	200	200	
	70	10	0	0	0	0	10	5	40	150	200	200	200	200	190	
24	150	25	15	25	15	5	0	5	5	5	180	200	200	200	180	180
	200	125	50	70	70	50	5	5	15	10	20	150	180	180	150	100
22	200	125	25	75	150	100	100	15	15	15	5	15	150	150	125	125
	180	100	40	80	200	180	100	120	60	5	5	5	90	100	180	200
20	180	50	80	150	200	200	160	160	150	80	10	20	20	150	200	200
	150	60	100	200	200	200	160	160	200	150	40	20	40	150	180	200
18	60	60	50	200	160	150	160	160	200	160	70	40	40	100	160	200
	150	150	150	180	120	100	160	160	200	200	120	40	55	80	150	200
16	100	100	120	150	80	80	140	160	200	150	120	70	70	75	150	200
	60	60	60	60	60	60	100	160	200	100	30	60	60	80	180	200
14	20	40	40	40	40	40	100	190	190	100	30	60	80	120	190	200
	20	30	40	40	20	40	150	200	150	50	50	60	100	120	200	150
12	20	20	30	30	20	100	150	150	50	5	40	60	100	150	150	150
	50	50	10	10	50	140	100	80	40	0	40	60	80	100	100	180
10	50	50	30	50	100	100	40	30	15	0	40	60	80	80	120	150
	50	50	30	50	40	30	20	5	5	20	20	40	60	60	100	100
8	20	20	30	20	20	20	0	0	5	20	20	20	60	60	80	60
	20	20	20	5	5	5	0	0	0	20	20	20	60	60	80	60
6	50	20	20	20	10	5	0	0	0	20	20	20	60	80	80	100
	75	50	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	60	80	80	150
4	80	80	60	60	60	50	50	50	40	40	40	40	60	80	80	180
	80	60	60	60	60	60	60	80	60	60	60	120	150	100	150	200
2	80	60	60	60	60	60	60	60	60	60	70	150	190	180	180	200
	80	60	60	60	60	60	60	60	80	60	180	180	190	190	180	190
0	80	60	60	60	60	60	60	60	80	150	150	190	200	190	190	180
	0	2	4	6	8	10	12	14	16							

Figur A2: Utjevnet terrenghøyde i Bergen benyttet til beregning av reduksjon av utslippshøyden til punktkildene på grunn av topografien. Enhet: m

VEDLEGG B

Beregning av svoveldioksidkonsentrasjoner ved
store enkeltkilder

Trond Bøhler

I forbindelse med basisundersøkelsen i Bergen er det utført spredningsberegninger av korttidskonsentrasjoner av svoveldioksid for ca. 20 forbrenningsanlegg for olje og avfall. Kriteriet for å bli vurdert som punktkilde var at oljeforbruket var over 500 m³ pr år, og i tillegg er alle forbrenningsanlegg for avfall vurdert.

Tabell B1 nedenfor presenterer for hver kilde de tekniske data brukt i spredningsberegningene, inkludert vurdering av bygninger i nærhet av utslippet.

Tabell B2 gir maksimum timesmiddelkonsentrasjoner av svoveldioksid for hver punktkilde og i hvilke avstander disse forekommer. De fleste kildene i Bergen har utslipp over tak og spredningen kan da bli påvirket av bygninger nær kilden. Ved høye vindstyrker vil disse utslippene "fanges" i lé-sonen bak bygningene og gi høye konsentrasjoner ved bakken nær utslippet. Slike kilder vil derfor ved full drift bidra med høye bakkekonsentrasjoner nær utslippet i episoder, mens de ved lavere vindstyrker (ca. 3 m/s) og normaldrift vil gi et betydelig bidrag til forurensningen i området.

De typiske punktkildene i Bergen er Blikkvalseverket, Bergensmeieriet, Hansa Bryggerier, J.C. Martens og Haukeland Sykehus. Disse bidrar ved maksimal drift med timesmiddelkonsentrasjoner på 100-400 µg/m³ i maksimumsområdene for værtyper som inntreffer relativt ofte (nøytral og ustabil sjiktning med vindstyrker 3-5 m/s).

Tabell B1: Punktkilder i Bergen - grunnlaget for beregninger.

Navn	Type	Maks. forbruk (kg/h)	HS (m)	DS (m)	WS (m)	TS (°C)	HB (m)	BB (m)
1. Blikkvalsev.	6LS	1285	30	1.6	3.5	85	10	50
2. Bergensmeieriet	6NS	570	30	1.6	2.0	200	15	40
3. Hansa Bryggerier	6LS	570	28	1.0	5.2	200	15	50
4. J.C. Martens	6LS	570	26	1.4	2.3	130	15	50
5. Haukeland								
5a	Avfall	600	35	0.8	4.3	180	10	50
5b	3A	2860	"	"	21.8	180	10	50
6. Smiberget	Avfall	1000	52	0.7	11.2	250	50	30
7. Schjøtts vaskeri	3A	570	22	0.8	8.6	220	15	60
8. Mannsverk BBL	2	540	14	1.8	1.5	200	10	30
9. Diakonissehj.	2	990	45	0.6	6.3	200	30	60
10. Fantoft	1	150	65	1.2	0.9	180	60	30
11. Vesta Hygea	2	400	20	0.5	13.4	175	15	60
12. Oasen	2	330	14	0.4	15.3	175	10	50
13. UiB	2	800	32	0.4	8.0	200	30	80
14. Røde Kors								
14a	2	344	30	0.7	8.0	200	25	40
14b	Avfall	1100/zy	30	0.7	8.0	200	25	40
15. Fana yrkessk.	2	270	25	0.4	13.3	200	10	30
16. Bergens Tidende	2	100	25	0.2	15.2	40	20	50
17. D. Martens								
17 a Bakeri	2	450	14	1.2	3.0	150	10	50
17 b Kjeler	2	620	10	1.0	5.0	200	10	50
18. Preklinisk Inst.	1	560	25	0.5	5.0	180	23	60

HS: Skorsteinshøyde
 DS: Skorsteinsdiameter
 WS: Utslippshastighet
 TS: Utslippstemperatur
 HB: Høyden av bygningen
 BB: Bredden av bygningen

Tabell B2: Punktkilder i Bergen. Maksimum timesmiddelkonsentrasjoner av svoveldioksid.
* Avfall.

Navn	Maks. forbruk (kg/h)	Maks. timesverdier ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Avstand (m)
1. Blikkvalsev.	1285	50-350	100-1000
2. Bergensmeieriet	570	50-400	100-1000
3. Hansa Bryggerier	570	30-150	100-1000
4. J.C. Martens	570	50-300	100- 800
5. Haukeland	2860	30- 80	100-1000
6. Smiberget	1000*	10- 80	100- 300
7. Schjøtts vaskeri	570	50-150	100- 300
8. Mannsverk BBL	540	30- 80	100- 500
9. Diakonissehj.	990	50-150	100- 300
10. Fantoft	150	10- 30	100- 300
11. Vesta Hygea	400	30-100	100- 300
12. Oasen	330	50-150	100- 300
13. UiB	800	30-100	100- 300
14. Røde Kors	344	20- 80	100- 300
15. Fana yrkessk.	270	10- 30	100- 500
16. Bergens Tidende	100	10- 50	100- 300
17. D. Martens			
17 a Bakeri	450	30-100	100- 300
17 b Kjeler	620	30-100	100- 300
18. Preklinisk Inst.	560	50-150	100- 300

VEDLEGG C

Simulering av forurensningsepisoder i Bergen

Trond Iversen

Bergensområdet kjennetegnes ved en ytterst sammensatt fordeling av fjell og daler. Mange av de videste dalene rommer fjorder som er åpne året rundt. Disse ytre betingelser fører til meget kompliserte meteorologiske forhold i atmosfærens grenselag (de nederste 1000 m). Spesielt under forhold som er vanlig i forurensningsepisoder vil de lokale variasjoner være store. Det er derfor en altfor ressurskrevende oppgave å måle de meteorologiske parametere med den oppløsning i rom og tid som er nødvendig for en detaljbeskrivelse av spredning. Siden de kompliserte forholdene i Bergen er typisk for store deler av Norge, har NILU satset med egne midler for å lage en matematisk modell for vind og turbulens. Dette arbeid er utført i samarbeid med Det Norske Meteorologiske Institutt. Som den første anvendelse er modellen brukt til å beregne vind og turbulens i Bergensområdet. For detaljer vedrørende modellen henvises til teknisk rapport som for tida er under utarbeidelse (Iversen og Nordeng, 1986). Det er imidlertid viktig å ha i minne at dette er en type beregninger man foreløpig har lite erfaring med innen faget meteorologi. Grunnen til dette er blant annet at slike modeller er svært ressurskrevende.

Det er valgt ut to episodeperioder; 20.-21. jan. 1984 (periode I) og 18.-19. des. 1983 (periode II). I denne presentasjonen legges størst vekt på periode I. Inngangsdata til den meteorologiske modellen er tatt fra avleste værkart og inneholder informasjon om forholdene på stor meteorologisk skala. Gitternettet består av kvadratiske ruter av størrelse 1 km^2 , og det er 20 lag som følger terrenget. Terrenget som benyttes i modellen er glattere enn i virkeligheten i samsvar med den nøyaktighet rutenettet gir (se figur C1). Ellers krever modellen en rekke gitte parametere, som bakkens ruhet, varmeledningsevne, varmekapasitet og informasjon om bakkens overflateegenskaper (snødekke, åpent vann og albedo). I tillegg kreves kjennskap til atmosfærens tilstand på større skala. I denne første anvendelse er det valgt å benytte informasjon fra værkart til dette. Den lokale tilpassning til det ytre felt estimeres hver 6. time ved å kjøre modellen som en 1. times integrasjon ut fra de ytre felter som start. Resultatfeltene (vind og utveksling) interpoleres i rom og tid til det gitternett som er valgt for konsentrasjonsberegninger i Bergen (500m rutestørrelse, hver time).

Med den geografiske informasjon midlet over ruter på 1 km^2 , må det forventes at resultatfeltene ikke inneholder informasjon om alle detaljer. Spesielt for Bergensområdet er svært bratte fjellsider og en rekke mindre sidedaler/kløfter. Disse påvirker de lokale vindforhold. Særlig når man har

inversjon om vinteren vil man ha mye turbulent fallvind som ikke kan beskrives fullstendig i modellen. Isdalen mellom Fløyen og Ulriken er kjent for å være viktig i denne sammenheng (Berge og Hassel, 1984).

Som modell for spredning av forurensning er valgt en trelagsmodell som er en modifisert versjon av en tidligere anvendt modell ved NILU (Grønskei og Gram, 1981). Modellens inngangsdata er forurensningsutslippet, ruhetsparameteren, den vertikale utveksling ved bakken og i 50m, 100m og 200m samt den horisontale vind og utveksling i 25m, 75m og 150m. Dette er høyder over bakken på et vilkårlig sted, dvs. koordinatflatene i modellen følger terrenget. Det er bare beregnet konsentrasjoner av SO_2 . Utslipet av SO_2 er beregnet i utslippsundersøkelsen (Gram og Hoem, 1986). Det tas hensyn til variasjon over døgnet, uka og året for de ulike kildetyper.

RESULTATER

Periode I, (20.1.84 01 - 21.1.84 24). Figur C2 viser beregnet konsentrasjonsforløp ved hovedstasjonen (Den Nasjonale Scene) de to dagene. Beregningene i det nederste laget er sammenliknet med de timesmidlete bakkekonsentrasjoner som er målt. Når disse kurvene sammenliknes må det tas hensyn til at de beregnede verdier er middelverdier for 50 m tykke lag, og at de meteorologiske felter som ligger til grunn gjelder for 25 m over bakken. Man må derfor forvente at de to kurvene på figur C2 er forskjellige, og at disse forskjellene varierer fra et tilfelle til et annet. Hvis forurensningslaget er godt gjennomblandet over de nederste 50 m, vil forskjellen være liten.

I løpet av periode I var det 2 episoder med forhøyete konsentrasjoner av SO_2 . Ifølge figuren er den første episoden beregnet for kraftig, mens den andre er betydelig underestimert. Figur C3 viser den beregnete romlige fordeling av SO_2 klokka 12 hver av de to dagene (begge omkring kulminasjon av de to episoder). I det nederste lag er det tydelig at de høyeste konsentrasjoner fantes nær de store kildene, og ellers nede i og langs Bergensdalen og i Fyllingsdalen. Høyere opp i luftlagene var det fordelingen av den vertikale utveksling som i økende grad bestemte hvor de høyeste konsentrasjoner fantes. Dette kan kontrolleres på figur C4. For den første episodetdagen var det stort sett den åpne fjorden som førte til

vertikalutveksling, og det var også der det var forurensning av noen betydning i høyden. For den andre episodedagen var vinden fra den meteorologiske modellen allerede blitt så kraftig at det var betydelig vertikal utveksling også et stykke oppover Bergensdalen. Dette gjenspeiles ved at episoden var mest markant i det midtre lag (etter beregningene), og at de maksimale konsentrasjoner ble beregnet nær bykjernen også i dette laget.

I det følgende studeres nærmere den meteorologiske situasjon ved å sammenlikne observert og beregnet vind og temperatur i de nederste 400 m. Figur C5 viser observasjoner med tethersonde utført av Geofysisk Institutt i Bergen. Observasjonene er gjort umiddelbart i nærheten av Florida. Klokka 1330-1410 den 20.1 er vinden svært svak og det er inversjon helt opp til ca. 300 m. Den tilsvarende beregning i det nærmeste gitterpunkt kl 1300, gav et relativt godt estimat av vindstyrken men en altfor svak og grunn inversjon. Dette skyldes antakelig at informasjonene om begynnelsestilstanden er for unøyaktige. Det er trolig en nedsynkning på større skala som er blitt for dårlig representert. På tross av dette er spredningsbetingelsene relativt godt modellert på dette tidspunkt. Dette kommer trolig av at den vertikale vindvariasjon var relativt liten ved dette tidspunkt. Ca. 30 timer seinere viser oppstigningen at de vertikale variasjoner hadde økt betraktelig. Inversjonen nådde da til omkring 200 m, med en svært kraftig bunninversjon under 50 m. I 50 m høyde var vinden nesten 3 m/s med en kraftig avtagning ned mot bakken. Beregningene i det nærmeste gitterpunkt klokka 1900 viser også en kraftig inversjon i ca 50 m høyde, men den rekker ikke på langt nær ned til bakken, og atmosfæren ovenfor er heller ikke stabil nok. Vinden er altfor kraftig i alle lag. Dette førte til at de beregnete konsentrasjoner ble for lave for den andre dagen av denne perioden.

Periode II, 18.12.83 01 - 19.12.83 24. Resultatene fra denne perioden skal bare kort resymeres, idet de bekrefter i store trekk resultatene for periode I. Figur C6 viser beregnet konsentrasjonsforløp i de tre nivåene. Det er registrert to episoder som kulminerer ved middag hver av dagene. Observasjonene fra hovedstasjonen disse dagene er bare døgnmidler. Den første dagen er forurensningsnivået relativt godt reproduisert, mens det den andre dagen er for lavt. Figur C7 viser fordelingen i Bergen de to dagene. Igjen er det klart at for det nederste nivå er det Bergensdalen som fører forurensningene. De høyeste konsentrasjoner fins nær de store kilder nede i dalen. På samme måte skyldes forurensningen i Fyllingsdalen hovedsakelig

lokale kilder på stedet. Med gjennomgående sønnvind i området, driver forurensningene fra Bergensdalen ut over den åpne fjorden der den vertikale utveksling er vesentlig større. Dette resulterer i lavere bakkekonsentrasjoner der, mens de høyeste konsentrasjoner fins i de høyere luftlag. Når vinden driver forurensningene fra dalen utover den åpne fjorden, oppnås en viss utlufting og noe lavere bakkekonsentrasjoner enn det man ville hatt med gjenfrosset fjord.

KONKLUSJONER

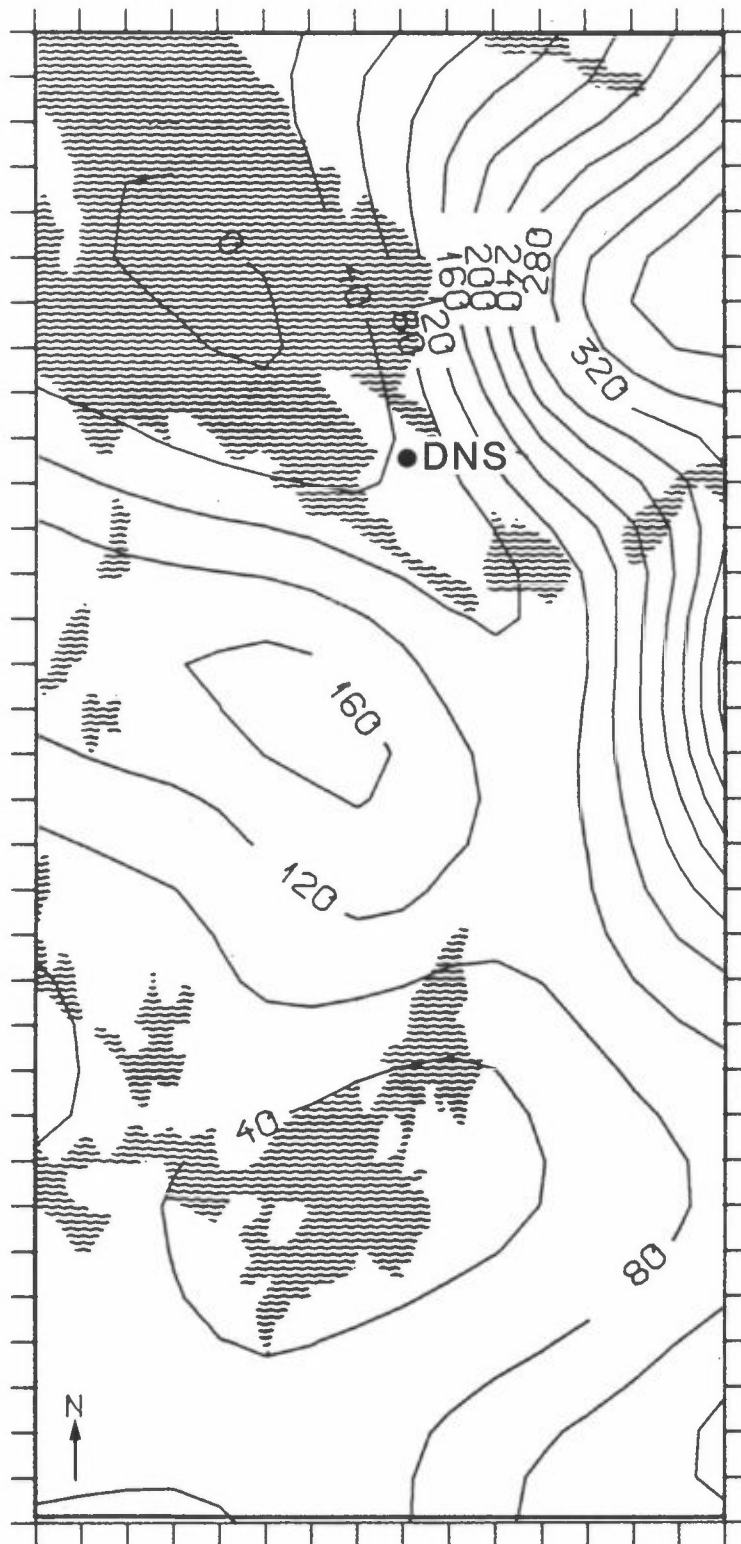
De forsøk som er gjort på å simulere episoder av forhøyede konsentrasjoner av SO_2 i Bergensområdet, har avslørt at dette er en svært komplisert oppgave. Siden den komplekse lokalgeografiske variasjon ikke er svært spesiell i Bergen men snarere normal for landet, bør det arbeides videre for å forbedre mulighetene for slik simulering. Foruten at en bør undersøke de parametre som har betydning for dannelse av strålingsinversjon, bør man finne metoder som bedre tar hensyn til det som foregår på større meteorologiske skala. Å gå rett fra "værkart-skala" til "Bergen-skala" har vist seg å gi for dårlig informasjon.

De faktorer som er viktige for de lokalmeteorologiske forhold under forurensningsepisoder om vinteren i Bergen, er foruten den storskala trykkgradient og vind, topografi, fjorder og snødekke. Oppvarming på grunn av solstråling har hatt liten betydning i de tilfelle som er studert i disse undersøkelsene. Derimot gir fjellene en dreining av vindene, slik at det er en tydelig føring langs Bergensdalen. De bratte fjellene og en rekke større og mindre kløfter og knauser gir opphav til et komplisert system av fallvinder. Når det dannes kraftige bunninversjoner i Bergensdalen, kan denne føre til at hele dalen nærmest kan betraktes som et rør. Dersom vinden er svak gir dette en kraftig opphopning av forurensning. En viss utlufting er det på grunn av fallvind hovedsaklig fra Isdalen, og fordi den åpne fjorden ofte gir transport fra land til områder med større vertikal utveksling. Bunninversjonen har vist seg å kunne bli så kraftig at når en vindøkning kommer i de øvre luftlag på grunn av feltendringer på stor skala, kan denne forsinkes i opptil et halvt døgn i de nederste 50 m i Bergensdalen. Dette skyldes den spesielle kombinasjon av trang dal og kraftig inversjon.

Kildene for forurensning i Bergen er stort sett små og lave. De er hovedsaklig fordelt på enkelte områder nede i Bergensdalen og i Fyllingsdalen. Sett ut fra de beregninger som er gjort, later det til at forurensningen holder seg under 50 m - 100 m over dalbunnen ved episoder. Dette skulle tilsi at størstedelen av befolkningen utsettes for forøkte konsentrasjoner under episoder. Spesielt stor episodeeksponering er det nær store kildeområder som i de sentrale bystrøk. Utslipp fra kilder som ligger inntil åpne fjorder blir trolig påvirket av den større vertikale utveksling som der fins, og er på den måten utsatt for større fortykning. Utslipp som skjer over den høyde inversjonen i dalen rekker, er trolig også utsatt for vesentlig bedre fortykning enn de som er nede i dalen. Dette er blant annet på grunn av den kraftigere vinden over det stabile lag.

REFERANSER

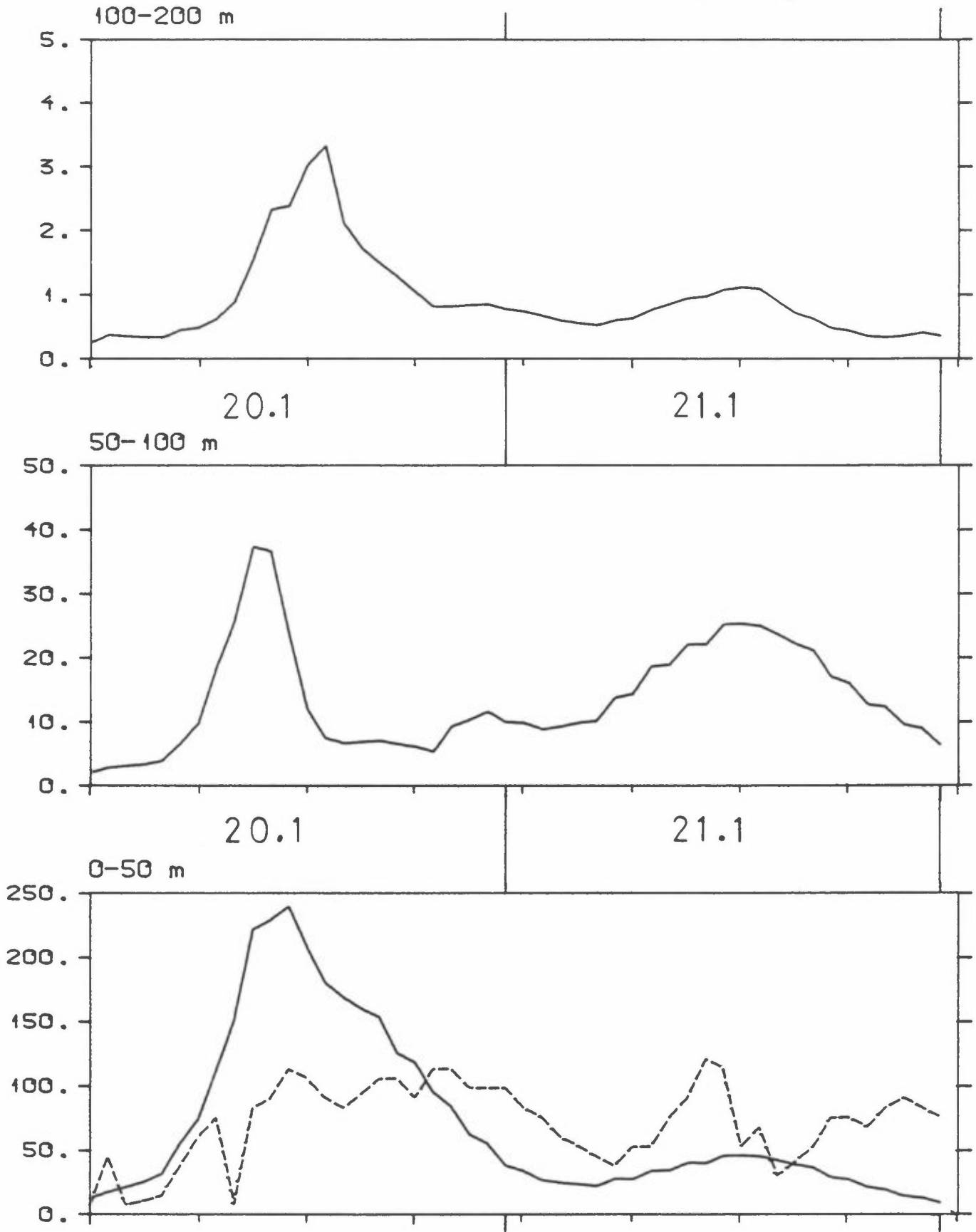
- Berge, E. og Hassel, F. (1984) En undersøkelse av temperaturinversjoner og lokale drenasjestrømmer i Bergen. Universitetet i Bergen, Geofysisk Institutt avd. B. (Rapport nr. 2, 1984).
- Iversen, T. og Nordeng, T.E. (1986) A numerical model suitable for the simulation of a broad class of circulation systems on the atmospheric mesoscale. Lillestrøm (NILU TR under arbeid).
- Gram, F. og Hoem, K. (1986) Basisundersøkelsen av luftkvalitet i Bergen 1983-1985. Delrapport C: Utslippsdata. Lillestrøm (NILU OR under arbeid).
- Grønskei, K.E. og Gram, F. (1981) A dispersion model for regional air pollution problems. Lillestrøm (NILU TR 1/81).



Figur C1: Den glattede topografi i Bergensområdet som benyttes i modellen. Enhet m, ekvidistanse 40 m. Hovedstasjonen: Den Nasjonale Scene ● (DNS) er avmerket på kartet.

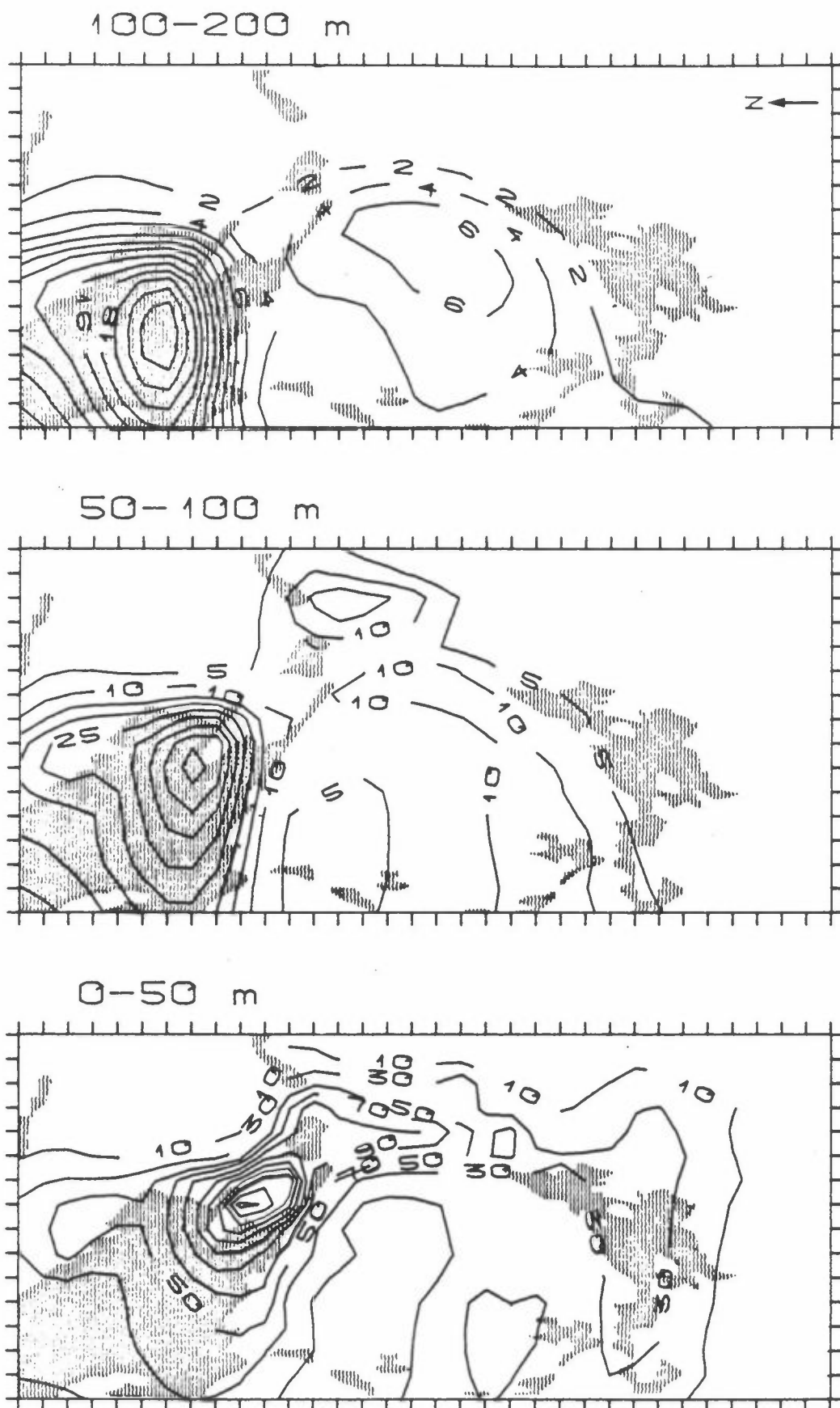
HOVEDSTASJONEN

BEREGNET SVOVELDIOXID ($\mu\text{gSO}_2/\text{m}^3$)



Figur C2: Beregnet konsentrasjonsforløp for periode I ved hovedstasjonen (DNS). Det nederste diagrammet viser også den registrerte bakkekonsentrasjon (stiplet kurve). Markeringen på de horisontale akser angir tidspunkter for fullstendig beregning av vind og turbulens.

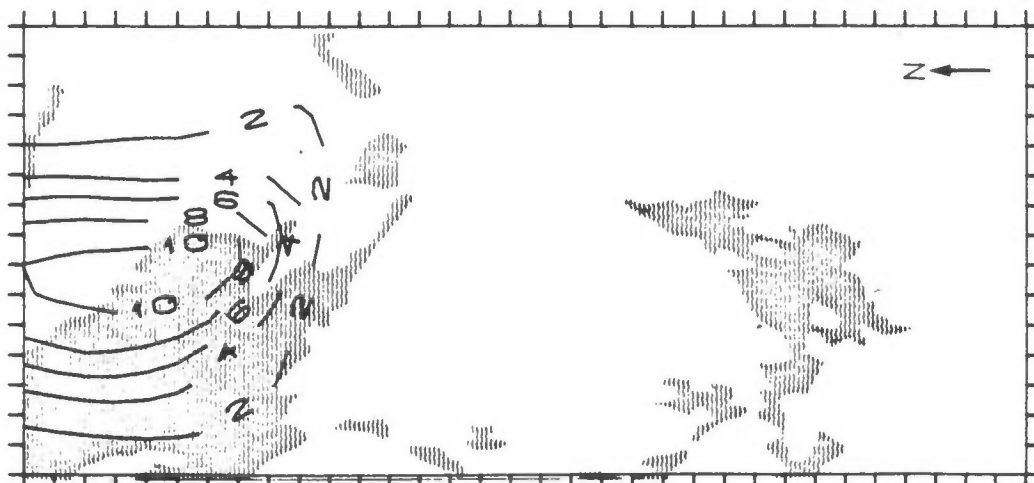
20. jan. 1984, klokka 12



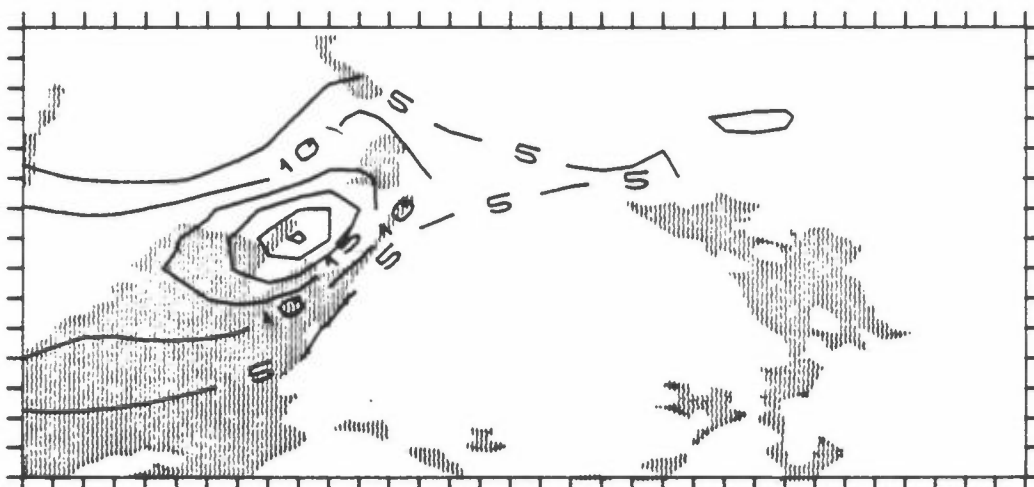
Figur C3 a): Beregnet fordeling av SO₂-konsentrasjoner i Bergensområdet i tre nivåer. Enhet: $\mu\text{g}(\text{SO}_2)/\text{m}^3$. Periode I, dag 1, kl. 1200.

21. jan. 1984, klokka 12

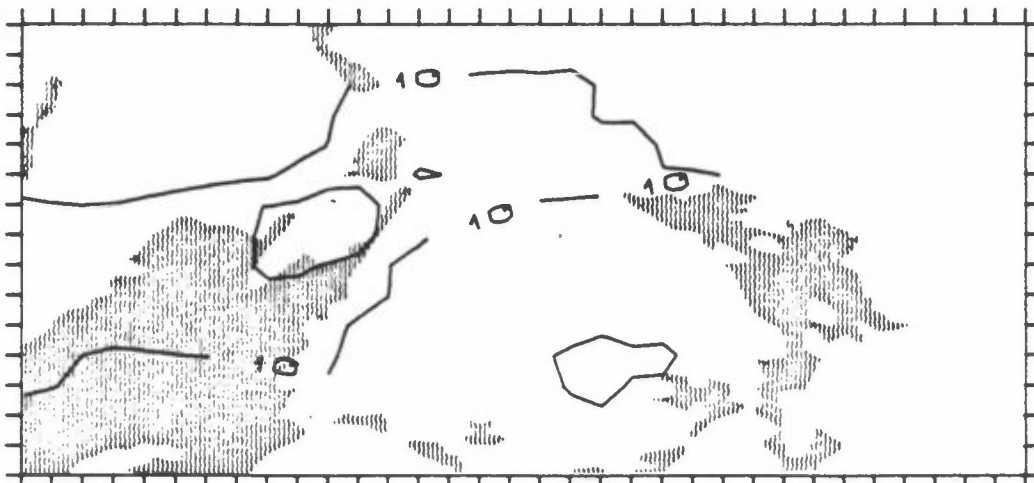
100-200 m



50-100 m

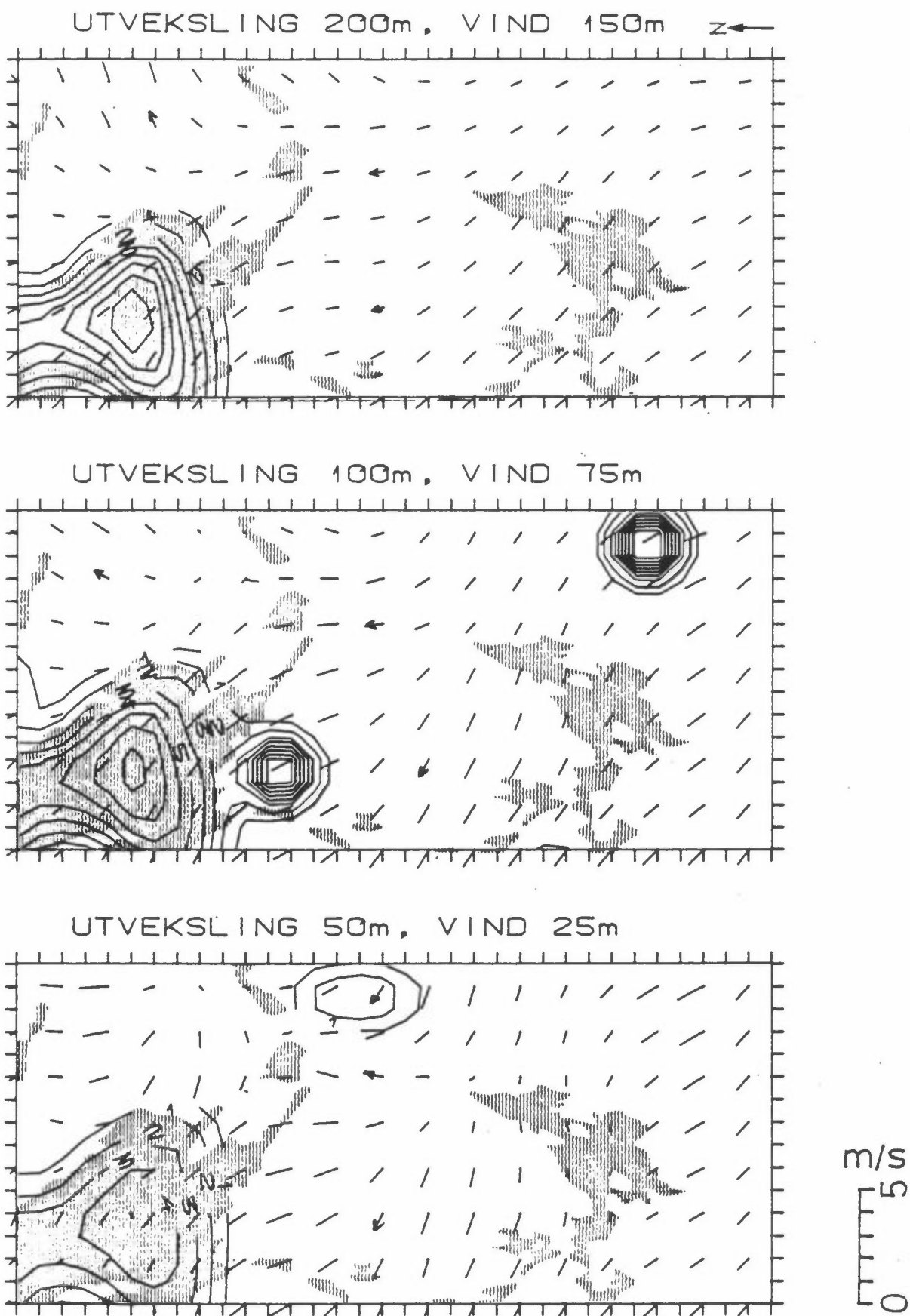


0-50 m

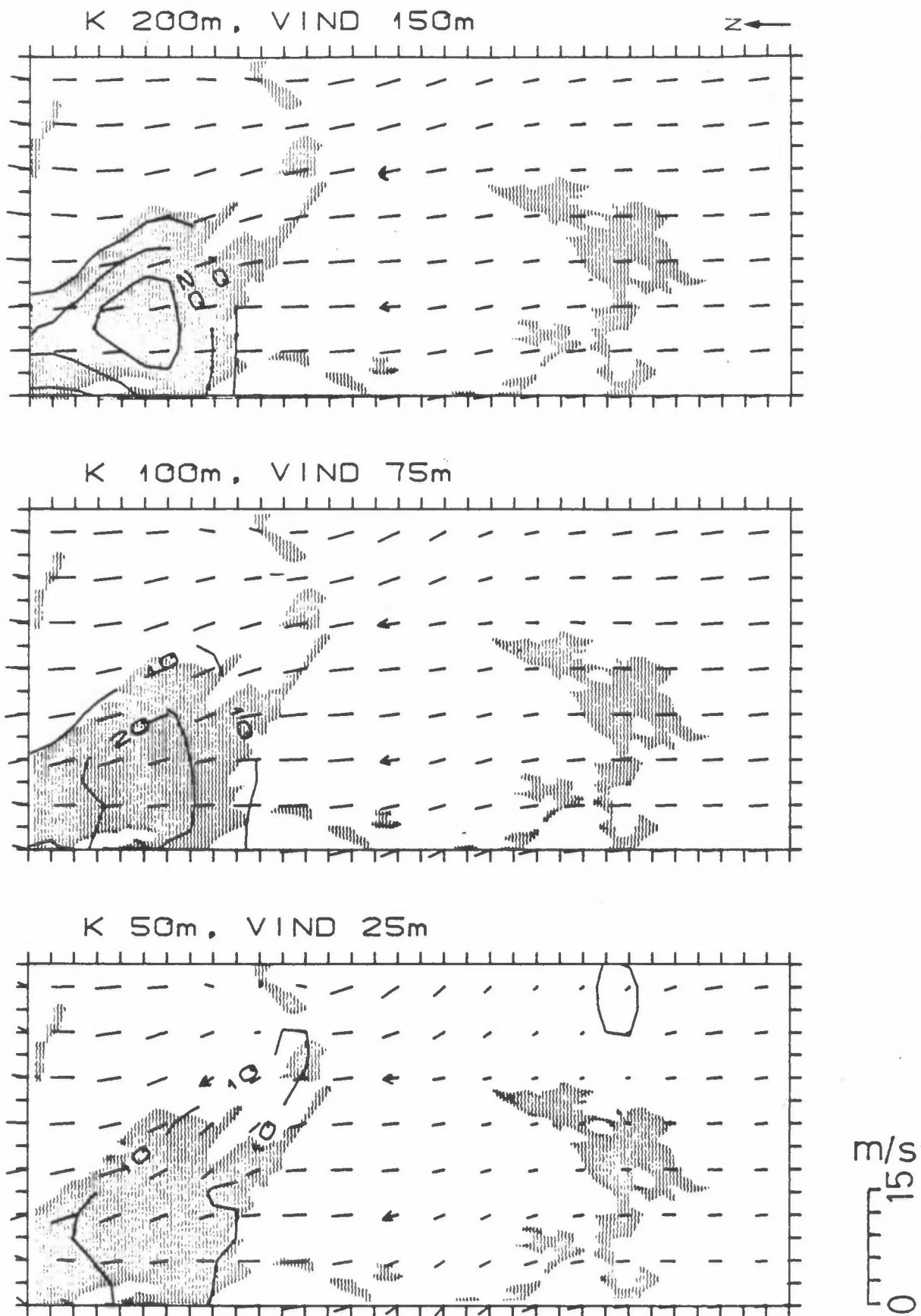


Figur C3 b): Beregnet fordeling av SO₂-konsentrasjoner i Bergensområdet i tre nivåer. Enhet: $\mu\text{g}(\text{SO}_2)/\text{m}^3$. Periode I, dag 2, kl 1200.

20. jan. 1984, klokka 12

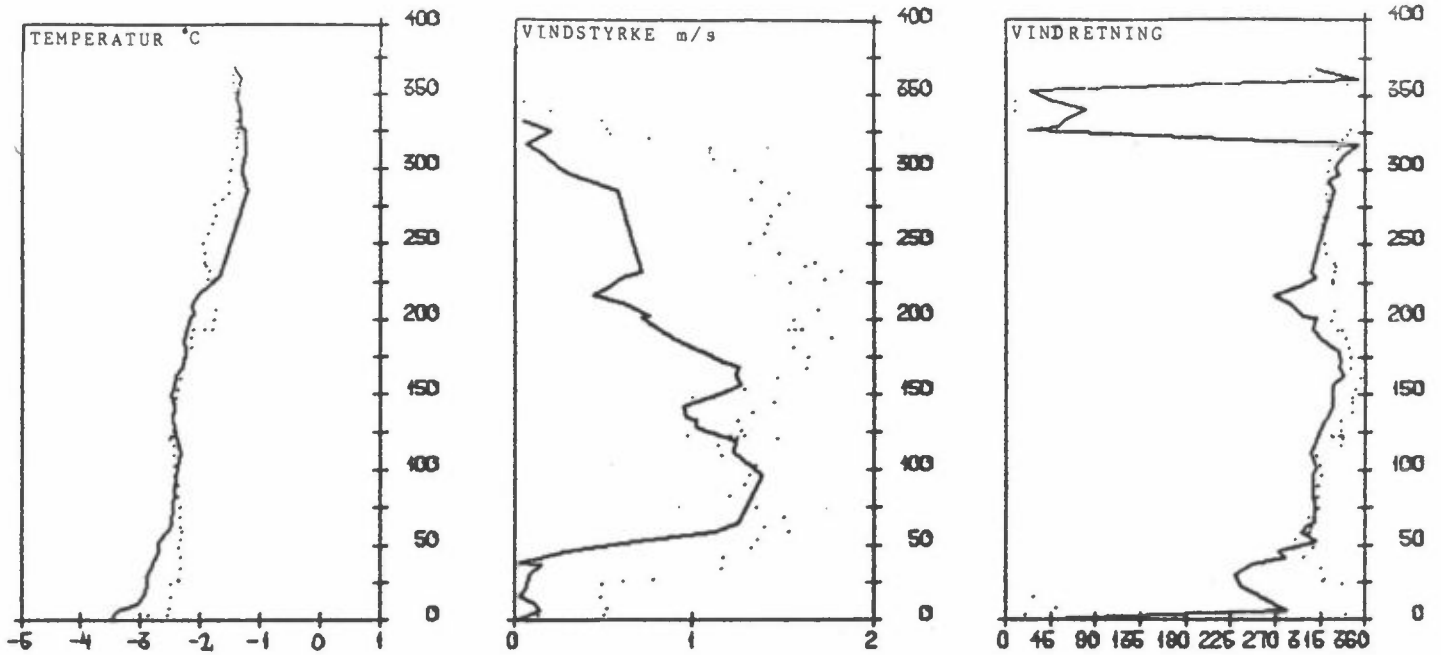


Figur C4 a): Vind og vertikal utvekslingskoeffisient. Enhet for utvekslingskoeffisient: m^2/s . Vindstyrken angis ved lengden av vindpilene, skala angitt ved hvert diagrammet. Periode I, dag 1, kl. 1200.

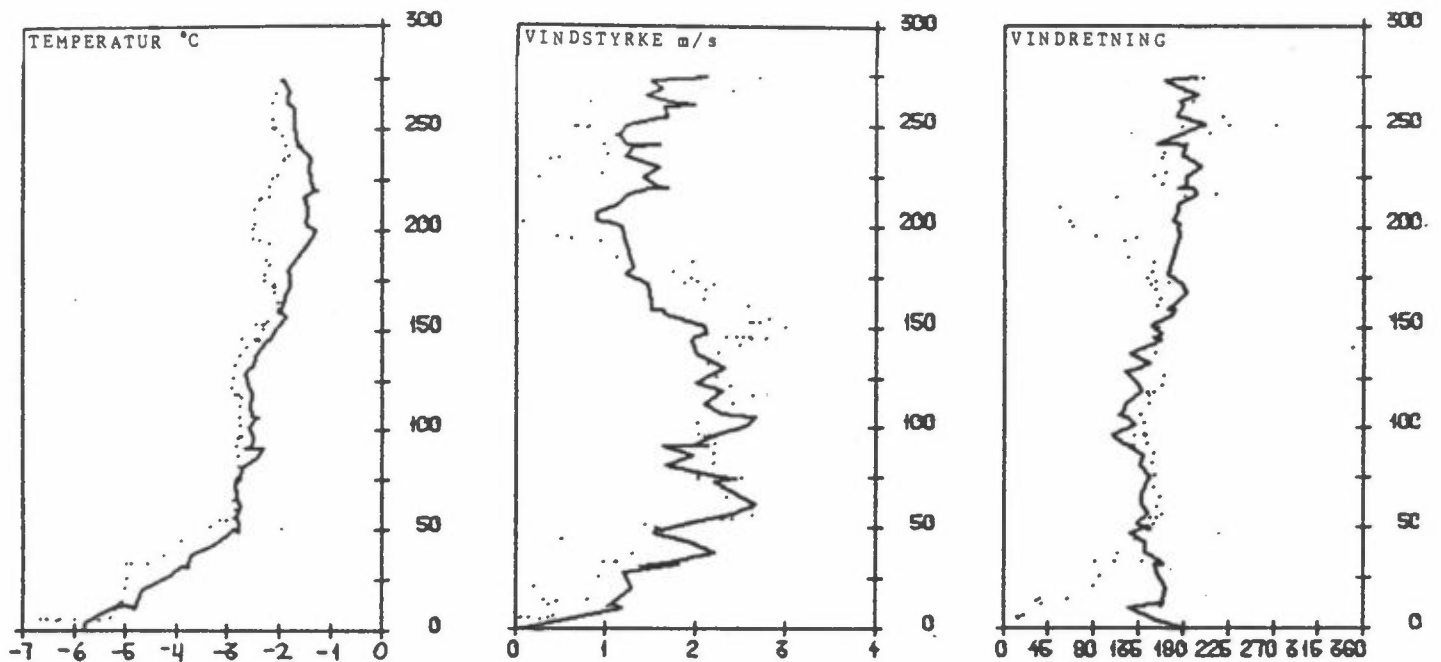


Figur C4 b): Vind og vertikal utvekslingskoeffisient. Enhet for utvekslingskoeffisient: m^2/s . Vindstyrken angis ved lengden av vindpilene, skala angitt ved det nederste diagrammet. Periode I, dag 2, kl 1200.

a)



b)



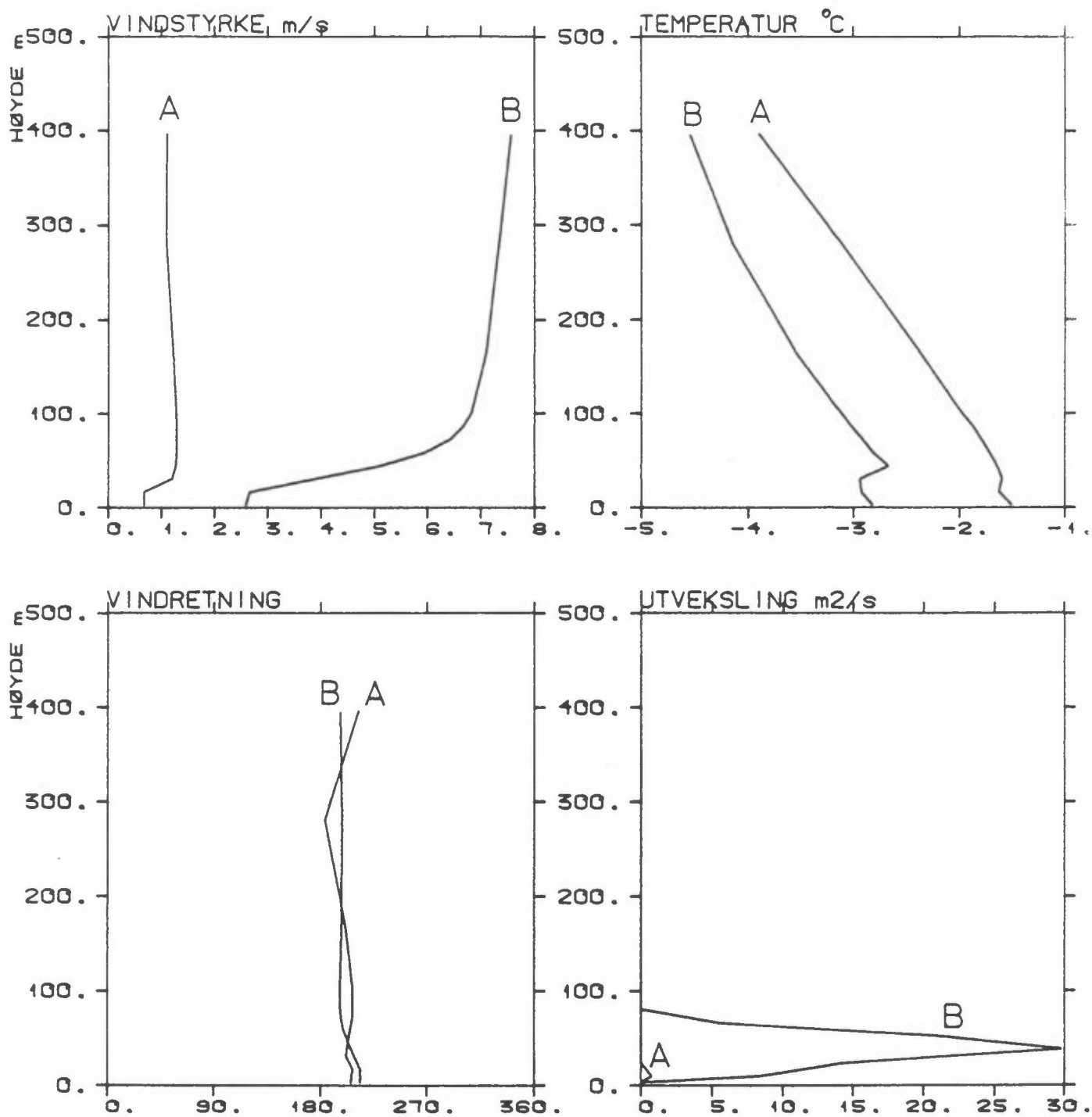
Figur C5: Vertikal variasjon av meteorologiske parametre.

a) Målt med tethersonde (Geofysisk Institutt, Universitetet i Bergen).

Periode I, dag 1, kl. 1330-1410.

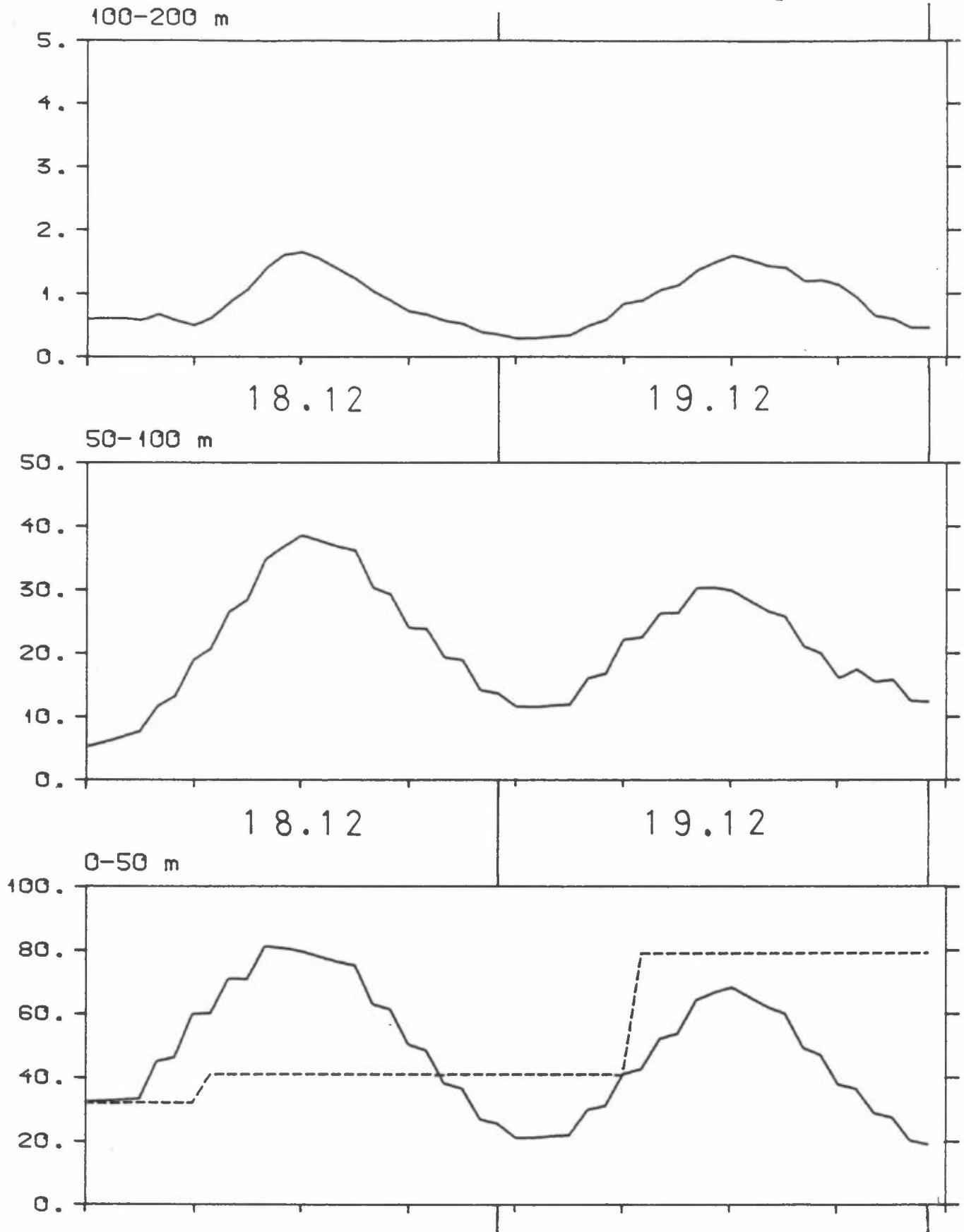
b) Målt med tethersonde (Geofysisk Institutt, Universitetet i Bergen). Periode I, dag 2, kl. 1830-1915.

—: målinger tatt ved ballongens oppstigning,
: målinger tatt ved ballongens nedtaking.



Figur C5 c): Beregnet vertikal variasjon av meteorologiske parametre.
 A = Periode I, dag 1, kl 1300; B = Periode I, dag 2, kl 1900.

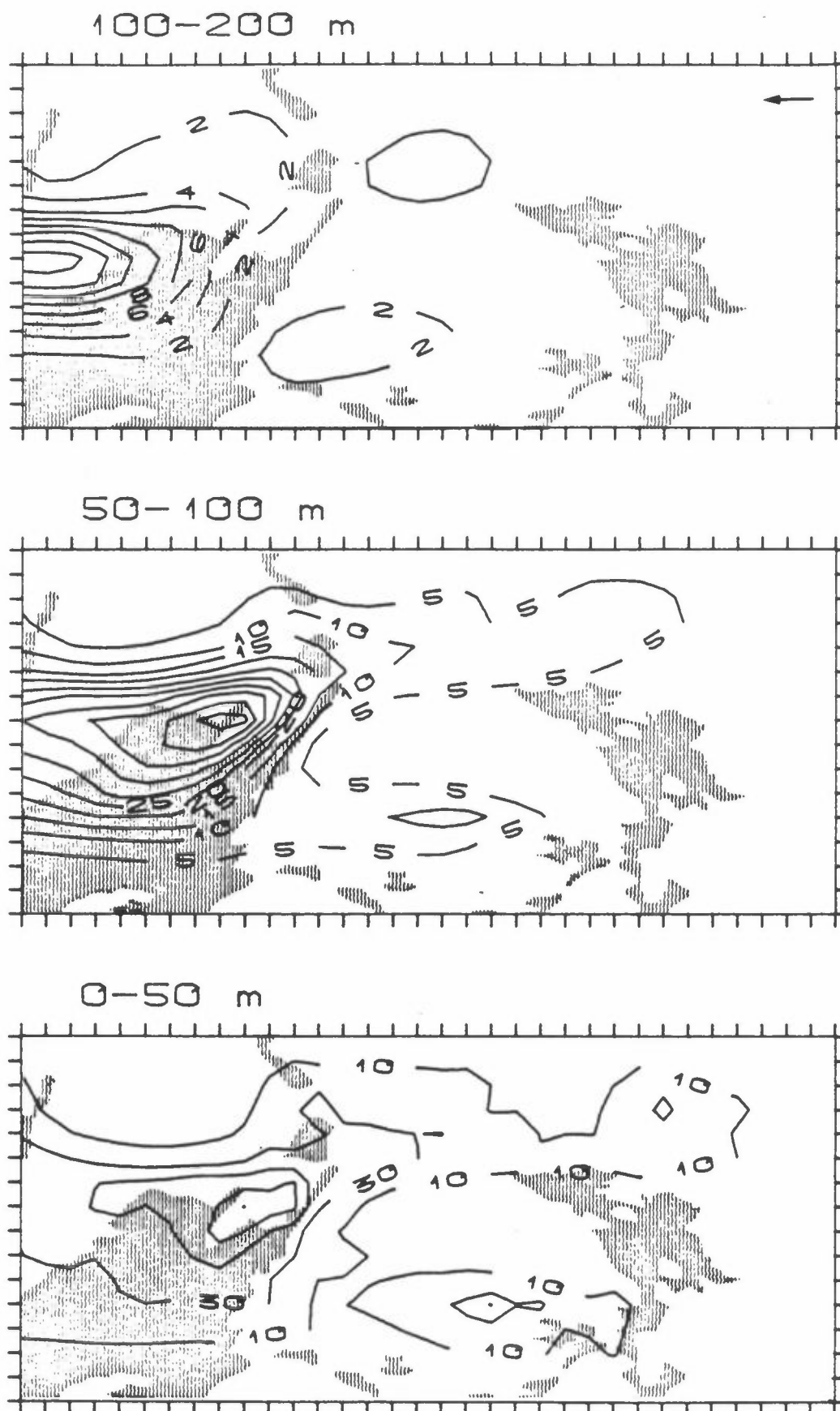
HOVEDSTASJONEN

BEREGNET SVOVELDIOXID ($\mu\text{gSO}_2/\text{m}^3$)

Figur C6: Beregnet konsentrasjonsforløp for periode II ved hovedstasjonen (DNS). Det nederste diagrammet viser også den registrerte bakkekonsentrasjonen (stiplet kurve). Markeringen på de horisontale akser angir tidspunkter for fullstendig beregning av vind og turbulens.

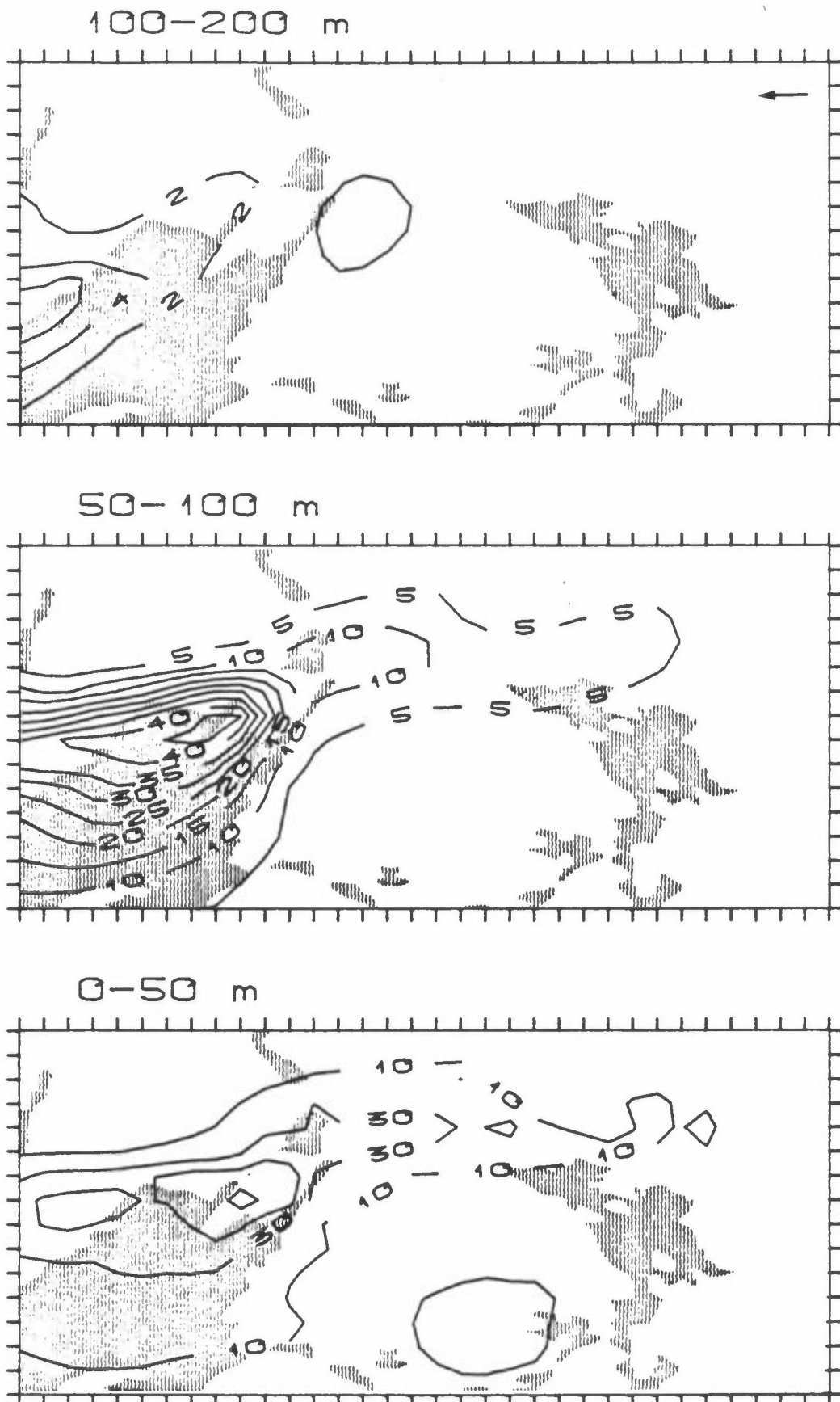
18. des. 1983, klokka 12

67



Figur C7 a): Beregnet fordeling av SO₂-konsentrasjoner i Bergensområdet i tre nivåer. Enhet: $\mu\text{g}(\text{SO}_2)/\text{m}^3$. Periode II, dag 1, kl 1200

19. des. 1983, klokka 12



Figur C7 b): Beregnet fordeling av SO_2 -konsentrasjoner i Bergensområdet i tre nivåer. Enhet: $\mu\text{g}(\text{SO}_2)/\text{m}^3$.
Periode II, dag 2, kl 1200.

NORSK INSTITUTT FOR LUFTFORSKNING (NILU)
 NORWEGIAN INSTITUTE FOR AIR RESEARCH
 POSTBOKS 130, 2001 LILLESTRØM (ELVEGT. 52), NORGE

RAPPORTTYPE Oppdragsrapport	RAPPORTNR. OR 49/86	ISBN-82-7247-720-3	
DATO April 1986	ANSV. SIGN. <i>J. Schjoldager</i>	ANT. SIDER 68 8	PRIS Kr 60,00
TITTEL Basisundersøkelse av luftkvaliteten i Bergen 1983-1985. Spredningsberegninger.		PROSJEKTLEDER Steinar Larssen	
		NILU PROSJEKT NR. 0-8249	
FORFATTER(E) K.E. Grønskei		TILGJENGELIGHET* A	
		OPPDRAGSGIVERS REF.	
OPPDRAGSGIVER (NAVN OG ADRESSE) Statens forurensningstilsyn Postboks 3100, Dep 0234 OSLO 1			
3 STIKKORD (å maks. 20 anslag) Bergen Spredningsberegninger Luftkvalitet			
REFERAT (maks. 300 anslag, 7 linjer) Konsentrasjonen av SO ₂ , NO _x , elementært karbon, CO og Pb er beregnet for vinteren 1983 ² og for vinteren 1983/84. Sammenligning av observerte og beregnede konsentrasjoner tyder på at SO ₂ -konsentrasjonene beskrives tilfredsstillende. Eksosforurensningene i Bergen undervurderes. Beregning av spredning og konsentrasjoner av SO ₂ , i 2 episoder viser store forskjeller i luftkvalitet og spredning innenfor beregningsområdet.			

TITLE The air quality in Bergen. Dispersion calculations.
ABSTRACT (max. 300 characters, 7 lines) The concentration of SO ₂ , NO _x , elementary carbon, CO and Pb are calculated for two winter periods, 1983 and 1983/84. The difference between observed and calculated concentrations indicate that the SO ₂ -concentration is reasonably described, and that the components of ² exhaust pollution in Bergen are underestimated. Calculation of dispersion and concentrations in two episodes indicate large differences in dispersion and in air quality within the area of calculation.

*Kategorier: Apen - kan bestilles fra NILU A
 Må bestilles gjennom oppdragsgiver B
 Kan ikke utleveres C