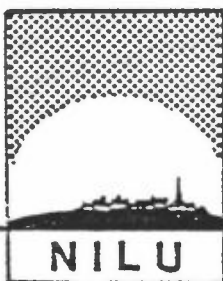


NILU
OPPDRAGSRAPPORT NR: 8/82
REFERANSE: 20580
DATO: JUNI 1982

BEREGNING AV SPREDNINGS- OG EKSPONERINGS-
FORHOLD FOR VISSE LUFTFORURENSNINGS-
KOMPONENTER I OSLO

AV

K.E.GRØNSKEI, F.GRAM OG S.LARSEN



NORSK INSTITUTT FOR LUFTFORSKNING

POSTBOKS 130.- 2001 LILLESTRØM

NILU
OPPDRAGSRAPPORT NR: 8/82
REFERANSE: 20580
DATO: JUNI 1982

BEREGNING AV SPREDNINGS- OG EKSPONERINGS-
FORHOLD FOR VISSE LUFTFORURENSNINGS-
KOMPONENTER I OSLO

AV

K.E.GRØNSKEI, F.GRAM OG S.LARSSEN

NORSK INSTITUTT FOR LUFTFORSKNING
POSTBOKS 130, 2001 LILLESTRØM
NORGE

ISBN-82-7247-295-3

FORORD

I forbindelse med utarbeidelse av et langsiktig miljøpolitisk handlingsprogram for Oslo opprettet Oslo helseråd i mars 1979 en arbeidsgruppe for bekjempelse av luftforurensninger i Oslo. I møte 6.april 1979 ønsket gruppen å kartlegge fordelingen av luftforurensninger og NILU fremmet et første forslag til undersøkelser.

Statens forurensningstilsyn som var representert i gruppen påtok seg finansieringen av undersøkelsene sammen med Miljøverndepartementet og utvidet undersøkelsen faglig og økonomisk til også å omfatte forurensningenes årsakssammenheng og eksponeringsforhold ved ulike midlingstider.

I april 1980 ble det etablert en prosjektgruppe som har samarbeidet med NILU om gjennomføringen av prosjektet:

Trond Syversen, Sigurd Tvedt og Harald Hæreid, Statens forurensningstilsyn (SFT).

Rolf Tore Lund, Oslo helseråd.

Wenche Haugstuen, Statens Teknologiske institutt (STI).

SFT har samarbeidet med NILU om å estimere utslipp fra industrikilder og senere om eksponeringsberegninger for personer som oppholder seg ved sterkt trafikkerte gater (Trond Syversen) og i biler (Harald Hæreid). SFT har videre engasjert Transportøkonomisk institutt (TØI) for å estimere andelen av biler i Oslo med motor i kaldstart-køen til forskjellig tid på døgnet. STI har utarbeidet utslippsfaktorer for biltrafikken ved ulike temperaturforhold.

Oslo helseråd har utarbeidet kart over trafikkstrømmen i Oslo som er benyttet ved beregning av trafikkarbeidet i hver km²-rute, og kart som er benyttet ved fordeling av forbruk av fast brensel.

NILU har engasjert siv.ing. S.E.Riise til å utarbeide data for samlet oljeforbruk i hver km²-rute i Oslo, og detaljerte data for de store forbrukerne.

NILU har samarbeidet med Institutt for Geofysikk ved Universitetet i Oslo om å estimere dannelse av fotokjemiske oksydanter som følge av utslippene i Oslo.

Resultatene av undersøkelsen har vært benyttet av dr. Tore Aune ved Statens Institutt for Folkehelse i vurderingen av mulige helsevirkninger av forurensningene.

Forfatterne vil spesielt takke prosjektgruppen for godt og inspirerende samarbeid. Vi vil videre takke medarbeidere på tegnekontoret og skrivestua ved NILU for godt samarbeid ved utarbeidelsen av en omfattende rapport.

INNHALDSFORTEGNELSE

	Side
FORORD	3
SAMMENDRAG OG VURDERING AV RESULTATER	7
1. INNLEDNING	19
1.1 Formål.....	19
1.2 Metode	20
2. UTSLIPPSDATA	24
3. FORURENSNINGSKART	28
3.1 Resultatet av beregninger i km ² -ruter	28
3.1.1 Langtidsmiddelverdier	28
3.1.2 Døgnverdier	35
3.1.3 8-timers middelverdier for karbonmonoksyd (CO)	41
3.1.4 Timesmiddelverdier	42
3.1.5 Oppsummering av beregnede konsentrasjoner	42
3.1.6 Frekvensen av høye konsentrasjoner	48
3.1.7 Beregning av fotokjemiske reaksjoner - dannelse av ozon	49
3.2 Lokalforurensning rundt punktkilder	49
3.3 Lokalforurensning langs trafikerte gater	51
4. EKSPONERINGSBEREGNINGER	60
4.1 Befolkningseksponering for midlere km ² -konsentrasjoner	61
4.2 Eksponering ved store punktkilder	66
4.3 Eksponering ved trafikerte gater	66
4.3.1 Utendørskonsentrasjoner	67
4.3.2 Innendørskonsentrasjoner	69
4.3.3 Eksponering i biler	70
4.4 Sammenstilling av eksponeringsdata	72
5. BETYDNINGEN AV UTSLIPPSREDUKSJONEN FOR BEFOLKNINGSEKSPONERINGEN	79
5.1 Endringen i middelkonsentrasjonen over Oslo-området som følge av endringer i avgassutslipp fra biltrafikk	79

	Side
5.2	Utslippsreduksjoner i sterkt trafikkerte gater og fra store enkeltkilder 81
5.3	Forurensningsbidrag fra utslipp ved bakken og fra utslipp i taknivå 82
5.4	Betydningen for befolkningseksposeringen av generell reduksjon av avgassutslippene fra biltrafikken 84
5.5	Oppsummering 85
6	NØYAKTIGHETEN AV BEREGNINGENE 86
6.1	Nøyaktighet av spredningsberegninger 86
6.2	Momenter som må tas med ved vurdering av resultatene i Oslo 88
6.3	Vurdering av nøyaktighet ved beregning av befolkningseksposering 89
7	REFERANSER 91

Vedlegg A-J er trykket separat:

VEDLEGG A: Utslippsdata

VEDLEGG B: Data for spredningsforholdene som er benyttet ved beregningene

VEDLEGG C: Befolkningsdata

VEDLEGG D: Frekvens av høye konsentrasjoner og data for befolkningseksposering

VEDLEGG E: Ozon og NO₂-dannelse sommerstid av Ø.Hov

VEDLEGG F: Lokalforurensning av SO₂ ved punktkilder

VEDLEGG G: Beregning av forurensningskonsentrasjoner i sterkt trafikkerte gater

VEDLEGG H: Eksposering for luftforurensninger i motorkjøretøyer av H. Hæreid, SFT¹

VEDLEGG I: Utslippsfaktorer og målemetoder for sot og partikler av A.Semb

VEDLEGG J: Benzeneksposering i Oslo estimert på grunnlag av beregninger og målinger

¹SFT: Statens forurensningstilsyn

SAMMENDRAG OG VURDERING AV RESULTATER

A BAKGRUNN

Initiativet til dette prosjektet ble tatt våren 1979 i et samarbeid mellom Oslo Helseråd og Statens forurensningstilsyn (SFT). Hensikten var å kartlegge befolkningseksponeringen for luftforurensning slik at det kunne foretas en helsemessig vurdering.

Prosjektet er gjennomført av Norsk institutt for luftforskning (NILU) med støtte av en prosjektgruppe bestående av representanter for SFT, Oslo helseråd og Statens teknologiske institutt. Videre har Transportøkonomisk institutt, Oslo kommune, Institutt for Geofysikk ved Universitetet i Oslo og siv.ing. S.E.Riise deltatt i arbeidet.

Prosjektet ble finansiert av SFT. Arbeidet ble også støttet økonomisk av NILU for å klarlegge problemer i forbindelse med beregningsmetodene.

B RAPPORTER

Resultatene fra prosjektet publiseres av NILU i følgende rapporter:

"Beregning av sprednings- og eksponeringsforhold for visse luftforurensningskomponenter i Oslo" (NILU OR 8/82). I rapporten er resultatene samlet og beskrevet. Utgangsdata og endel resultater er gitt i vedlegg A-J som er samlet i en egen vedleggsrapport.

Utslippsdata er presentert i en egen rapport: "Utslipp av luftforurensninger i Oslo-området 1979" (NILU OR 10/82).

C UNDERSØKELSENS FORMÅL

- Tegne kart over forurensningene med midlingstider som gjør dem egnet for vurdering mot angitte grenseverdier* for luftkvalitet.
- Klarlegge frekvens og utbredelse av konsentrasjoner høyere enn angitte grenseverdier.
- Angi hvor mange mennesker som eksponeres for høyere doser enn angitte verdier.
- Angi hvor stor del av forurensningene som skyldes bidrag fra veitrafikk.
- Angi hvor store forbedringer som kan oppnås ved 20%, 50% og 90% reduksjon i utslippet av bilavgasser.

Undersøkelsen er utført for følgende komponenter med ulike midlingstider:

SO ₂	(1 time, døgn og halvår)
Svevestøv	(1 time, døgn og halvår)
NO ₂	(1 time, døgn og halvår)
CO	(1 time, 8 timer)
Bly (uorganisk)	(3 mnd)
Benzen	(1 år)
O ₃	(1 time)

D METODE OG UTGANGSDATA

Basert på utslippsdata og data for spredningsforholdene (meteorologiske data) er det utført spredningsberegninger for å angi konsentrasjonsfordelingen. I figur 1.1 er vist et oversiktskart over det området beregningene omfatter. I beregningene av eksponeringen er bare den del av befolkningen som er bosatt i Oslo tatt med. Befolkningens opphold i bolig, på arbeid og på reise til forskjellig tid på døgnet er tatt med ved vurderingen av eksponering for høye korttidskonsentrasjoner.

*Grenseverdiene som er benyttet er spesifisert av SFT med grunnlag i SFT-rapport nr. 38 "Luftforurensning. Virkninger på helse og miljø" og amerikanske luftkvalitetsstandarder for bly.

Utslipp

Utslippsrapporten presenterer utslippsmengder for Oslo-området for 1979 for alle forurensningsstoffer nevnt under punkt 3.

Følgende kilder er tatt med i utslippsoversiktene:

- biltrafikk
- oljefyring
- industriprosesser
- andre kilder omfatter
søppelforbrenning, Fornebu Lufthavn, Oslo havn, fast brensel, bensindistribusjon, renserier, trykkerier og forbruk av maling.

Utslippsmengdene er oppgitt for hver km^2 -rute vist i figur 1.1 og for hver av de store enkeltkildene.

Beregning av utslipp er basert på:

- trafikkarbeid i hver km^2 for henholdsvis dieserbiler og bensinbiler. Utslippsfaktorer som angir middelutslipp av forurensninger pr bil er utarbeidet av STI.
- data for forbruk av ulike oljekvaliteter i hver km^2 .
Store fyringsanlegg er angitt innen nærmeste 100 m x 100 m-rute.
- SFTs data angående utslipp fra industriprosesser.
- data angående trafikkintensiteten på Fornebu og på Oslo havn.

Utslippet fra de tretten største fyringsanleggene og fra ca 120 gatestrekninger er behandlet enkeltvis.

Tabell 2.2 gir en oversikt over utslippene fra de forskjellige kildene.

Fyringsanlegg og biltrafikk er de dominerende kildegrupper i Oslo som helhet. Andre kilder som Fornebu lufthavn og en rekke større industribedrifter er dominerende kilder i begrensede områder, men de betyr lite for de totale utslippsmengdene. Biltrafikken er hovedårsaken til CO- og blyforurensningene. Fyringsanlegg er hovedårsaken til SO₂-forurensningen. Begge kildegrupper slipper samtidig ut andre forurensningskomponenter (svevestøv/sot, NO_x og hydrokarboner).

De benyttede grenseverdier baserer seg på at sot måles som svertning av filter. En gitt svevestøvkonsentrasjon kan gi ulik svertning avhengig av kilden til støvet. I denne undersøkelsen har vi søkt å angi de enkelte kildegruppernes virkning på sotverdiene som registreres. For å forklare sotmålinger i sterkt trafikkerte gater har NILU modifisert STIs utslippsfaktorer for kjøretøyer. Dette har sannsynligvis ført til et overestimat av svevestøvmengden fra biltrafikken, trolig fordi utslipp fra biler sverter mer enn annet støv.

Data for spredningsforholdene

I perioden 1970-71 utførte NILU en detaljert kartlegging av spredningsforholdene i Oslo med spesiell vekt på forholdene i forurensningsepisoder. Data fra denne undersøkelsen er benyttet i beregningene av forurensningskonsentrasjoner som er utført. Data fra 10 forurensningsepisoder vinteren 1970-71 er benyttet til å beregne høye times- eller døgnkonsentrasjoner. Spredningsforholdene og frekvensen av forurensningsepisoder varierer fra år til år. Få forurensningsepisoder og ingen episoder med ekstremt dårlige spredningsforhold ble observert vinteren 1970-71. For å ta hensyn til dette er det ved beregning av maksimale times- og døgnkonsentrasjoner regnet med noe dårligere vertikalutveksling (sterkere inversjoner) enn dataene tilsier. Vindmålinger fra Valle Hovin er benyttet ved beregning av langtidsmiddelverdier.

Tabell 1: Midlere timesutslipp av luftforurensninger i Oslo 1979.
Enhet: kg/time

	SO ₂	Svevestøv/ sot	CO	HC	NO _x som NO ₂	Bly	Benzen
<u>Vinter</u>							
Oljefyring	520	110	u*	20	290	-	u
Biltrafikk	40	140	6400	440	390	7.6	34
Annet	190	140	1200	540	100	0.8	12
Sum	750	390	7600	1000	780	8.4	46
<u>Sommer</u>							
Oljefyring	320	60	u	10	170	-	u
Biltrafikk	40	120	5500	400	380	6.9	31
Annet	90	40	300	440	50	0.8	3
Sum	450	220	5800	850	600	7.7	34

u: ubetydelig.

Spredningsberegninger

Konsentrasjoner i sterkt trafikkerte gater er beregnet ved en metode som er tilpasset samtidige data fra registreringer av trafikk tetthet og forurensningskonsentrasjoner blant annet i Oslo. Ved store enkeltkilder er konsentrasjonen beregnet ved en formel som beskriver veksten av en røykfane ved forskjellige spredningsforhold.

Langtidsmiddelverdier er beregnet for midtpunktet i hver km^2 -rute vist i figur 1.1. Beregningen utføres ved å summere bidragene fra store enkeltkilder, og fra middelutslipp over km^2 -ruter.

I episoder (når maksimale korttidskonsentrasjoner oppstår), var det nødvendig å beregne akkumulering av forurensninger i Oslo-området ved stagnerende vindforhold. De høyeste konsentrasjonene beregnet på grunnlag av data fra 10 episodedøgn, er i rapporten kalt maksimalkonsentrasjoner i Oslo. Dersom våre utslippsoversikter er riktige, vil høyere konsentrasjoner registreres meget sjelden.

E RESULTATER

Forurensningskart

Det er utarbeidet en rekke kart over Oslo som viser konsentrasjoner for midlingstider fra 1 time til 6 måneder av de forskjellige komponentene (se figurene 3.1-3.16). Figur 3.7 for SO_2 viser spredningen hovedsakelig fra arealkilder (fyringsanlegg) under typiske inversjonsforhold. Figur 3.5 viser spredningen for bly, som hovedsakelig stammer fra veitrafikk. Figur 3.5 er basert på at bensinen inneholder 0.4 g bly pr liter. Innholdet av blyforbindelser i motorbensin senkes nå og skal etter 1.februar 1983 være under 0.15 g/l. Konsentrasjonene vil da bli redusert tilsvarende.

I forbindelse med arbeidet som kommunen gjør for å forbedre bo- miljøet i Oslo er forurensningsnivået i de enkelte gatestrekninger av spesiell interesse.

Konsentrasjoner i gaterommet er beregnet for ca 120 av de kvar-
taler med tosidig bebyggelse som er mest trafikkert. Forurens-
ningene kan være høye også ved de gater med ensidig eller manglende
bebyggelse som har høyest trafikk tetthet (E6, E18, Ringveien).
De høyeste verdiene finner vi imidlertid i gater i sentrum med
tosidig bebyggelse.

For svevestøv/sot (døgn, halvårs), NO₂ (time, halvårs), samt CO
(time og 8-times) er det beregnet at på flere gatestrekninger
overskrides en eller flere av grenseverdiene samtidig med en
faktor 2. (Se figurene 3.19-3.25).

Tabellene 2 og 3 inneholder en noe forenklet oversikt over de
høyeste verdier som forekommer på forurensningskartene. Disse
verdiene kan ut fra tabellen sammenliknes med aktuelle grense-
verdier for luftkvalitet.

Tabell 2: Maksimale langtidsverdier.

Komponent periode	Grenseverdi $\mu\text{g}/\text{m}^3 \times$	Beregnet maks. $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Utbredelse
SO ₂ ½ år	40-60	70	Areal
Svevestøv/sot ½ år	40-60	40	Areal
NO ₂ ½ år	75	40	Areal
Bly 3 mnd	1.5	1.0	Areal
		2.5	Lokal (industri og gater)

x Angitte grenseverdier for luftkvalitet.

Tabell 3: Maksimale korttidsmiddelverdier.

Komponent periode	Grenseverdi $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Beregnet maks. $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Utbredelse
SO ₂ døgnet	100-150	300	Areal
Svevestøv/sot døgnet	100-150	150	Areal
NO ₂ døgnet	100-150	90	Areal
CO 8t	10.000	7.000	Areal
		25.000	Lokal (gate)
SO ₂ 1t	-	300	Areal
Svevestøv/sot 1t	-	400	Mindre areal
NO ₂ 1t	200-350	180	Areal
		500	Lokal (gate)
CO 1t	25.000	15.000	Areal
		45-60.000	Lokal (gate)
O ₃ 1t	100-200	200	Areal-utkant av byen

Figurene viser at for SO₂ og sot forekommer det samtidige overskridelser av grenseverdiens nedre verdi i store arealer over Oslo. De høyeste verdiene for samtidige overskridelser finner vi i sterkt trafikkerte gater hvor sotverdiene vesentlig er forårsaket av biltrafikken. For NO₂ indikerer beregningene at det forekommer overskridelser i sterkt trafikkerte gater, men ikke over større arealer.

For bly fant en overskridelser langs de største innfartsårene og i sterkt trafikkerte gater. Beregningene er basert på 0.4 g bly/l. Overskridelser som følge av bly fra bensin vil bli vesentlig redusert når blyinnholdet senkes til 0.15 g/l fra 1983.

Eksponering

Det avgjørende for en helsemessig vurdering er befolkningens eksponering. For å kunne angi eksponeringen på en meningsfull måte er det nødvendig å kjenne til på hvilket grunnlag de helsemessige grenseverdier er fastsatt. Dersom det gjelder grenseverdier fastsatt på grunnlag av epidemiologiske data, kan det være hensiktsmessig å bruke anslag over forurensningsnivåer utendørs.

(De fleste epidemiologiske studier er basert på utendørs målinger). Dersom det gjelder grenseverdier fastsatt på grunnlag av eksperimentelle data, synes det hensiktsmessig å ta hensyn til hvordan luftkvaliteten er der menneskene oppholder seg. For eksempel vil nivået innendørs, være forskjellig fra utendørsnivået. I middel over døgnet oppholder ca 70% av befolkningen seg i sin bolig.

I hovedrapporten er alle eksponeringsdata beregnet på grunnlag av utendørs nivåer. For benzen er det likevel foretatt spesielle målinger av nivået innendørs. Bruk av utendørsnivåer må antas å være akseptable for SO₂, støv/sot og NO₂ hvor grenseverdier er fastsatt ut fra epidemiologiske data. For de øvrige komponenter (CO, bly, ozon) vil innendørsnivåene - som altså ikke er tatt med her - også kunne være av interesse. Et utvalg av de mest interessante data fra hovedrapporten er vist i tabell 4.

Tabell 4: Oversikt over eksponeringsberegninger. Tabellen viser antall mennesker som utsettes for angitte konsentrasjoner.
Enhet: personer.

Komponent	Grenseverdi µg/m ³	Antall personer som utsettes for konsentrasjoner		
		Mellom grense- verdiene	Over grense- verdiene	50% overskridelse
SO ₂ halvår	40-60	175.000	59.000	-
Svevestøv/sot halvår	40-60	85.000	Ca. 100*	-
SO ₂ døgn	100-150	82.000	133.000	ca 25.000
Svevestøv/sot døgn	100-150	105.000	3.500	ca 50*
NO ₂ time	200-350	ca 4.000*	ca 1.000*	-
CO 1 time	25.000	-	" 3.700*	ca 1.400*
CO 8 timer	10.000	-	" 4.000	" 3.200*
Bly 3 mnd	1.5		" 4.000	
O ₃ 1 time	200		10000-50000**	

*Angir antall mennesker som bor eller arbeider ved sterkt trafikkerte gater.

**Metoden gir ikke grunnlag for nærmere angivelse av antallet.

For benzeneksponering vises til rapporten "Benzen fra bensin" utgitt av SFT.

Som tabell 4 viser er det langt flere personer som utsettes for høye konsentrasjoner av SO_2 og svevestøv/sot enn for de øvrige forurensningskomponenter som undersøkelsen omfatter. For svevestøv/sot forekommer overskridelsene på halvårsbasis i samme område som for SO_2 .

Betydelige overskridelser av grenseverdiene (mer enn 50%) forekommer for den del av befolkningen som bor eller arbeider ved de sterkest trafikkerte gatene. I sentrumssonen vil det være de samme personer som utsettes for de høyeste SO_2 , sot, NO_2 og CO-konsentrasjonene. De fleste utsettes for overskridelser i arbeidstiden (korttidsverdier). Noen få hundre personer bor ved de sterkest trafikkerte gatene og noen utsettes for 50% overskridelser av sot og SO_2 samtidig. Et stort antall personer utsettes for overskridelser for SO_2 . Bare en mindre del av disse utsettes for overskridelser av SO_2 og sot samtidig. 80-100.000 personer utsettes for SO_2 - og sotkonsentrasjoner i intervallet mellom høyeste og laveste tall i grenseverdiene. Ca. 4.000 mennesker som bor eller arbeider ved sterkt trafikkerte gater utsettes for maksimale timeskonsentrasjoner av NO_2 mellom grenseverdiene.

Høye ozonkonsentrasjoner over Østlandet reduseres over Oslo på grunn av lokale utslipp av NO. Nydannelse av oksydanter på grunn av utslipp fra Oslo kan imidlertid i episoder føre til at noen tusen mennesker (10 000-50 000) utsettes for ozonkonsentrasjoner over grenseverdiene.

F REDUSERT FORURENSNINGSUTSLIPP FRA BILENE I OSLO VIL REDUSERE
DET MAKSIMALE EKSPONERINGSNIVÅ FOR SVEVESTØV/SOT, NO_x , CO
OG BENZEN

- a) Reduksjon av utslipp av avgassene fra de enkelte bilene vil gi nær en tilsvarende konsentrasjonsreduksjon i de sterkest trafikkerte gatene. Det er nødvendig med en reduksjon på ca 50% for å eliminere overskridelser av CO, som er den mest kritiske komponent i de fleste av de sterkest trafikkerte gatene.

- b) Trafikkreguleringstiltak kan benyttes for å bedre forurensningssituasjonen i enkeltgater. Bedre trafikkflyt vil også redusere de totale utslippene.
- c) I forurensningsepisoder vil 20-90% reduksjon i avgassutslippene fra bilene kunne gi følgende midlere reduksjoner i forurensningskonsentrasjonene over sentrumssonen:

2-8%	reduksjon i SO ₂ -konsentrasjonen		
10-44%	" i sot-	"	"
18-82%	" i CO -	"	"
12-53%	" i HC -	"	"
11-57%	" i NO _x -	"	"
19-85%	" i bly-	"	"
17-76%	" i benzen-	"	"

G USIKKERHET I BEREGNINGENE

Beregning av vertikalutveksling av forurensninger er sannsynligvis den vesentligste årsak til usikkerheten i beregningene. Usikkerheten i vertikalutvekslingen får stor betydning når de relative bidragene fra biltrafikk (utslipp ved bakken) og fra fyringsanlegg (utslipp over tak) skal vurderes. På grunnlag av de utslipps- og spredningsparametre som er benyttet, har en vurdert de relative bidragene fra ulike kildegrupper. Dette bør imidlertid kontrolleres ved målinger.

Data fra litteraturen kan anvendes som veiledende informasjon om usikkerheten. Det er vanlig å anslå usikkerheten til under 20% for beregninger av langtidsmiddelverdier, og til vel 25% for døgnmiddelverdier under kortere episoder. Vi kan imidlertid regne med at eksponeringsforhold som beregnet vil forekomme i Oslo. Type og frekvens av forskjellige forurensningsepisoder varierer fra år til år og maksimalverdiene blir derfor meget vanskelig å beregne.

Usikkerhetene kan imidlertid reduseres betydelig ved senere målinger.

BEREGNING AV SPREDNINGS- OG EKSPONERINGSFORHOLD
FOR VISSE LUFTFORURENSNINGSKOMPONENTER I OSLO

1 INNLEDNING

1.1 Formål

Helseeffekter av forurensninger beskrives ofte ved hjelp av dose/respons-kurver eller som en sannsynlighet for at bestemte effekter skal forekomme ved ulike eksponeringer. Når en kjenner hvor mange mennesker som utsettes for ulike konsentrasjoner, kan en estimere hvilken virkning forurensningene fra ulike kildegrupper har i en bestemt befolkning.

Den undersøkelse NILU har gjennomført har hatt følgende formål:

- 1.a. Tegne forurensningskart for SO₂, svevestøv, NO₂, CO, bly, ozon og benzen. Kartene tegnes med midlingstider som gjør dem egnet for vurdering mot angitte grenseverdier (se fig. 3.1-3.16).
- b. For interessante punkter beregnes frekvensfordelingskurve. Alternativt kan det lages frekvenskart som angir hvor ofte bestemte middelkonsentrasjoner overskrides (se fig. 3.17 og Vedlegg D).
2. Ut fra angitte grenseverdier (konsentrasjonsgrenser ved forskjellige midlingstider) angi hvor mange mennesker som eksponeres for høyere doser enn de angitte grenseverdier. Usikkerheten i antall personer skal antydes (se tabellene 4.2-4.6 og figurene 4.5-4.13).
- 3.a. Angi hvor stor del av forurensningene som skyldes bidrag fra vegtrafikk.
- b. Angi hvor stor endring i forurensningstilstanden som oppnås ved å redusere avgassutslippene med 20%, 50% og 90%. Usikkerheten i resultatene skal antydes.

1.2 Metode

Basert på utslippsdata og på data for spredningsforholdene (meteorologiske data) er det utført spredningsberegninger for å angi konsentrasjonsfordelingen i området. Befolkningsdata og estimater for midlere oppholdstider i forskjellige deler av byen ga videre grunnlag for å gi eksponeringsdata for Oslo's befolkning.

Beregningsområdet er vist i figur 1.1.

Utslippsdata

For å gjennomføre prosjektet har en samlet inn utslippsdata for:

- fyringsanlegg
- biltrafikk
- prosessutslipp fra industri og annen virksomhet
- avfallsbrenning
- havneområdet
- Fornebu lufthavn (1).

Utslippsdataene representerer året 1979.

Dataene er beskrevet i kapittel 2, vedlegg A og i en egen utslippsrapport (2).

Data for spredningsforholdene

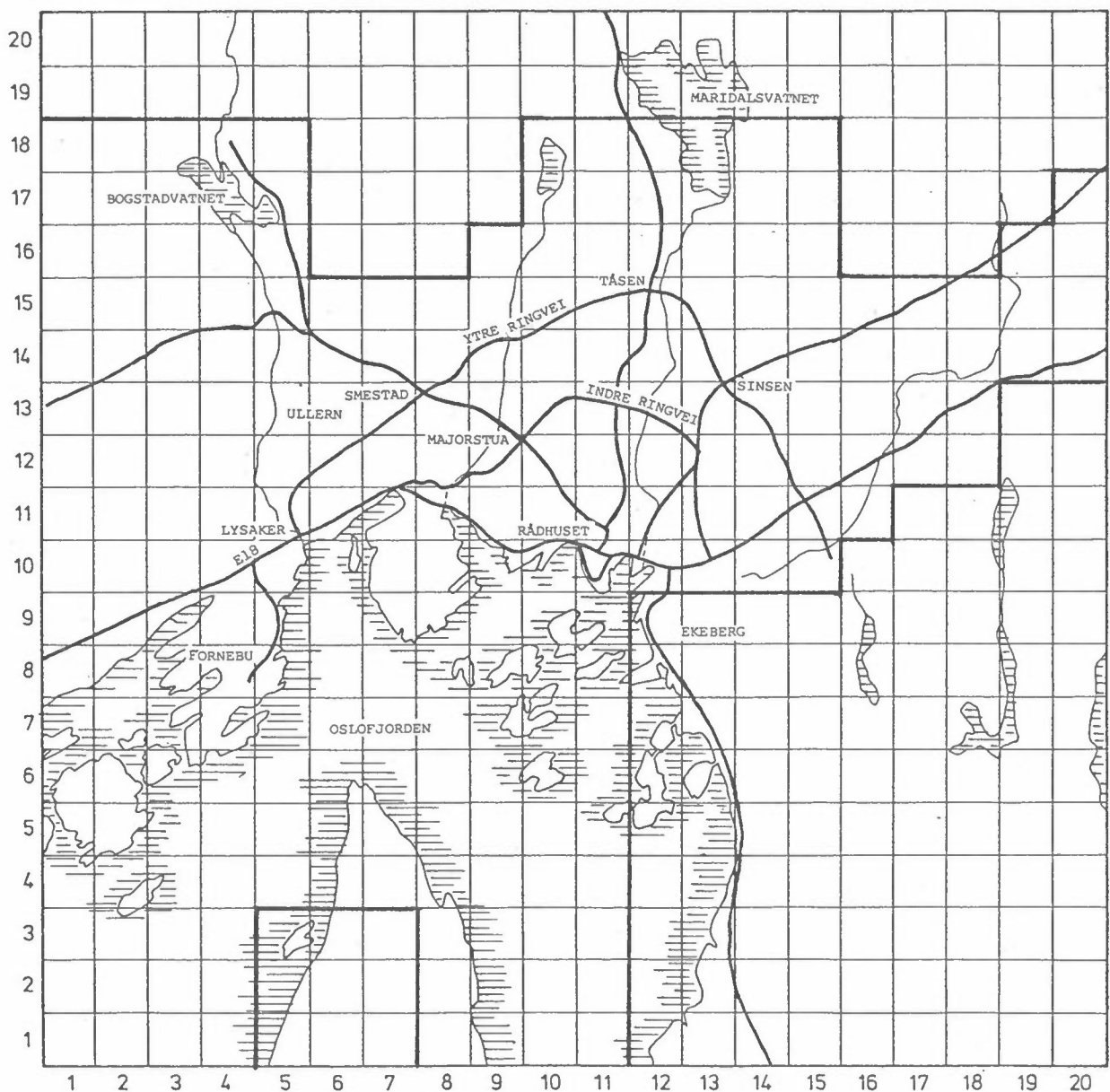
I perioden 1970-1971 utførte NILU en detaljert kartlegging av spredningsforholdene i Oslo-området (se ref. 3). Det er disse meteorologiske målingene som her er benyttet til å beskrive spredning av forurensninger.

Data som er benyttet for beregning av halvårsmiddelverdiene er vist i Vedlegg B. Meteorologiske data fra 10 døgn med maksimal SO₂-konsentrasjon i Oslo sentrum vinteren 1970-71 er benyttet til å angi spredningsforholdene i forurensningsepisoder. Episodene karakteriseres av svak vind, bakkeinversjoner og av kaldluftstrømmer i dalene. Overvåking av luftforurensning fra fyringsanlegg og biltrafikk i Oslo viser at overskridelser av kortperiodiske grenseverdier (midlingstid på 1 time, 8 timer og 24 timer) vanligvis forekommer i slike episoder (24) og (25).

I vedlegg B er variasjonen i spredningsforholdene fra år til år vurdert.

I forhold til et normalår gir spredningsforholdene i 1970/71 noe lavere forurensningskonsentrasjoner. Ved beregningene av korttidsmiddelverdiene er dette kompensert ved å regne med dårligere vertikalspredning enn inversjonsstyrken tilsier.

Sammenligner vi 1970/71 med et av de mest ugunstige år spredningsmessig (1962/63) ville sistnevnte trolig gitt ca 20% høyere middelkonsentrasjoner. I beregningene har en tatt sikte på å angi et representativt konsentrasjonsnivå i Oslo.



Figur 1.1: Beregningsområdet med inndeling i km^2 -ruter.

Forurensningsepisoder i Oslo karakteriseres av dårlig vertikal utveksling. Utslipp langs høydedragene rundt byen vil i liten grad belaste sentrumsområdene. Høydedragene rundt byen vil også ha innvirkning på vindforholdene i dalene. For å ta hensyn til vindforholdene i episodemodellen er beregningsområdet i episodene avgrenset som vist ved tykk strek på figur 1.1.

Spredningsberegninger

Målinger viser at i et byområde forekommer overskridelser av grenseverdier særlig i sterkt trafikkerte gater. Overskridelser forekommer særlig ved svak vind, og er også avhengig av bakgrunns-konsentrasjonen. I belastningssonen nær store enkeltkilder vil en ofte registrere de høyeste konsentrasjonene ved en karakteristisk vindhastighet som er bestemt av utslippsforholdene. Til å utarbeide forurensningskartene og frekvensfordelingene i Oslo har en derfor kombinert resultatene av forskjellige typer modeller:

1. En modell for å beskrive sammenhengen mellom trafikkparametre, gaterom, spredningsforhold og forurensninger i gaterommet (4).
2. Enkeltkilde Gauss-modell for å beskrive belastningen nær store enkeltkilder (5).
3. Multippel-kilde Gauss-modell summerer opp bidragene til konsentrasjonen i gitte punkter for mange kilder (6). Modellen er benyttet til å beskrive langtidsmiddelkonsentrasjonen i hele byområdet. Eksempelvis vil beregningene angi bakgrunns-konsentrasjoner over sterkt trafikkerte gater. Ved beregning av halvårsmiddelkonsentrasjoner er denne modellen benyttet. En laveste vindhastighet på 1 m/s er benyttet.
4. Numerisk beregningsmodell, basert på en vindmodell for Oslo for å beskrive spredningen når vindhastigheten er lav. Konsentrasjonene beregnes for hver km^2 (7). Forflytning og spredning av forurensningsutslippene beregnes ved endelige differenser i tid og rom.
5. Konsentrasjonene av NO_2 og O_3 (ozon) over byområdet er delvis avhengig av fotokjemiske reaksjoner, dels av konsentrasjonen i luften som kommer inn over Oslo-området. For å utarbeide kart for disse komponentene har en benyttet en kombinert foto-

kjemi/spredningsmodell som er utviklet i samarbeid med Institutt for Geofysikk ved Universitetet i Oslo (8). Metodene for beregning av de kjemiske reaksjonene er utviklet ved Institutt for Geofysikk. Beregningene er utført ved store ozonkonsentrasjoner i luften som strømmer inn i området, og resultatene demonstrerer hvorledes ozon brytes ned over byområdet. Samtidig skjer det en rask overgang fra NO til NO₂. For ozon skjer det en nydannelse på lesiden av Oslo-området. Nydannelsen er estimert ved å utføre beregninger for luften som strømmer ut av byområdet.

Målinger viser at de høyeste NO₂-konsentrasjonene forekommer i vinterhalvåret og at overgangen fra NO til NO₂ ikke skyldes fotokjemiske prosesser. Undersøkelser som nylig er avsluttet indikerer at NO₂-konsentrasjonen 5 minutter etter utslippet er sterkt avhengig av hvordan fortynningen skjer (26). Årsaken til de høye NO₂-konsentrasjonene vinterstid samt de bestemmende parametrene for dette er ikke klarlagt ennå. For å gjennomføre eksponeringsberegningene i denne undersøkelsen har vi derfor beregnet NO_x-konsentrasjoner og forutsatt at 30% foreligger som NO₂ (35).

Grenseverdier

I samråd med Statens forurensningstilsyn (SFT) har en i denne undersøkelsen sammenlignet beregnede konsentrasjoner med de grenseverdier for luftkvalitet som er vist i tabell 1.1.

Tabell 1.1: Grenseverdier for luftkvalitet for ulike forurensningskomponenter. (SO₂: svoveldioksyd, svevestøv, NO₂: nitrogen-dioksyd, O₃: ozon, bly, CO: karbonmonoksyd). Enhet: mg/m³.

Midlingstid	1 time	8 timer	24 timer	3 mndr.	6 mndr.
SO ₂ *			0.1		0.04
Svevestøv/ sot*			0.1		0.04
NO ₂ *	0.2		0.1		0.075
O ₃ *	0.1				
Bly**				1.5**	
CO*	25	10			

* Angitt av en arbeidsgruppe oppnevnt av SFT (34). Der gruppen har angitt et konsentrasjonsområde er nedre grense benyttet.

** Gjeldende luftkvalitetsstandard i USA.

Eksponeringsdata

På grunnlag av beregnede konsentrasjoner, data for befolkningstettheten og estimater for midlere oppholdstid i forskjellige deler av byen, er det gitt kart for befolkningseksponering for ulike forurensningskomponenter. Befolkningsdata som er benyttet i beregningene er vist i Vedlegg C.

2 UTSLIPPSDATA

Utslippstallene er basert på data fra forskjellige kilder, med varierende grad av nøyaktighet. En har i størst mulig utstrekning søkt å referere utslippsberegningene til året 1979. Beregningene er utført for svoveldioksyd (SO₂), svevestøv/sot, karbonmonoksyd (CO), hydrokarboner (HC), nitrogenoksyder (NO_x), bly (Pb) og benzen (C₆H₆). Selve beregningsprosedyren og de data som ligger til grunn for utslippsberegningene er beskrevet i en egen rapport, "Utslipp av luftforurensninger i Oslo-området 1979" (2).

Med utgangspunkt i forbrukstall er utslippsfaktorer benyttet for å anslå utslippet av de enkelte komponenter. Utslipp fra oljefyring er beregnet på grunnlag av de offisielle salgsstatistikker for petroleumsprodukter for 1979 (9). Utslipp fra biltrafikk er beregnet fra trafikkarbeidet som igjen er utarbeidet på grunnlag av trafikktegninger i Oslo-området i årene 1975-80 (10), samt forbruket av bensin og autodiesel i 1979 (9). En har videre forskjellige mindre utslippsgrupper som dels representerer spesielle utslipp, dels utslipp der en vet mindre om arealfordelingen. Dette gjelder utslipp fra større enkeltkilder, forbruk av fast brensel, rensier, bensinstasjoner, havnetrafikken, flytrafikk fra Fornebu lufthavn, samt avfallsforbrenning. Disse utslipp er i utslippsoversikten ført opp under "annet".

Tabell 2.1 viser totalutslippene av luftforurensninger i Oslo i 1979 angitt i tonn pr år, mens tabell 2.2 viser et midlere utslipp i kilo pr time for henholdsvis vinter- og sommerhalvåret.

Til bruk i modellberegningene er det utarbeidet kart som viser hvorledes det midlere timesutslipp er fordelt over Oslo-området. Figur A.1-A.7 i Vedlegg A viser utslippskart for de syv aktuelle forurensningskomponenter i Oslo.

Forurensningskart for svevestøv som er egnet for vurdering mot angitte grenseverdier må referere til reflektometrisk bestemte sotverdier. En gitt svevestøvkonsentrasjon kan gi ulik svertning avhengig av hvilken forbrenningsprosess som forårsaker utslippet (se Vedlegg I).

Kalibreringskurven som er benyttet for sammenhengen mellom svevestøvkonsentrasjonen og reflektometrisk bestemte sotverdier, er basert på målinger i byer der hoveddelen av partikkelutslippet skrev seg fra forbrenning av olje og kull i faste anlegg. Vi antar derfor at bidraget fra disse kildene beskrives tilfredsstillende ved de utslippsfaktorer for svevestøv som er benyttet. Utslippsfaktorene er beskrevet i (2).

Tabell 2.1: Samlet utslipp av luftforurensninger i Oslo 1979.
Enhet: tonn/år.

SO ₂	Partikler	CO	HC	NO _x	Bly	Benzen
5356	2683	58948	8155	6063	702	351

Tabell 2.2: Midlere timesutslipp av luftforurensninger i Oslo i 1979. Enhet: kg/time

	VINTER						
	SO ₂	Partikler/sot	CO	HC	NO _x	Bly	Benzen
Diesel	27	-	140	17	86	-	0.8
Bensin	11	-	6301	428	305	7.6	33.4
Sum trafikk	38	135	6441	445	391	7.6	34.2
Oljefyring	522	108	22	24	294	-	0.5
Fast brensel	29	89	835	103	12	-	8.7
Industri	99	33	-	3	54	0.5	-
Haraldrud	8	6	240	5	8	0.2	0.2
Fornebu	15	4	31	10	17	-	0.2
Oslo Havn	36	4	1	1	11	-	0.1
Diverse*	2	9	67	420	1	0.1	2.4
Sum vinter	749	388	7637	1011	785	8.4	46.4
	SOMMER						
	SO ₂	Partikler/sot	CO	HC	NO _x	Bly	Benzen
Diesel	27	-	140	17	86	-	0.8
Bensin	10	-	5330	385	297	6.9	30.1
Sum trafikk	37	123	5470	402	383	6.9	30.9
Oljefyring	317	60	7	11	164	-	0.2
Fast brensel	-	-	-	-	-	-	-
Industri	41	22	-	1	20	0.5	-
Haraldrud	8	6	240	5	8	0.2	0.2
Fornebu	5	2	37	11	12	-	-
Oslo Havn	36	4	1	1	11	-	0.1
Diverse*	2	9	66	420	1	0.1	2.4
Sum sommer	447	225	5820	851	599	7.7	33.8
*I diverse utslipp er tatt med bensindistribusjon, renserier, trykkerier og forbruk av maling samt småkilder i Ø.Bærum.							

Fordi biltrafikken dominerer sot- og CO-forurensningen ved sterkt trafikkerte gater, kan en regne med at forholdstallet mellom CO og partikler (målt ved hjelp av svertningsmålinger) i gateluft representerer det tilsvarende forholdet mellom CO og sotpartikler i utslippet. Utslippsfaktoren for partikler fra bensinbiler er derfor valgt slik at forholdet mellom det beregnete totalutslipp av sot og CO fra biltrafikken i Oslo (bensin+diesel) er lik det omtalte forhold mellom sot og CO i gateluft.

Ved å benytte STIs utslippsfaktorer for dieserbiler var det nødvendig å benytte urealistisk høye faktorer for bensinbiler for å finne samsvar mellom beregnede og observerte sot/svevestøv-konsentrasjoner.

Under arbeidet med beregning av sotforurensning tett ved gater (se seksjon 3.3), har man hatt samtidige målinger av CO og sot å holde seg til. I disse beregningene var det viktig å få et så riktig forhold som mulig mellom partikkelutslippet fra h.h.v. bensin- og dieserbiler. Dette er redegjort for i Vedlegg G. En kom der fram til utslippsfaktorer for tunge dieselkjøretøy som er vesentlig høyere enn de faktorer som var foreslått fra STI. Det er grunnlag for å foreslå en nærmere undersøkelse av utslippsfaktorer av partikler og deres svertningspotensiale både fra bensin- og dieselkjøretøy.

Når det gjelder utslippsfaktorer for bly, antyder samtidige målinger av CO og bly at utslippsfaktoren i realiteten ligger en del lavere enn den som er angitt av STI, som forutsetter at ca 80% av blyet i bensinen slippes ut ved forbrenningen. Dette forhold bør også undersøkes nærmere.

3 FORURENSNINGSKART

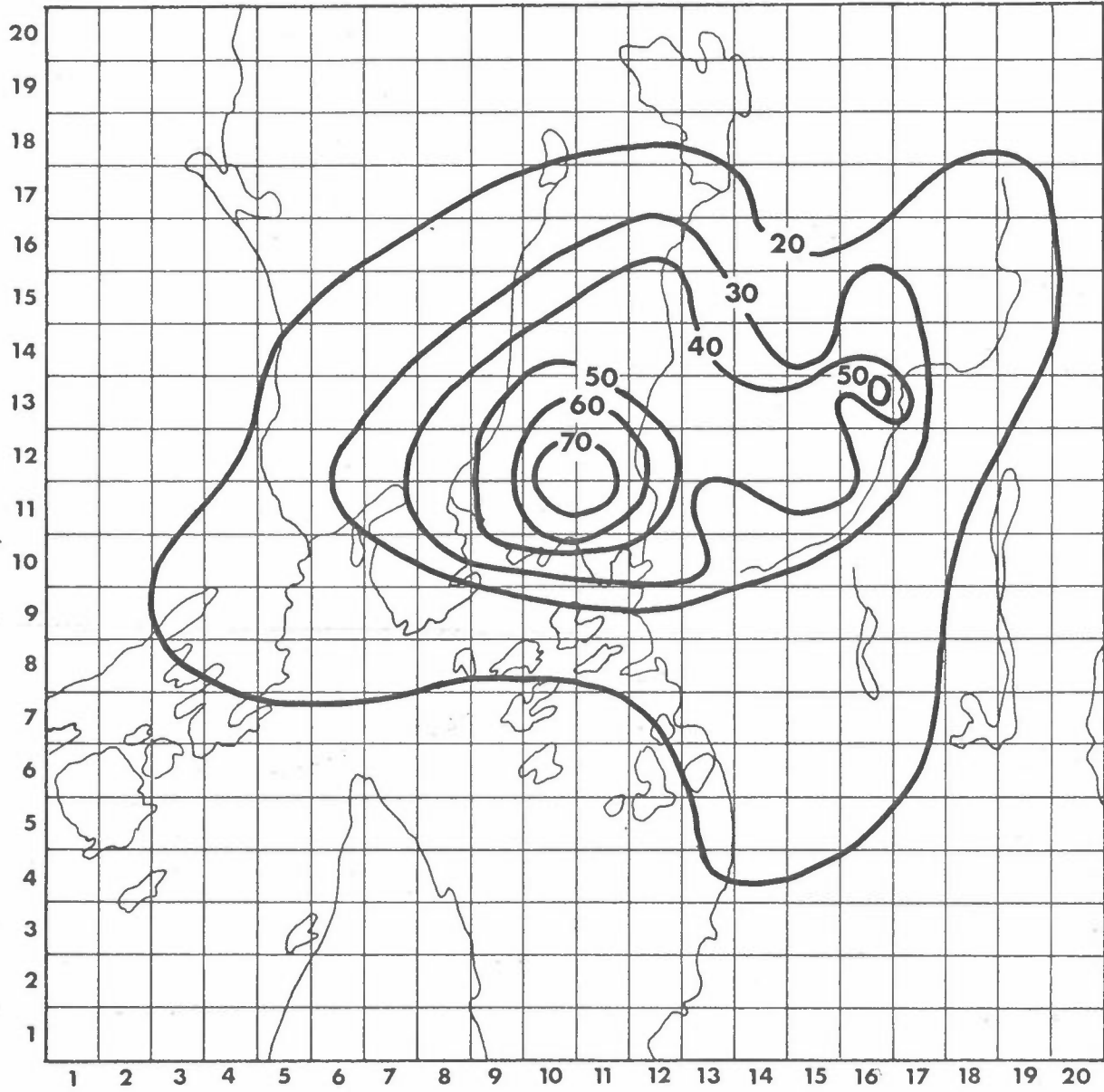
3.1 Resultat av beregninger i km²-ruter

3.1.1 Langtidsmiddelverdier

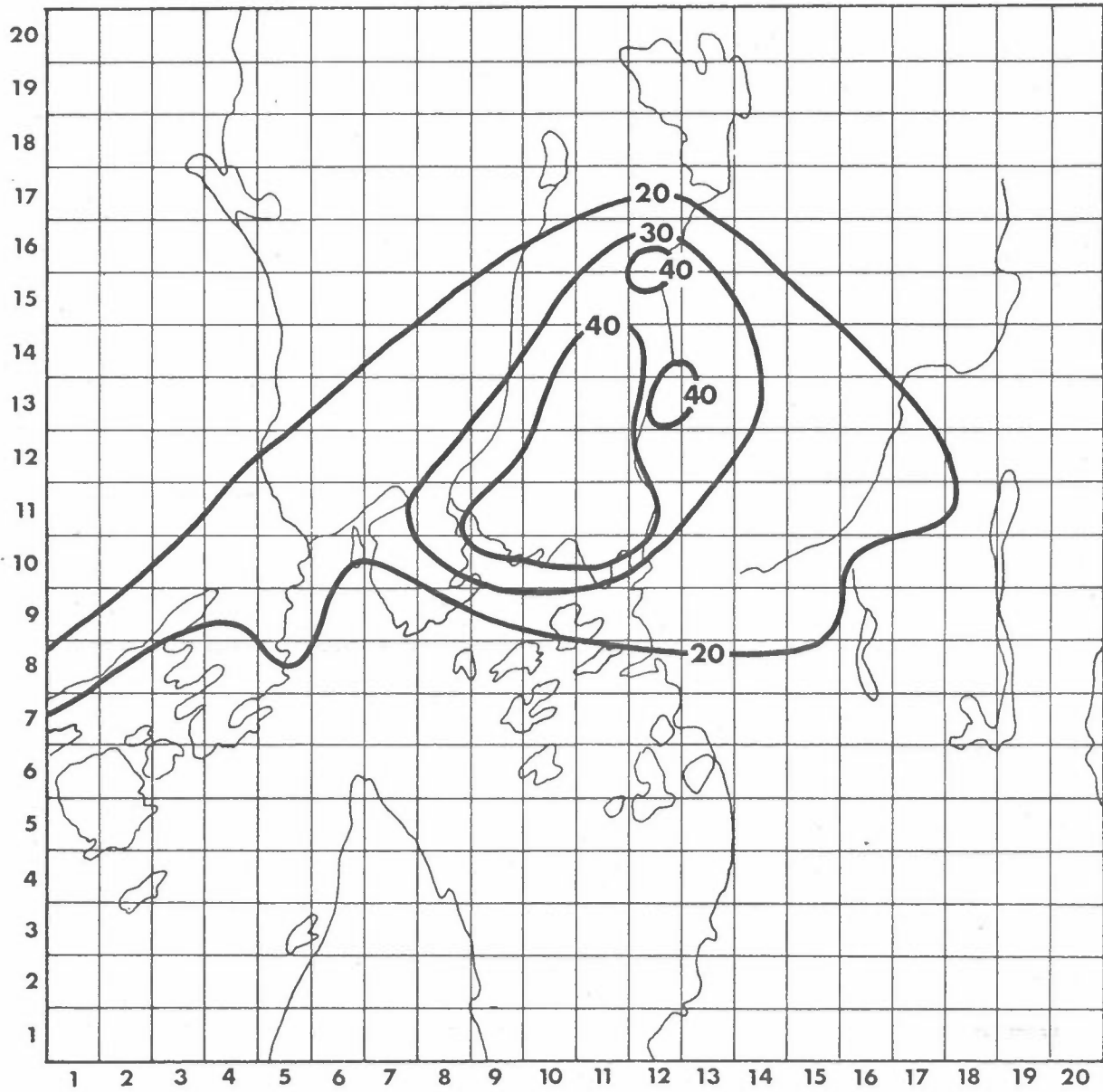
I figurene 3.1-3.4 er vist middelkonsentrasjoner i vinterhalvåret for henholdsvis SO₂, svevestøv/sot, NO_x og NO₂. I figur 3.5 er vist middelkonsentrasjonen for bly i vintermånedene desember, januar og februar. Bakgrunnsverdiene som er addert til bidraget fra Oslo er angitt på figuren.

De beregnede langtidsmiddelverdier angir konsentrasjonen midt i km²-ruter. Ved større enkeltkilder kan det være områder med liten utstrekning som har høyere konsentrasjoner. Beregningene av dette bidraget viser at det er få slike områder i Oslo (se pkt. 3.2). Forurensningsutslipp fra biltrafikk vil forårsake høyere middelkonsentrasjoner i gatene, særlig i sterkt trafikkerte bygater. Disse er beregnet for seg.

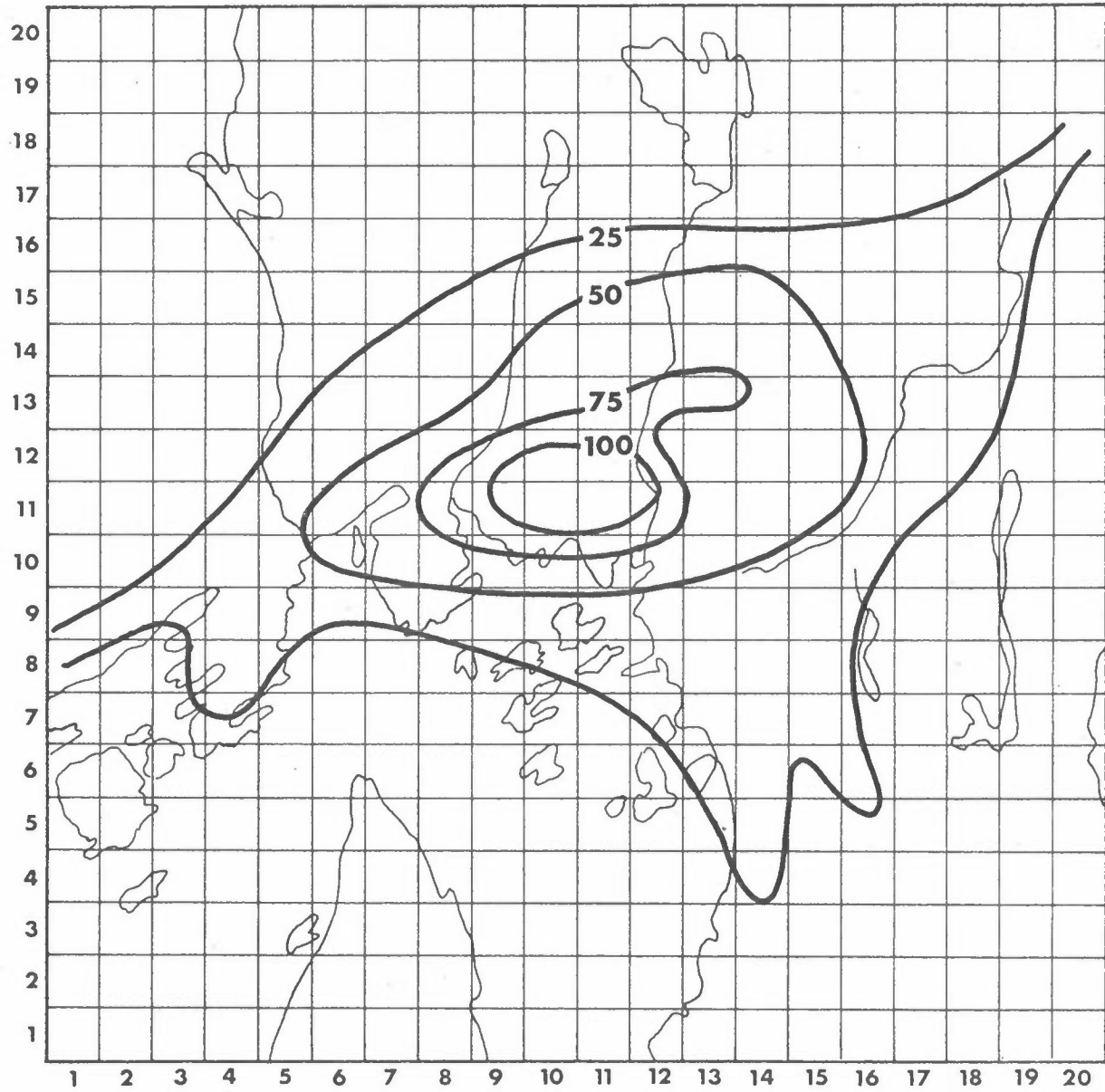
I figur 3.6 er benzenkonsentrasjonen fremstilt. Konsentrasjonen er beregnet for vinterhalvåret på grunnlag av blant annet utslipp fra biler som kjører. Fordampning fra parkerte biler kan gi betydelige benzenutslipp særlig om sommeren. På grunn av usikkerhet i utslippsfaktorene har en benyttet måledata til å korrigere eksponeringsberegningene for benzen.



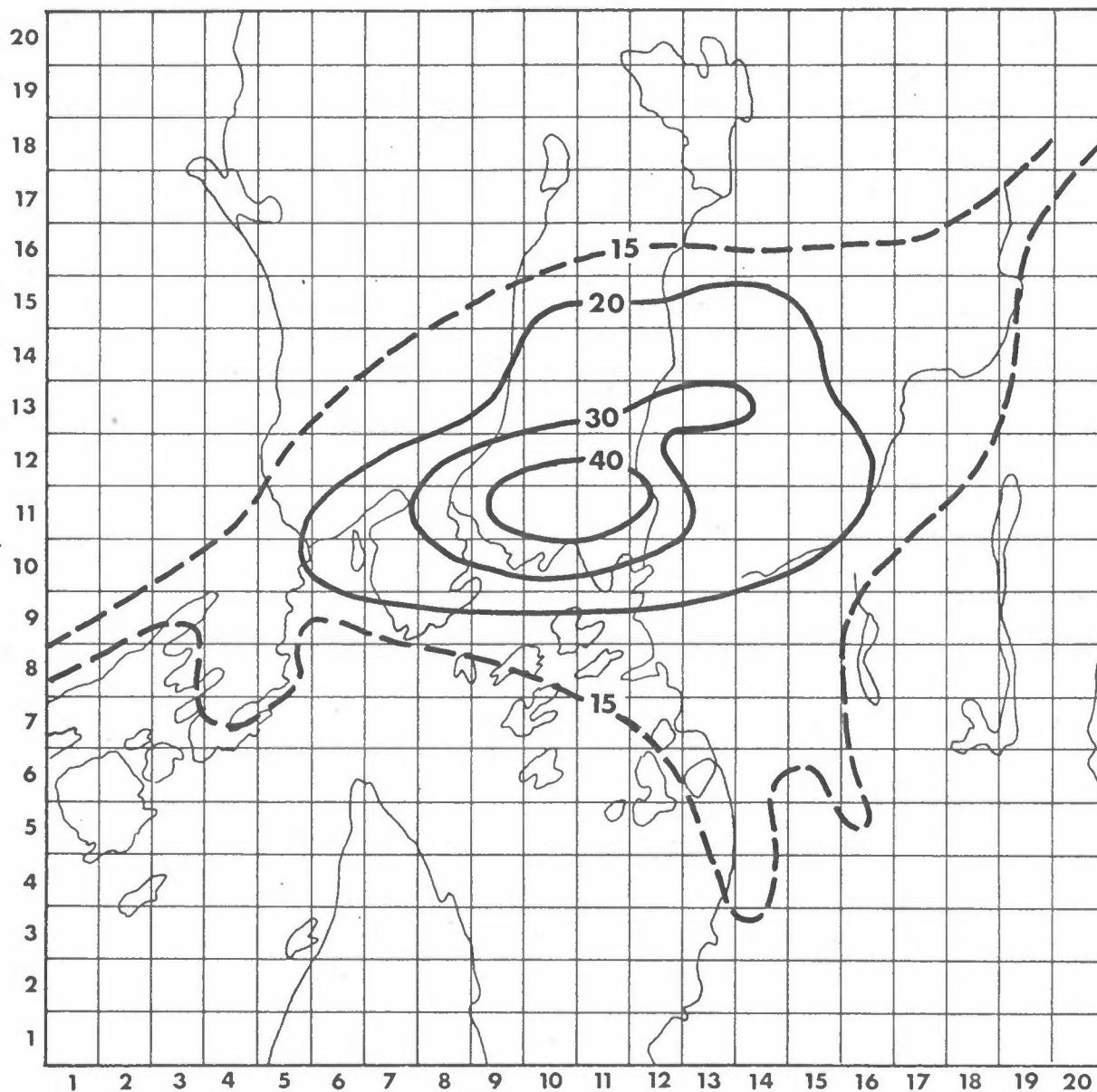
Figur 3.1: SO₂-konsentrasjonen i vinterhalvåret.
Enhet: $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Bakgrunn: $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$.



Figur 3.2: Sot/svevestøvkonsentrasjonen i vinterhalvåret.
Enhet: $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Bakgrunn: $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$.



Figur 3.3: NO -konsentrasjoner i vinterhalvåret.
Enhet: $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Bakgrunn: $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$.



Figur 3.4: NO₂-konsentrasjon - angitt på grunnlag av beregnede NO_x-konsentrasjoner. (30% foreligger som NO₂). Det er videre anslått en bakgrunn på 10 µg NO₂/m³.

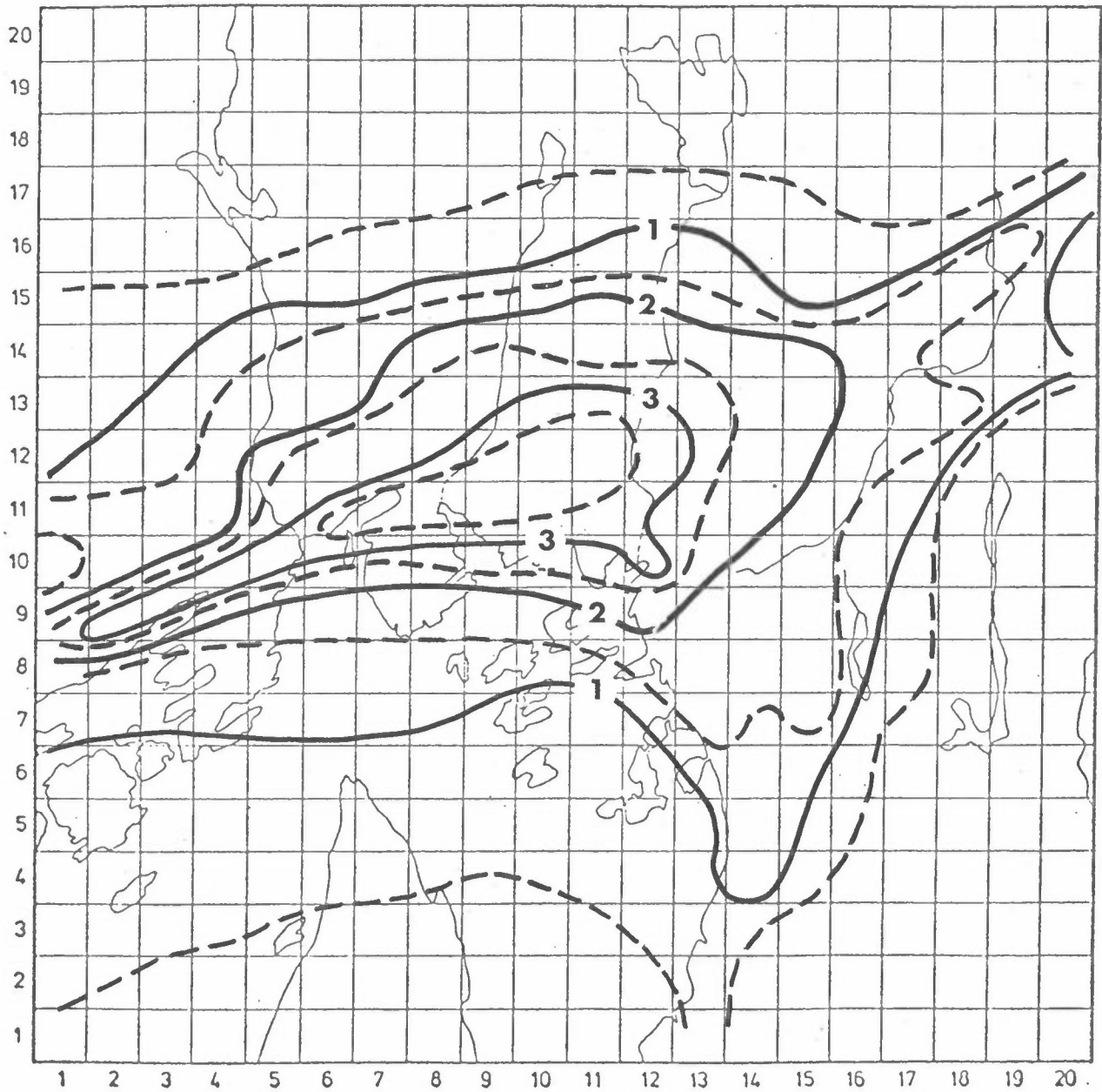


Figur 3.5: 3 måneders middel for bly.

Enhet: $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Bakgrunn: $0 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

I beregningene er det forutsatt et blyinnhold på 0.4 g pr liter bensin.

Når blyinnholdet reduseres til 0.15 g Pb/l vil maksimal-konsentrasjonene langs hovedveiene reduseres tilsvarende fra $1.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ til ca $0.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$.



Figur 3.6: Beregnet middelværdi for benzen i vinterhalvåret.
Enhet: $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Kommentarer

Både for SO_2 og sot/svevestøv finner vi størst belastning i Oslo **sentrum**. Andre maksimumsområder forekommer nær store enkeltkilder, f.eks. ved Spigerverket. NO_x - og NO_2 -konsentrasjonene får bidrag både fra biltrafikk og oljefyring. Figurene viser maksimalkonsentrasjoner av nitrogenoksyder i sentrumssonen. Forurensningene ved innfartsårene kommer til syne på figurene.

Blyforurensningene forårsakes vesentlig av biltrafikken. Det er i dette tilfellet forutsatt at utslippene skjer ved bakken. Forurensningen ved innfartsårene kommer klart til syne i figur 3.5. Verdiene som kommer til syne ved innfartsårene, er imidlertid representative for en ca 200 m bred sone langs veien (ikke km^2 -ruter). Dette fremgår også av figuren. Beregningsmetoden for langtidsmiddelverdier bør videreutvikles slik at den behandler arealkilder med ulik utslippshøyde på en konsistent måte.

De beregnede benzenkonsentrasjonene skyldes dels eksosutslipp, dels fordampning av bensin fra biler og fra lageranlegg. Beregningsmetoden underestimerer konsentrasjonene noe, verdiene bør multipliseres med en faktor (maksimalt 1.5) for å ta hensyn til at utslippene skjer nær bakken. Beregnede konsentrasjoner er fortsatt for lave, og uoverensstemmelsen mellom beregninger og observasjoner kan også skyldes en ufullstendig utslippsoversikt.

3.1.2 Døgnverdier

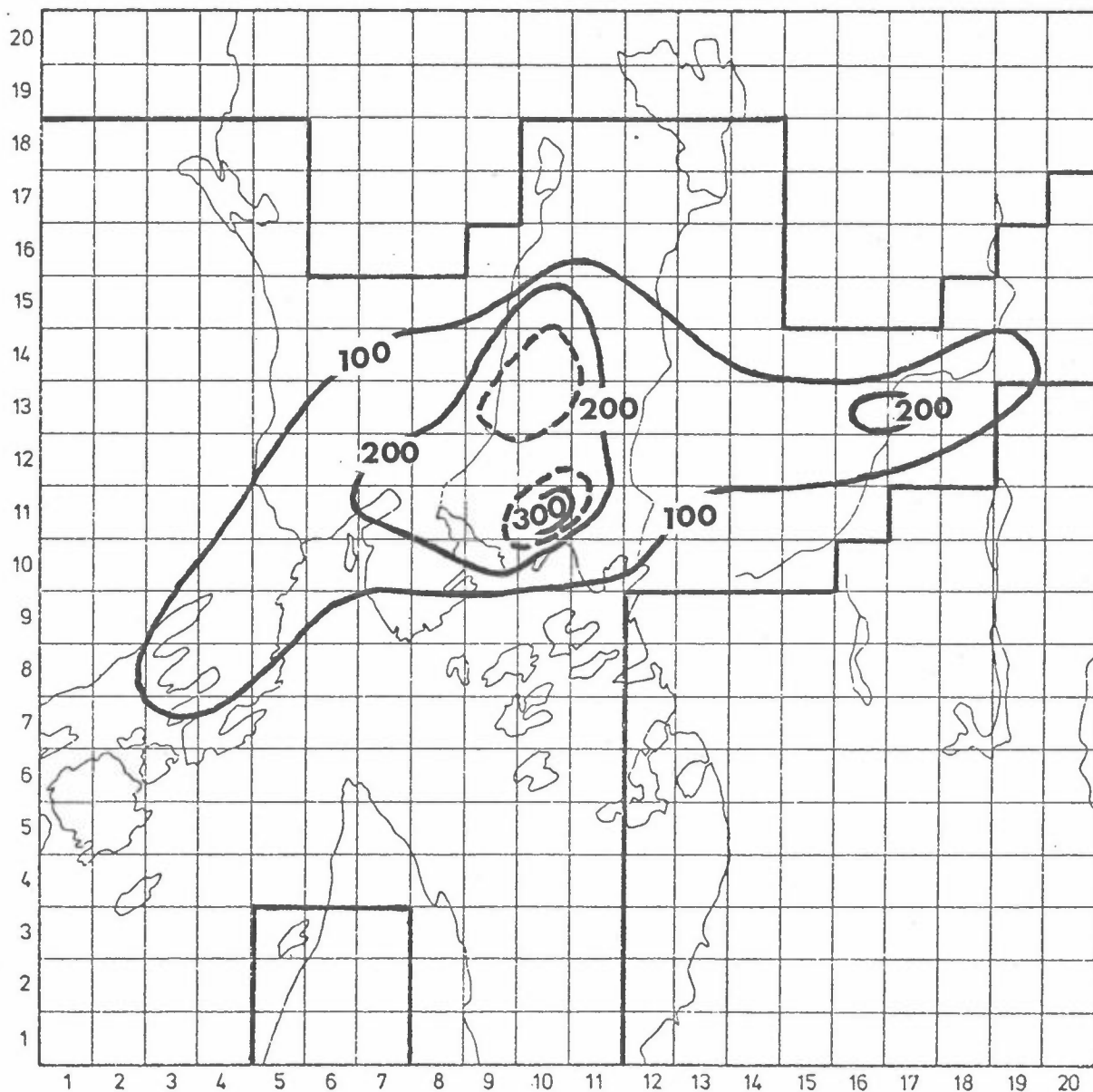
Høye døgnmiddelverdier forekommer i episoder om vinteren, karakterisert av kaldt stille vær med bakkeinversjon, det vil si store utslipp og dårlige spredningsforhold. Beregningsområdet for vindmodeller er avgrenset til dalene, sentrumsområdet og området ved fjorden. En har videre sett bort fra kilder på høydedragene i området, disse bidrar ubetydelig til konsentrasjonene i sentrumssonen i forurensningsepisoder på grunn av topografiske effekter.

Detaljerte meteorologiske målinger ble utført i Oslo vinteren 1970/71. Timevise målinger fra 10 forurensningsepisoder (10 døgn) ble benyttet i beregningene. Det er et begrenset utvalg av episoder og maksimale forurensningskonsentrasjoner kan forekomme i andre deler av byen i andre forurensningsepisoder, avhengig av spredningsforholdene.

Utslippsdata fra 1979 ble benyttet, og den høyeste døgnmiddelkonsentrasjonen som ble beregnet for SO_2 , svevestøv/sot, NO_x og NO_2 er vist i figurene 3.7 til 3.10. Beregningsområdet er avgrenset ved en trykk strek på figuren.

Kommentarer

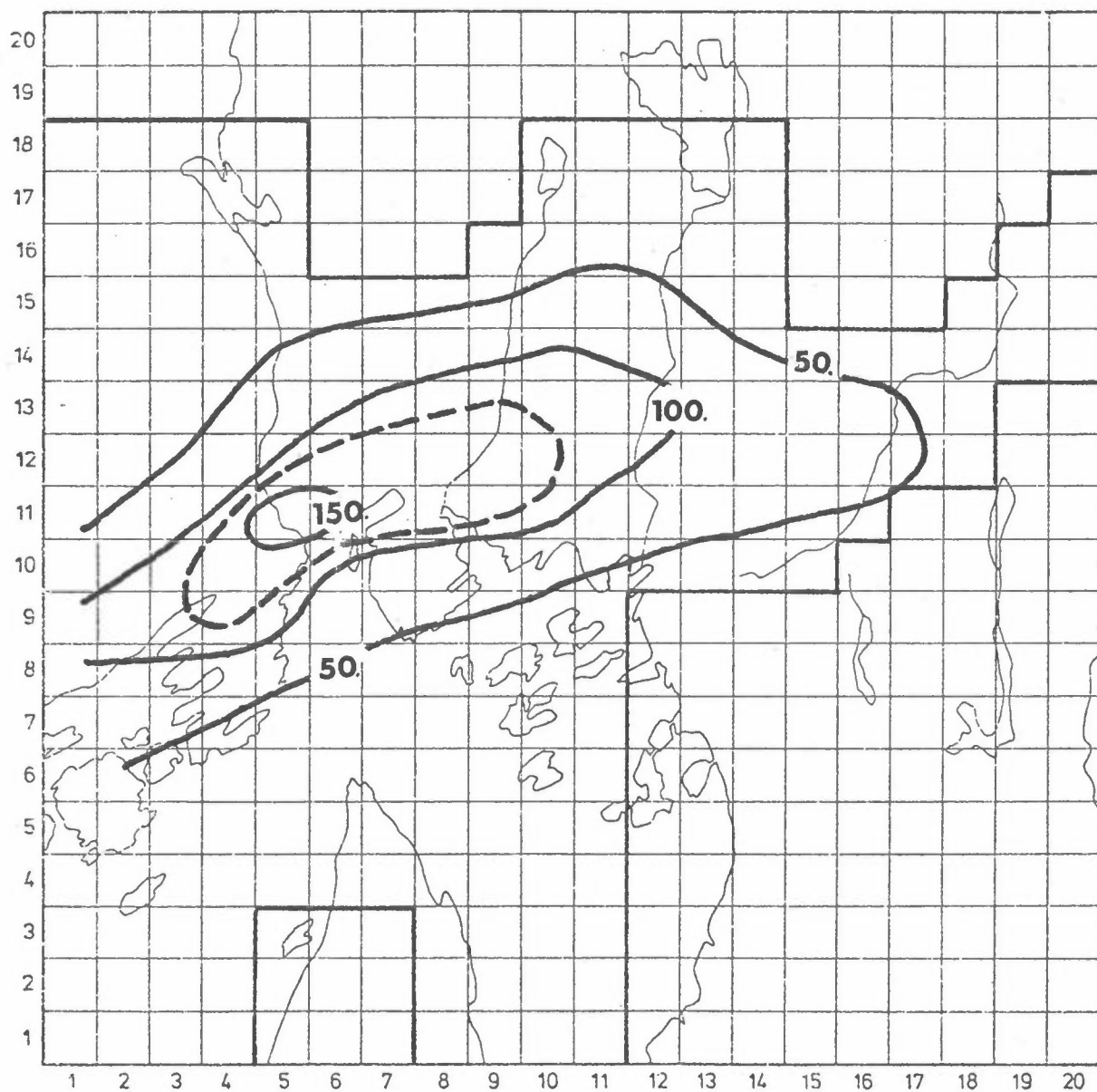
Vindforholdene kan endre seg fra et episodedøgn til et annet. Dette vil igjen endre på fordelingen av forurensninger. Resultatet av beregningene viste maksimalverdier for SO_2 over sentrumssonen. For svevestøv og nitrogenoksyder beregnet en maksimalverdiene i området ved Lysaker. Dette skyldes vind- og utslippsforholdene.



Figur 3.7: Maksimal 24t- SO_2 -konsentrasjon.

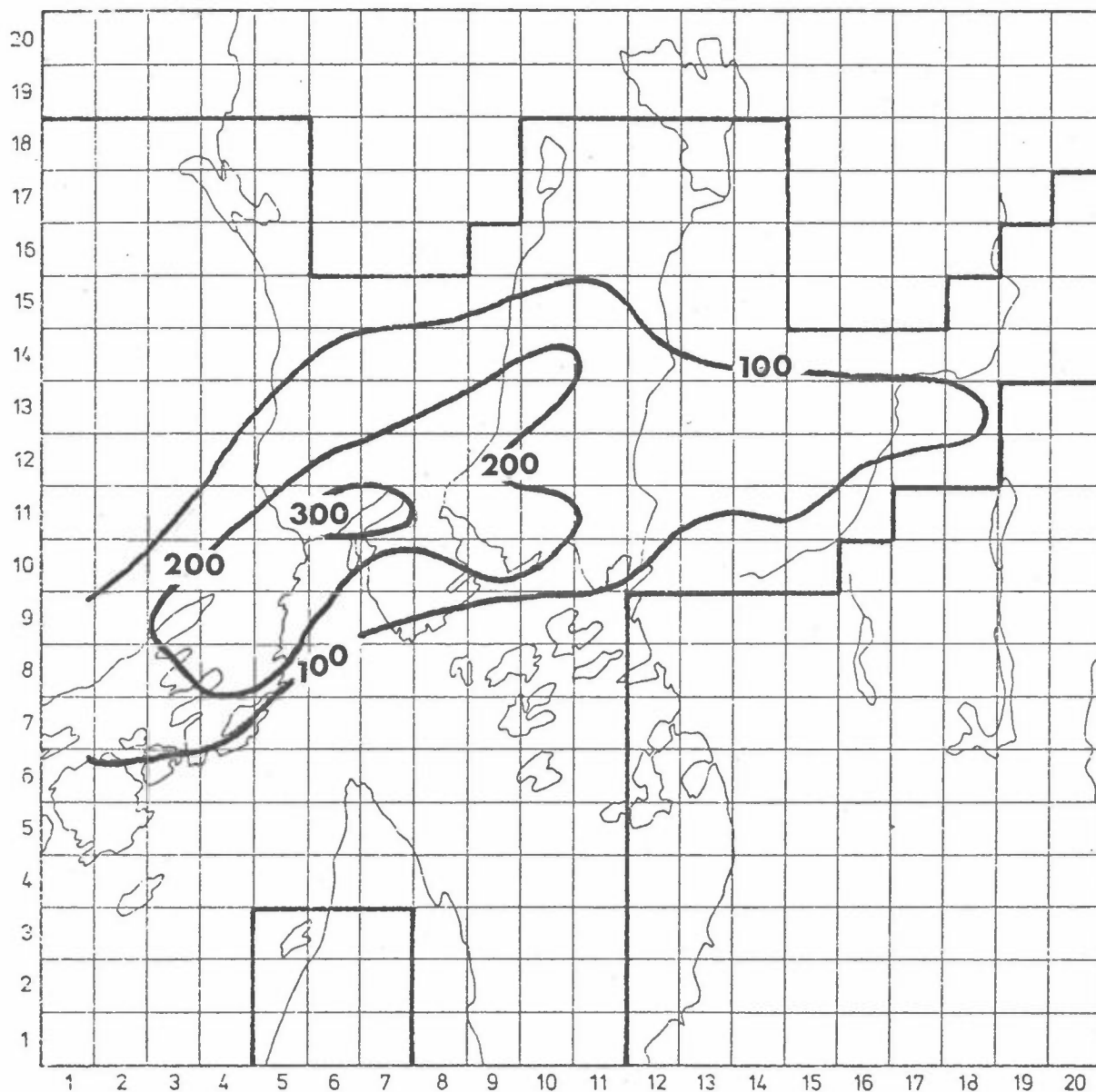
Enhet: $\mu\text{g}/\text{m}^3$

NB: I andre episodetyper vil maksimalverdiene kunne forekomme i andre deler av byen. Beregningsområdet i forurensningsepisoder er vist ved tykk strek.



Figur 3.8: Maksimal 24t- sot/svevestøvkonsentrasjon.
Enhet: $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

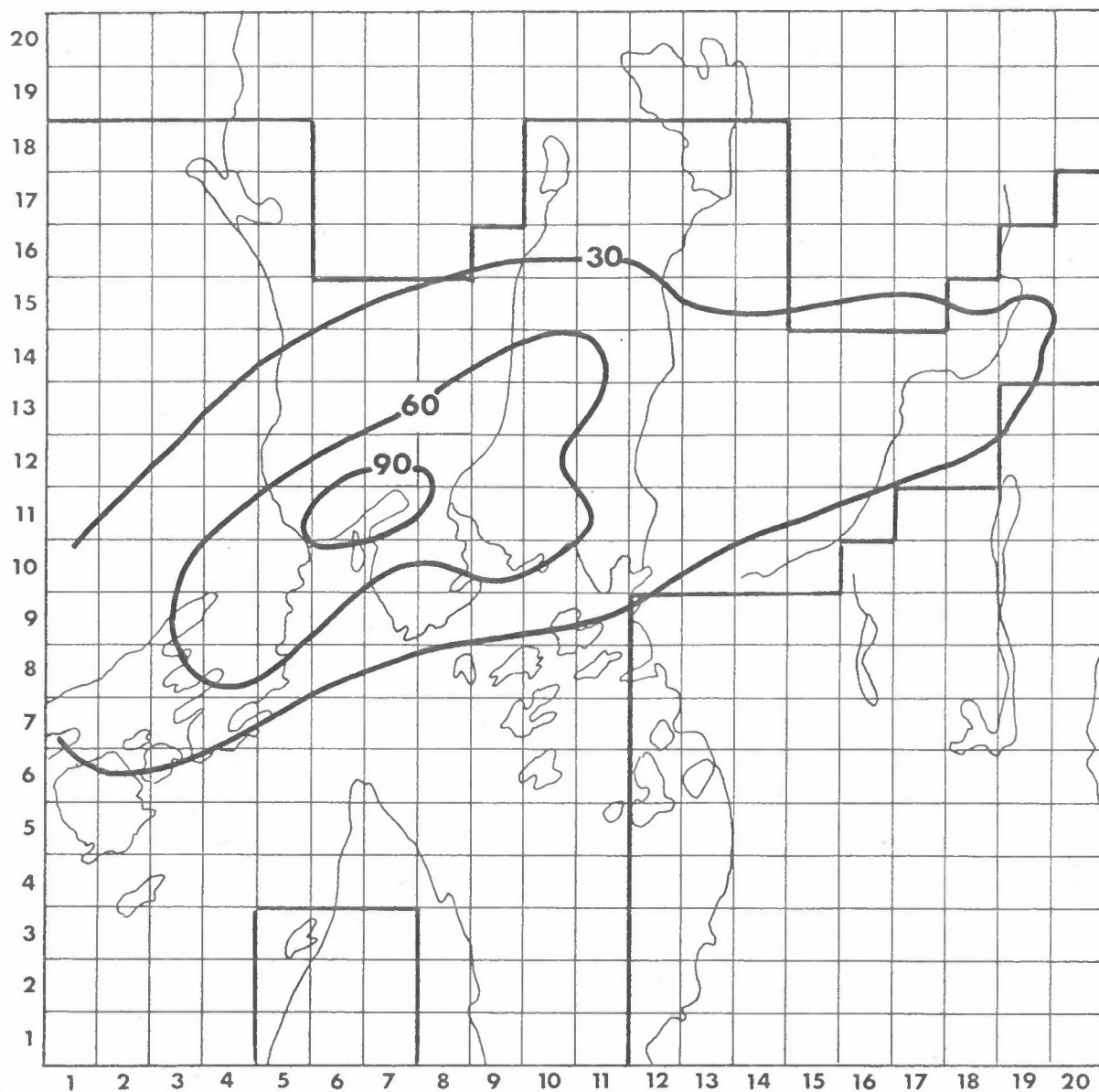
NB: I andre episodetyper vil maksimalverdiene forekomme i andre deler av byen. Beregningsområdet er avgrenset ved en tykk strek.



Figur 3.9: Maksimal 24t- NO -konsentrasjon.

Enhet: $\mu\text{g}/\text{m}^3$ som NO_2 .

NB: I andre episodetyper vil maksimalverdiene forekomme i andre deler av byen. Beregningsområdet er avgrenset ved en tykk strek.



Figur 3.10: Maksimal 24 t.- NO_2 -konsentrasjon.
Enhet: $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

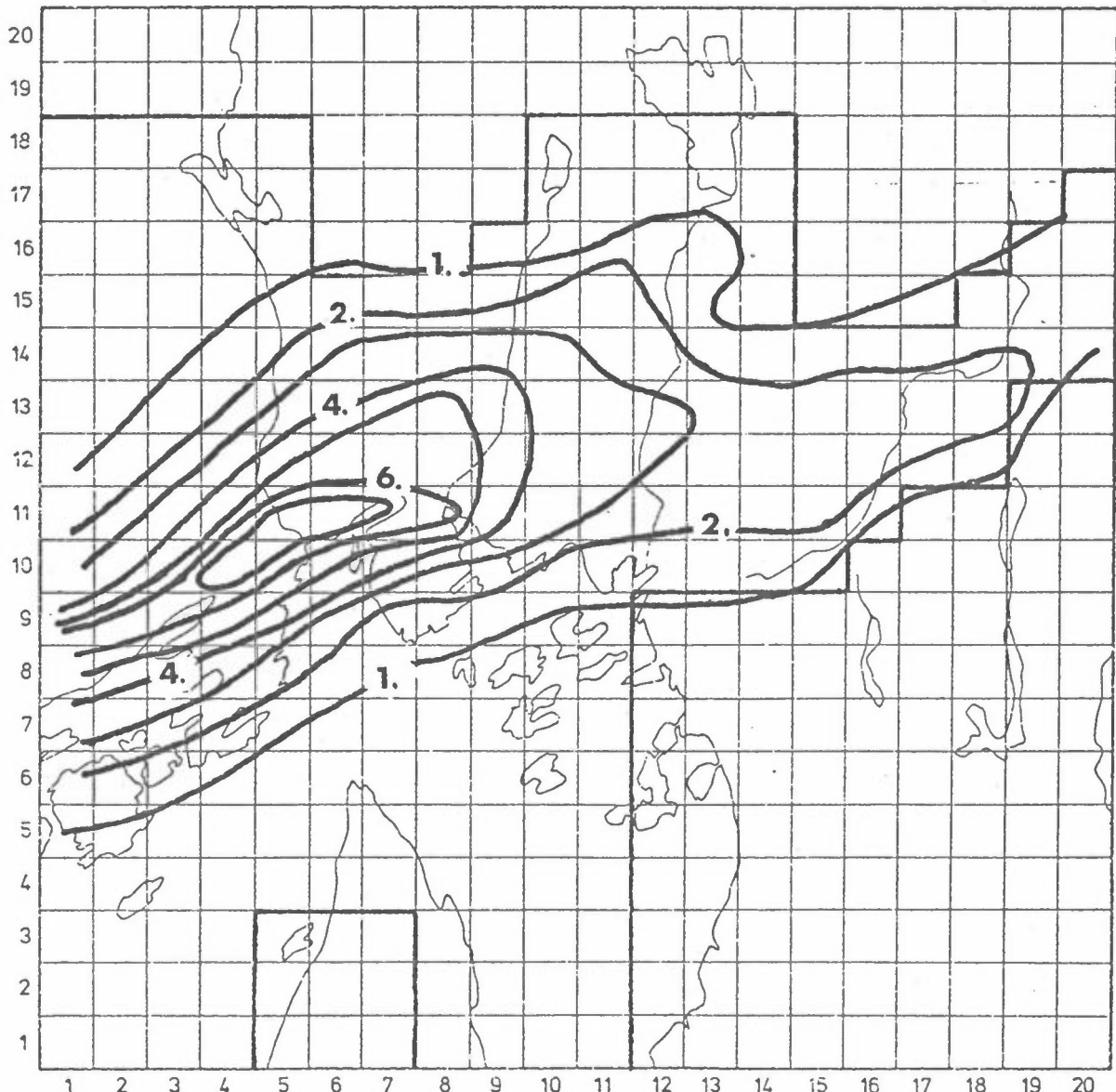
NB: I andre episodetyper vil maksimalverdiene forekomme i andre deler av byen. Beregningsområdet er avgrenset ved en tykk strek.

3.1.3 8-timers middelvei for karbonmonoksyd (CO)

Maksimalverdiene i episodene er vist i figur 3.11.

Kommentar:

CO-konsentrasjonene forårsakes vesentlig av bileksosen. For-
delingen av CO-konsentrasjonen skyldes utslipp og spredningsfor-
holdene om ettermiddagen det 9. episodedøgn. Verdiene viser at
middelkonsentrasjonen over km²-ruter kan være betydelig. Nær
Mosseveien vil en også lokalt finne høye konsentrasjoner. I
episodemodellen er ikke disse områdene innenfor beregningsområdet.
Verdien i km²-ruter vil være sammenlignbare med verdier som er
gitt for Groruddalen i episodene som er vurdert.



Figur 3.11: Maksimal 8 timers CO-konsentrasjon.
Enhet: mg/m³.

NB: I andre episodetyper vil maksimalverdiene kunne forekomme
i andre deler av byen.

3.1.4 Timesmiddelverdier

I figurene 3.12-3.16 er vist den høyeste timesmiddelverdien som ble beregnet i episodene. Maksimalkonsentrasjonene fant en i sentrumssonen for SO₂ og i Lysaker-Fornebu-området for svevestøv/sot, NO_x, NO₂ og CO. Tilsvarende maksimalverdier vil en i andre situasjoner finne i sentrumssonen.

3.1.5 Sammendrag

SO₂: Beregningene indikerer at i sentrumssonen forekommer det overskridelser av de oppgitte grenseverdier (se tabell 1.1) for døgnmiddelverdier og for middelverdier i vinterhalvåret.

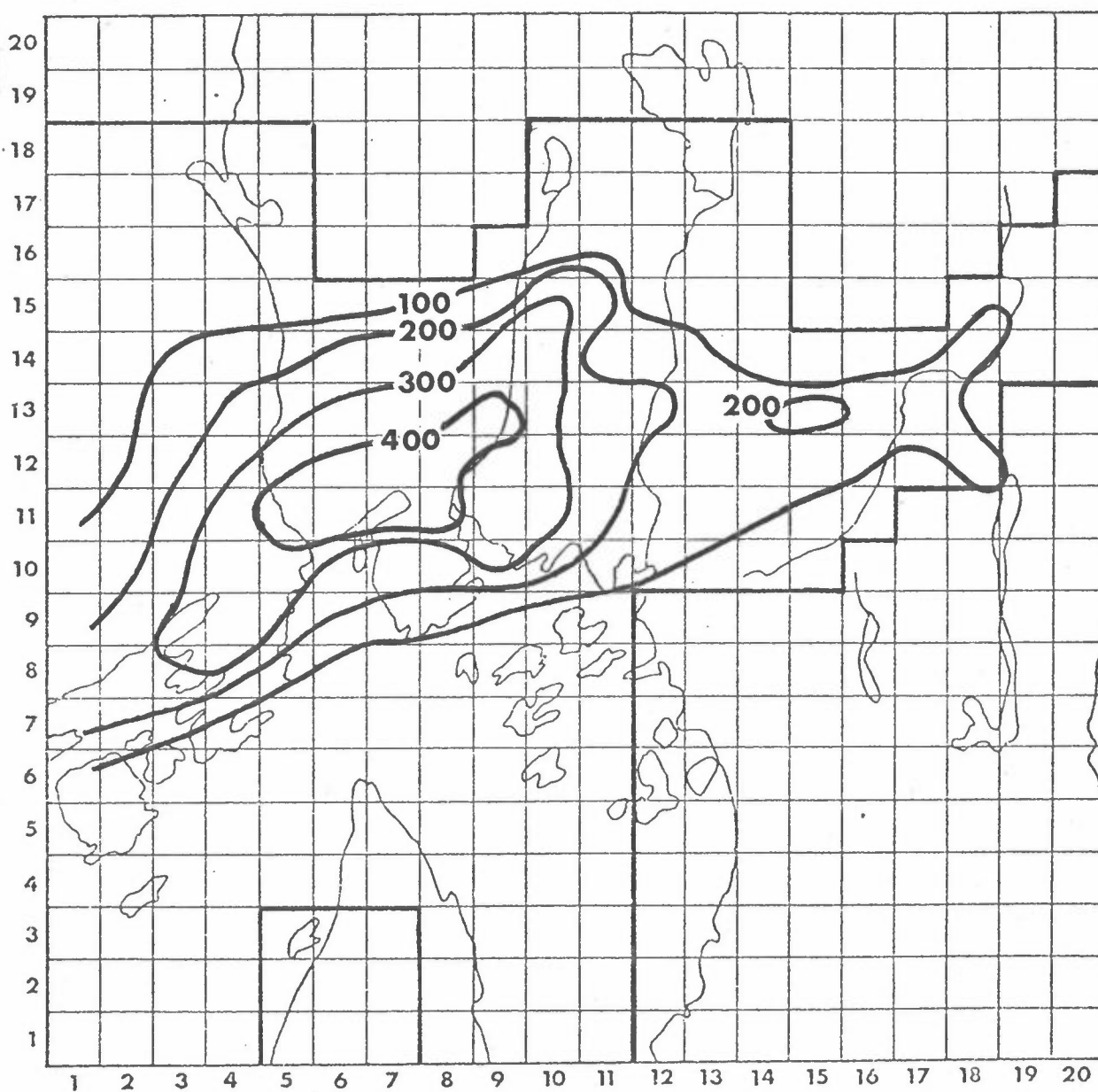
Svevestøv: Maksimalkonsentrasjonene forekommer i samme område som for SO₂, og overskridelser forekommer for døgnmiddelverdier og halvårsmiddelverdier.

NO_x, NO₂ og CO: På grunn av bidraget fra biltrafikk forekommer de høyeste konsentrasjoner i rushtiden om ettermiddagen ved de sterkest trafikkerte utfartsårene. I tillegg kommer høye konsentrasjoner i sterkt trafikkerte gater som omtales senere. Overskridelser av rådgivende grenseverdier for CO og NO₂ vil bare forekomme nær store trafikkårer. Bidraget fra nærliggende stasjonære kilder må imidlertid tas med i vurderingen.

Når en vurderer resultatet av beregningene finner en grunn til å peke på mulige feilkilder på grunn av forutsetningene som er innarbeidet i beregningsmetodene:

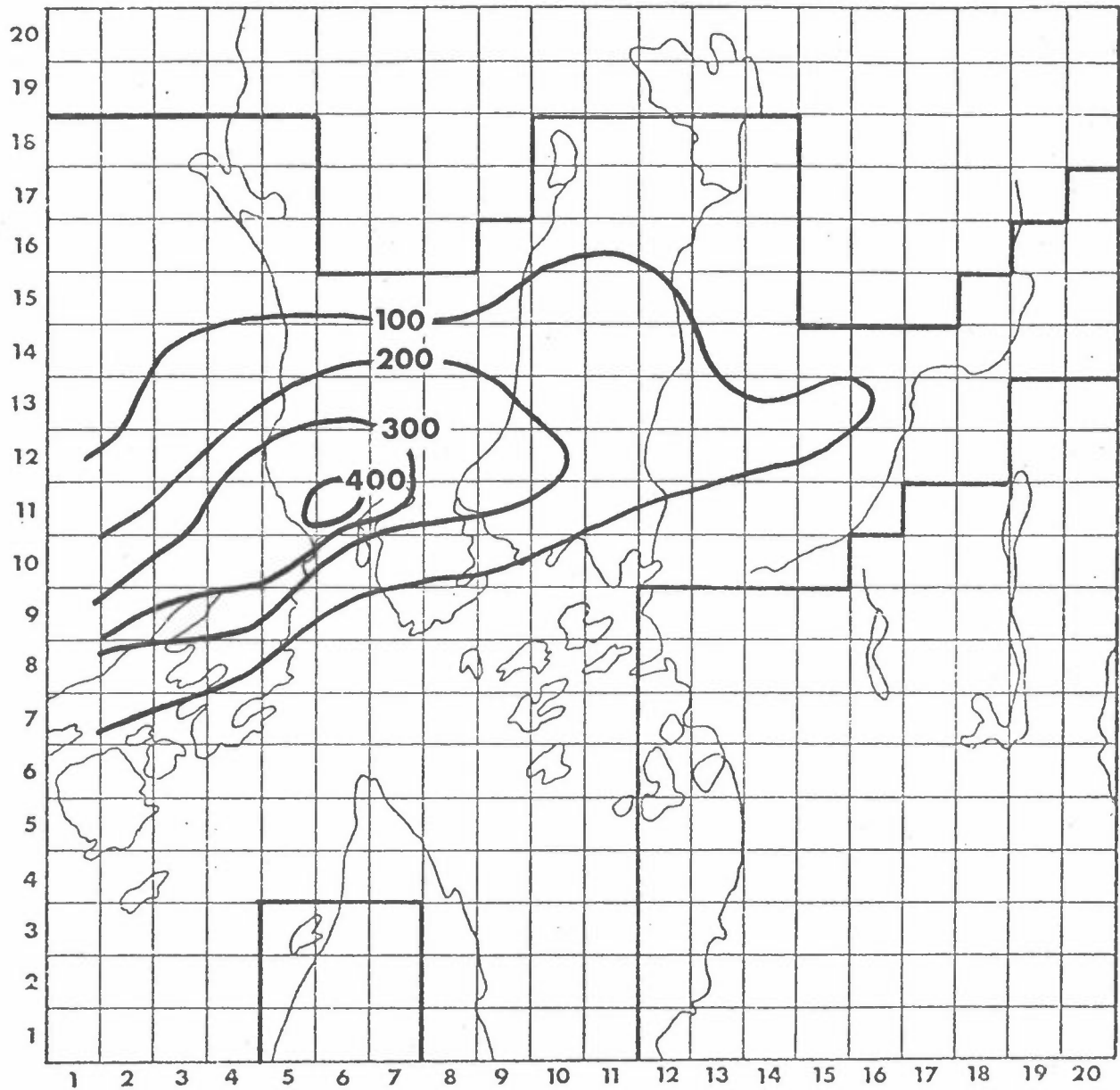
- a. Forutsetninger om bedre vertikalspredning i sentrumssonen enn i omgivelsene.
- b. Forurensning fra biltrafikk slippes ut ved bakken og kan få større betydning for konsentrasjonene ved bakken enn fyringsutslippene over hustakene i forurensningsepisoder (se pkt. 5.2).

Punkt a kan føre til for høye konsentrasjoner utenfor sentrums-sonen, særlig på grunn av forurensningsutslipp ved Drammensveien. Punkt b kan føre til at de beregnete maksimalkonsentrasjoner i sentrumssonen fra biltrafikken (CO, NO₂ og svevestøv er for lave. Modellen er utviklet og testet for SO₂-konsentrasjoner fra fyringsanlegg. Ved kontrollen av beregningene er en spesielt interessert i å etterprøve forutsetningene nevnt i punktene a og b.



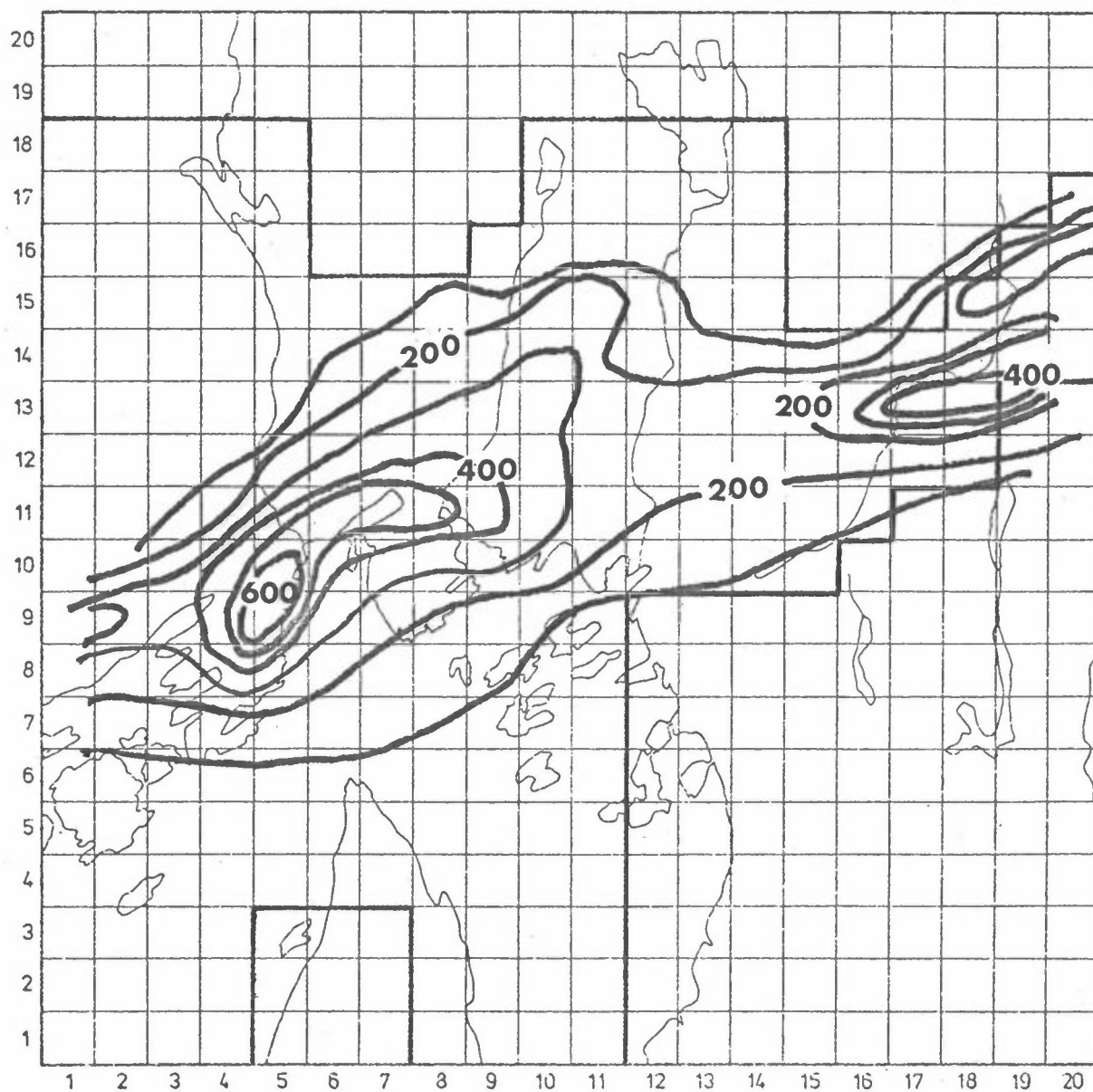
Figur 3.12: Maksimal 1 timesverdi for SO₂.
Enhet: µg/m³.

NB. I andre episodetyper vil maksimalverdiene forekomme i andre deler av byen.



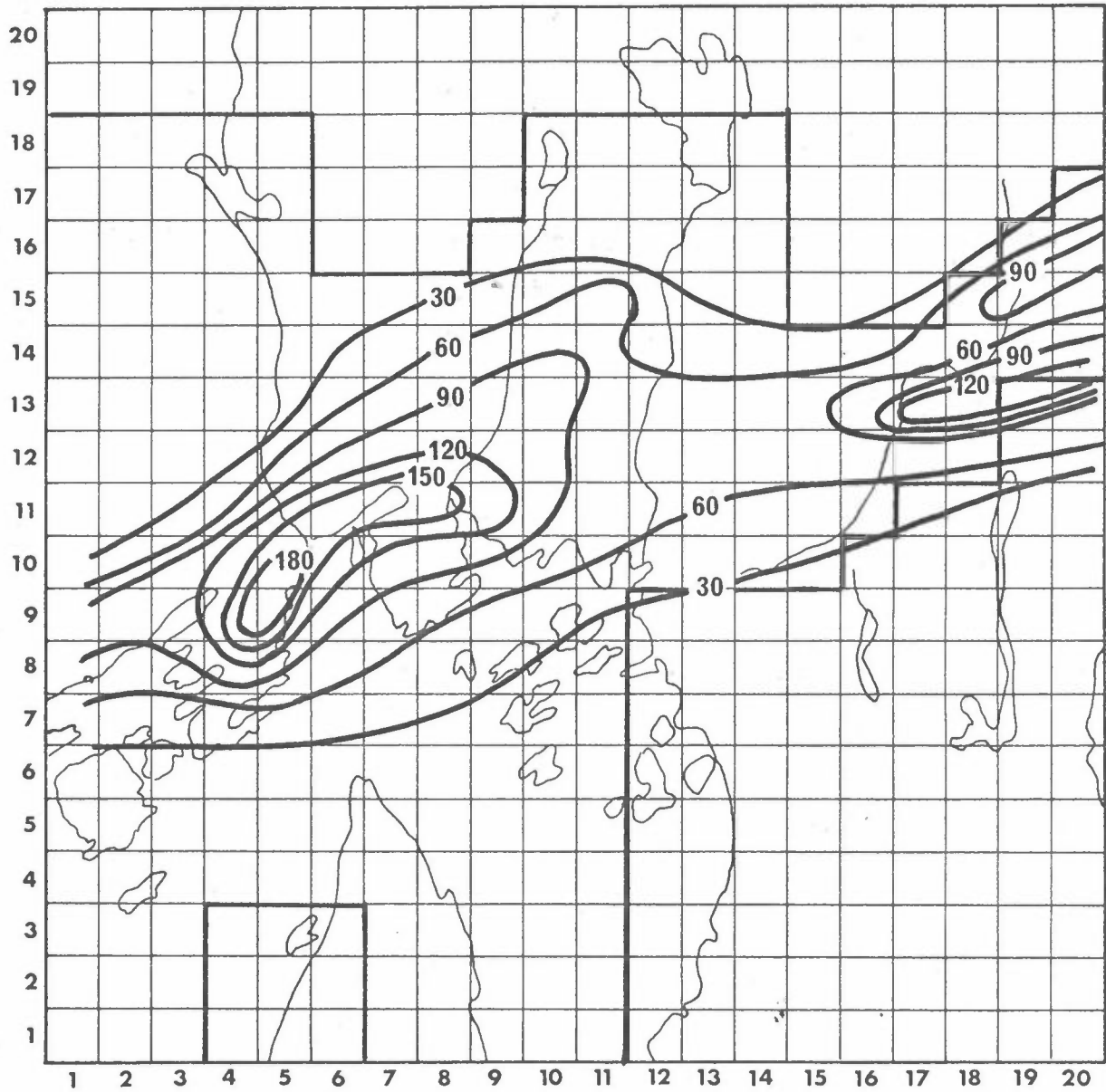
Figur 3.13: Maksimal 1 times verdi for støv.
Enhet: $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

NB. I andre episodetyper vil maksimalverdiene forekomme i andre deler av byen.



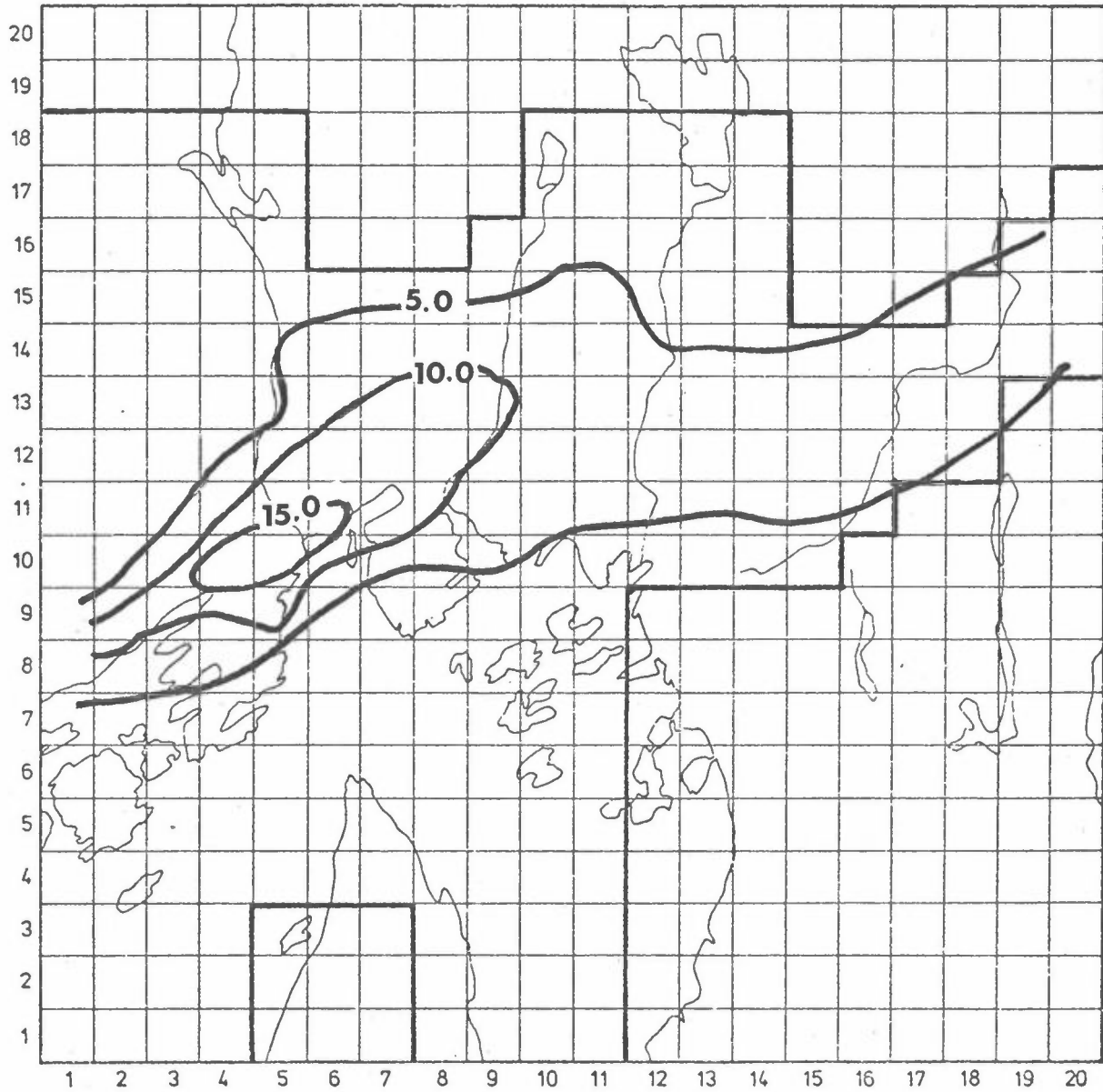
Figur 3.14: Maksimal 1 timesverdi for NO_x.
Enhet: µg/m³.

NB. I andre episodetyper vil maksimalverdiene forekomme i andre deler av byen.



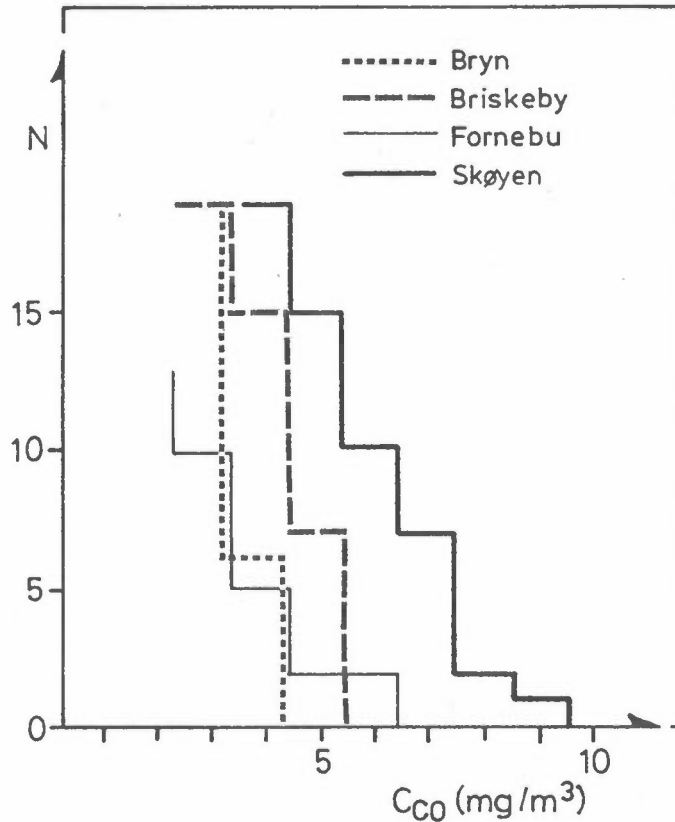
Figur 3.15: Maksimal 1 timesverdi for NO_2 angitt på grunnlag av beregnede NO_x konsentrasjoner (30% foreligger som NO_2) (35).

NB. I andre episodetyper vil maksimalverdiene forekomme i andre deler av byen.



Figur 3.16: Maksimal 1 timesverdi for CO.
Enhet: mg/m³.

NB. I andre episodetyper vil maksimalverdiene forekomme i andre deler av byen.



Figur 3.17: Midlere CO-konsentrasjon over km²-ruter. Antall beregnede verdier i 10 episodedøgn (30 8-timesperioder) over konsentrasjonsverdier angitt langs den horisontale akse.

3.1.6 Frekvensen av høye konsentrasjoner.

For å belyse frekvensen av høye konsentrasjoner i ulike deler av byen har en vedlagt kart over antall verdier som er høyere enn angitte konsentrasjoner. Antallet som er bestemmende for den øverste delen av frekvensfordelingen er vist i vedlegg D.

I figur 3.17 er vist antall beregnede 8-timers CO-verdier over angitte grenser i forskjellige deler av Oslo-området. På grunnlag av data gitt i vedlegg D kan en tegne tilsvarende kurver for andre forurensningskomponenter og andre midlingstider. De beregnede verdiene angir middelverdien i km²-ruter.

Når det gjelder de lave verdiene ved Bryn kan dette skyldes spesielle valg av blandingshøyder. I enkelte områder nær sterkt trafikkerte veier er konsentrasjonene høyere. En finere oppdeling av beregningsområdet er nødvendig for å få med slike effekter.

3.1.7 Beregning av fotokjemiske reaksjoner - dannelse av ozon

Beregninger ved hjelp av en kombinert kjemi/transportmodell viser virkningen av lokale kilder på høye ozonkonsentrasjoner som føres med vinden inn over området sommerstid (se Vedlegg E).

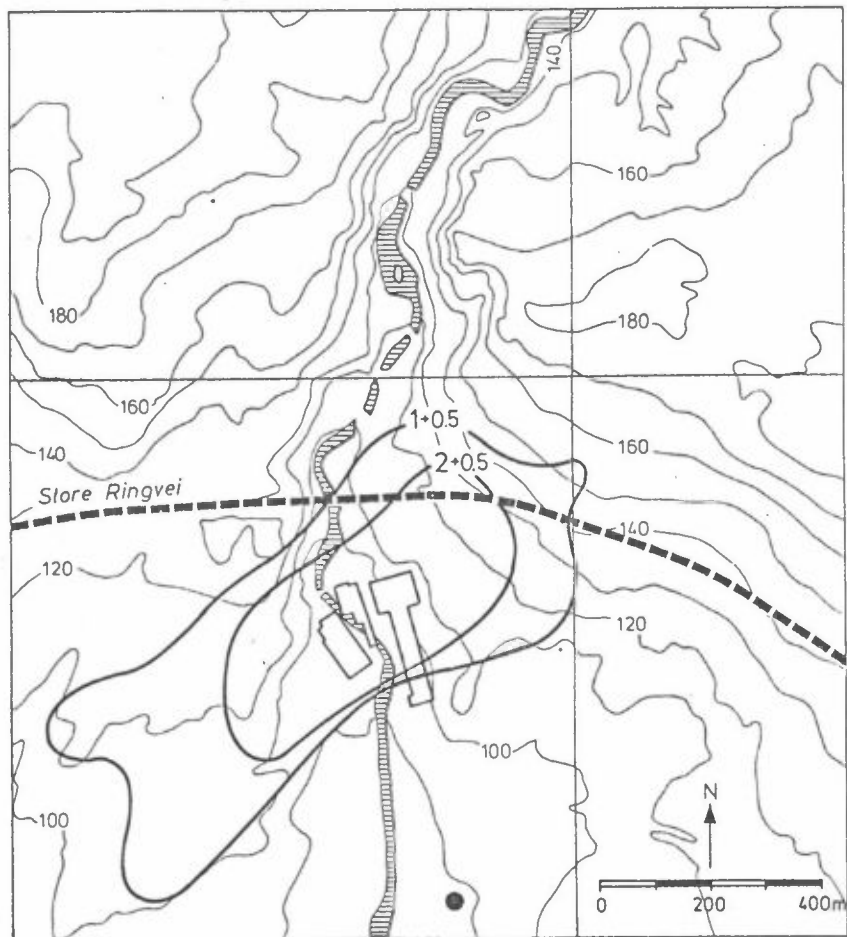
1. I middel over Oslo-området skjer det en nedbryting på $12 \mu\text{g O}_3/\text{m}^3$ over byområdet mens overskuddet på lesiden er ca $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$. I sentrumssonen anslås nedbrytingen til å være ca $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Ozoninnholdet i luften som kommer inn over Oslo er i dette tilfellet ca $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ved bakken, ca $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ i 12 m høyde (jfr. Vedlegg E).
2. Midlere NO_2 -konsentrasjon over Oslo-området er ca $16 \mu\text{g}/\text{m}^3$. I maksimalsonen anslås verdiene til ca $30 \mu\text{g NO}_2/\text{m}^3$. ($4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ i luften som kommer inn over Oslo).
3. En økning eller reduksjon av HC-utslippet har liten virkning på O_3 -konsentrasjonen. Hvis imidlertid både HC og NO_x -utslippene halveres blir NO_2 -overskuddet og dermed O_3 -dannelsen halvert.

Ozon-nedbrytning over byområdet er uavhengig av ozoninnholdet i luften som kommer inn over byen, forutsatt at ozonkonsentrasjonene overstiger NO -konsentrasjonene.

3.2 Lokal forurensning rundt punktkilder

Ved beregning av langtidsmiddelverdier i km^2 -ruter er det regnet med 12 punktkilder. Fra hver av disse punktkildene brer forurensningen seg ut som røykfaner fra de enkelte skorsteiner. Røyken når bakken og gir maksimale konsentrasjoner i en viss avstand fra skorsteinen. Maksimalkonsentrasjonene og avstanden til maksimumssonen vil variere med de meteorologiske forhold. For hver av de 12 kildene er disse verdiene oppgitt og vist i figurer i Vedlegg F.

Som eksempel viser figur 3.18 3-måneders middelverdier for bly rundt Spigerverket. Utslippsverdiene er usikre (0.5 kg Pb/time som middel i 3 vintermåned). Verdiene bør kontrolleres ved sammenlignbare målinger. Ved Betzy Kjeldsbergs vei ble det i mai/juni 1980 registrert ca $1.8-1.9 \mu\text{g Pb}/\text{m}^3$ som døgnmiddelverdier i en



Figur 3.18: 3-måneders midlere Pb-konsentrasjon nær Spigerverket, basert på modellberegninger i 3 vintermåneders med mange forurensnings-episoder. Ifølge data fra Spigerverket (37) er midlere bly-utslipp ca 20% høyere enn de verdiene som er anvendt i denne undersøkelsen. Dette vil resultere i tilsvarende høyere konsentrasjoner.

Enhet: $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Bakgrunn: $0.5 \mu\text{g Pb}/\text{m}^3$. Nær Store Ringvei vil belastningen være høyere.

● : Plassering av vindmåler. Data fra denne er benyttet i beregningene.

periode med sterk vind (3-5 m/s) hovedsakelig fra verket mot målestasjonen. Våre beregninger for andre enkeltkilder tyder videre på at pipehøyder og utslippsbetingelsene forøvrig er tilfredsstillende og at enkeltkildene gir små bidrag til konsentrasjonsnivået ved bakken. Dette gjelder særlig i forurensningsepisoder.

Resultatene viser at med noen få unntak betyr enkeltkildene lite for forurensningsbelastningen i Oslo.

3.3 Lokal forurensning langs trafikkerte gater

Beregningen av lokal forurensning ved gater er basert på en beregningsmetode for gater med tette fasaderekker, utviklet på grunnlag av resultater av målinger langs trafikkerte gater i Norge (4). Det er innhentet et underlagsmateriale for trafikk tetthet og gate- og fasad dimensjoner for alle gater i Oslo med trafikk tetthet større enn 7000 biler/døgn (ÅDT). Underlagsmaterialet og beregningene er beskrevet i Vedlegg G.

Beregningene er i hovedsak utført for gatekvartaler lengre enn 40 m med tette fasaderekker langs begge sider. Basert på overslagsberegninger er ca 120 kvartaler tatt ut for beregning. De øvrige kvartaler vil ha et forurensningsnivå på høyde med eller lavere enn de minst forurensede som er beregnet.

Trafikkårer med fasaderekke på én side eller uten tett bebyggelse er ikke tatt med. Dette gjelder f.eks. E18, E6 og større deler av ytre og indre riksvei. Markeringene på kartene (figurene 3.19-3.25) gir derfor ikke et fullstendig bilde av forurensnings situasjonen langs gater og veier i Oslo. Ved å ta gatene med tette fasader, regner en imidlertid med å få med i eksponeringsberegningene de fleste boliger som opplever sterk forurensning. Boliger langs åpne veier, og langs gater med fasaderekker bare på én side, vil imidlertid kunne gi et visst bidrag til antall eksponerte mennesker langs gater, som ikke kommer med i eksponeringsberegningene.

I figurene 3.19 og 3.20 er vist maksimale timesmiddelkonsentrasjoner og maksimale 8-timersverdier for CO. Figurene viser at de sterkest trafikkerte gatene får verdier over angitte grenseverdier. I øvrige gater vil maksimalverdiene i episoder være sammenlignbare med de maksimale verdiene som er beregnet i km²-rutene.

Figur 3.21-3.25 viser henholdsvis timesverdier og halvårsmiddelverdier for NO₂, maksimale døgnmiddelverdier og halvårsmiddelverdier for sot og 3 måneders middelverdier for bly.

Også for disse komponenter er det overskridelser av normer i de mest trafikkerte gater.

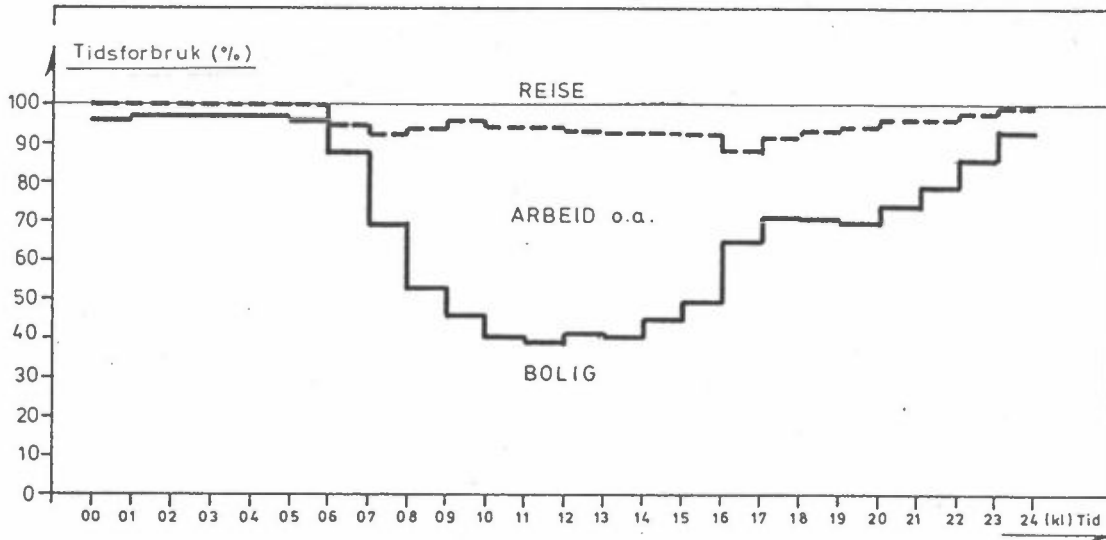
Det er trolig at den beregningsmetode som er benyttet overvurderer maksimale korttidsverdier (1h, 8h, 24h) noe i gater med høye fasader, der fasadehøyden er større enn 1.5-2.0 ganger gatens bredde. Tilsvarende undervurderes korttids maksimalverdier trolig noe, når fasadehøyden er lav ($H/B < 1.0$).

4 EKSPONERINGSBEREGNINGER

Fra Oslo kommune har en fått data angående fordeling av boliger og av arbeidsplasser i byområdet (12) og (13). Tidsnyttingsundersøkelsen (14) angir den prosentvise del av befolkningen som er henholdsvis i sin bolig, på arbeid eller på reise (se fig. 4.1). På grunnlag av antall boliger, antall arbeidsplasser og fordeling av trafikkarbeid har en beregnet hvor stor del av Oslo's befolkning som er innen hver km² i Oslo til forskjellig tid på døgnet. Med utgangspunkt i forurensningskartene (se kapittel 3) er det angitt hvor mange personer som oppholder seg i områder hvor forurensningskonsentrasjonen overstiger nivåer som vist i tabell 4.1.

Tabell 4.1: Grenseverdier som er vurdert..

	Enhet	Midlingstid				
		1 h	8 h	24 h	3 mnd	½ år
SO ₂ og Svevestøv	µg/m ³	200		100		40
		300		150		60
		400		200		80
		600		300		160
NO ₂	µg/m ³	200		100		40
		300		150		70
		400		200		100
		600		300		150
CO	mg/m ³	10	5			
		15	7			
		25	10			
O ₃	µg/m ³	80				
		120				
		200				
		400				
Bly	µg/m ³				0.5	
					1.0	
					1.5	
					2.0	



Figur 4.1: Prosentvis andel av Oslos befolkning som oppholder seg i eller ved sin bolig(Bolig), på sitt arbeidssted eller annet sted utenfor boligen (Arbeid o.a.), eller på reise(Reise). Gjennomsnitt av den prosentvise andel for hverdager er vist som funksjon av tid på døgnet.

4.1 Befolkningseksponering for midlere km^2 -konsentrasjoner.

Befolkningseksponeringen estimeres ved å benytte middelerverdier over km^2 -ruter. En forutsetter at alle mennesker i rutene utsettes for middelkonsentrasjonen i ruten.

Begrensede områder innen km^2 -ruten kan ha vesentlig høyere konsentrasjoner enn middelerverdiene. Dette gjelder særlig:

- i sterkt trafikkerte gater.
- ved store punktkilder.

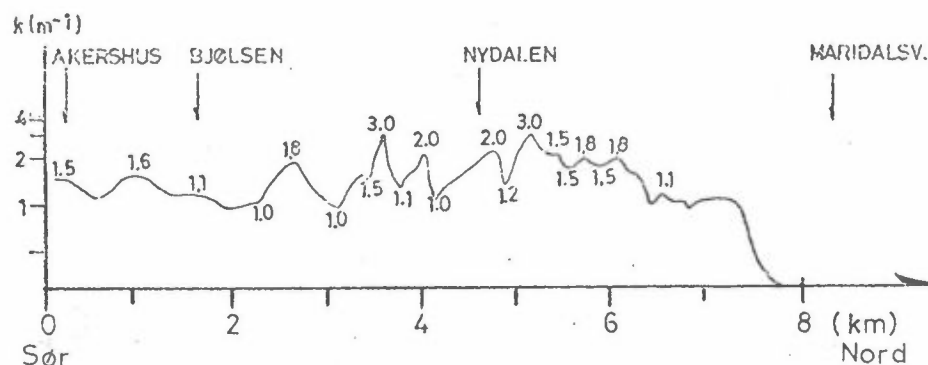
Befolkningseksponeringen i disse områdene er vist ved stiplet linje i figurene 4.6, 4.7, 4.8, 4.10, 4.11, 4.12 og 4.13.

I størstedelen av km^2 -rutene vil imidlertid konsentrasjonene være ubetydelig lavere enn middelerverdien for ruten.

Når det gjelder store enkeltkilder vil den forurensede luften dreie med vinden og belaste ulike deler av området til ulike tider. Resultatene av enkeltkildeberegningene viser imidlertid at det er få maksimalsoner på lesiden av enkeltkilder som er av betydning i forhold til arealmiddelkonsentrasjonen ved bakken.

Variasjoner i konsentrasjonsfordelingen - virkningen på befolkningseksposeringen

For å belyse variasjonen i konsentrasjonene høyere oppe i atmosfæren vises i figur 4.2 resultater fra flymålinger over Oslo ved bruk av et nefelometer. For dette formål kan en si at konsentrasjonen av partikler i atmosfæren er proporsjonal med utslagene på instrumentet.



Figur 4.2: Kontinuerlig registrering av koeffisienten for lysspredning ca. 100 m over bakken i Oslo (16) i et snitt fra Oslofjorden i sør til Maridalsvannet i nord.

Benytter en formelen for sammenhengen mellom partikkelmassen og spredningskoeffisienten (16) finner en at det er fluktuasjoner i svevestøvkonsentrasjonen på $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ med en romlig utstrekning på noen hundre meter. Slike fluktuasjoner kan ikke forklares med en modell med km-oppløsning. Ut fra kjennskapet til vindfluktuasjonene kan en vente at konsentrasjonsfluktuasjonen som ikke beskrives av modellen har en varighet på ca $\frac{1}{2}$ time eller mindre ved en fast målestasjon.

Disse fluktuasjonene som må behandles ved stokastiske metoder er små i Oslo i forhold til mange andre byer med store enkeltkilder.

Data for befolkningseksponering

Beregnete konsentrasjoner vist i figurene 3.1-3.16 er benyttet sammen med befolkningsdata til å angi hvor mange mennesker som utsettes for konsentrasjoner over bestemte grenseverdier (se figur 4.1). Resultatene er vist i tabell 4.2 for maksimale timesmiddelverdier, i tabell 4.3 for maksimale døgnverdier og i tabell 4.4 for langtidsmiddelverdier. Beregnede blyverdier over $1.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ er representative for en ca 200 m bred sone omkring innfartsårene til Oslo. Dette skyldes beregningsmetoden slik den er anvendt ved blyberegningene. Antall mennesker som utsettes for slike blykonsentrasjoner ved sine boliger er derfor justert i samsvar med dette. Data for befolkningseksponering i andre episodedøgn er vist i vedlegg D (se tabellene D2-D9). Tabellene viser at det er store fluktuasjoner fra døgn til døgn i maksimalkonsentrasjonene og dermed i tallene for befolkningseksponeringen. Den maksimale timeskonsentrasjonen skyldes sammentreff av store utslipp, vindstille og dårlige vertikale spredningsforhold. Slike kombinasjoner forekommer sjelden og det er knyttet stor usikkerhet til konsentrasjonsberegningene. En må regne med at de beregnede verdiene vil forekomme, men frekvensen er vanskelig å anslå. Frekvensen av inversjoner (med dårlig vertikalutveksling) er bare et grovt mål for variasjonen i antall episoder fra år til år.

Tabell 4.2: Antall mennesker i områder av byen med høye forurensningskonsentrasjoner (maksimale timesmiddelverdier) regnet som middelkonsentrasjoner i km²-ruter.
Enhet: 10³ personer.

For SO ₂ , svevestøv og NO ₂ (0.3 NO _x)				
Konsentrasjon (µg/m ³)	Over 600	400-600	300-400	200-300
SO ₂ ¹⁾		24.8	66.1	144
Svevestøv /sot ¹⁾		2.53	40.8	110
NO ₂ (0.3 NO _x)		-	-	
For CO				
Konsentrasjon (mg/m ³)	15-25	10-15		
CO	4.3	19.7		
1) De oppgitte data innebærer ikke at det nødvendigvis er de samme mennesker som samtidig utsettes for så høye nivåer både av SO ₂ og svevestøv. Det er imidlertid en god sammenheng mellom SO ₂ og svevestøv.				

I samsvar med resultatene gitt i kapittel 3, vil de fleste mennesker i Oslo utsettes for maksimale timesmidlere ozonkonsentrasjoner mellom 120 og 200 µg/m³. Dette skjer i episoder med maksimale ozonkonsentrasjoner over Østlandsområdet. Ved sentrums-sonen er sannsynligvis nedbrytningen av ozon så effektiv at maksimalkonsentrasjonen bare når opp i verdier i området på 80-120 µg O₃/m³.

På lesiden av Oslo-området vil det skje en nydannelse av ozon på grunn av lokale utslipp (se vedlegg E), slik at maksimale timesverdier sannsynligvis er over 200 µg/m³. Dette er noe lavere enn maksimale måleverdier fra Maridalen (29). Beregningene indikerer at slike konsentrasjoner vil berøre maksimalt mellom 10 000 og 50 000 mennesker. Beregningsmetoden gir ikke grunnlag for nærmere angivelse av antallet, som er grovt anslått på grunnlag av antall mennesker som bor i ytterkanten av by-området på nordsiden av Oslo sentrum. Ozonkonsentrasjonen i dette området bør registreres ved målinger.

Tabell 4.3: Antall mennesker i områder av byen med høye forurensningskonsentrasjoner (maksimale døgnerverdier).
Enhet: 10^3 personer.

døgn C $\mu\text{g}/\text{m}^3$	300-400	200-300	150-200	100-150
SO ₂	7.4	62.8	63	82
Støv			3.5	105
NO ₂				2.4

Tabell 4.4: Antall mennesker som bor i områder av byen som har høye forurensningskonsentrasjoner (langtidsmiddelverdier).

	Konsentrasjon $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Antall personer 10^3 personer
For $\frac{1}{2}$ års midlere SO ₂	over 160	0
	80-160	0
	60- 80	59.2
	40- 60	175.4
For $\frac{1}{2}$ års midlere svevestøv- konsentrasjoner	over 160	0
	80-160	0
	60- 80	0
	40- 60	85.4
For $\frac{1}{2}$ års midlere NO ₂ -konsentrasjoner	over 150	0
	100-150	0
	70-100	0
	40- 70	38.5
For maksimal * 3 måneders bly- konsentrasjon	over 2	0
	1.5 - 2	5 /5=1
	1.0 - 1.5	19.5 /5=3.9
	0.5 - 1.0	281.1

* Verdier over $1 \mu\text{g Pb}/\text{m}^3$ angir beregnede verdier ved store innfartsårer til Oslo. Disse verdiene er representative for en ca 200 m bred sone ved innfartsårene, ikke 1 km. Vi har tatt hensyn til dette ved å dividere antall eksponerte personer i denne gruppen med fem.

4.2 Eksponering ved store punktkilder

Beregningene viser at ved normale utslippsforhold bidrar enkeltkilder lite til forurensningseksponering. Knappt 100 personer som bor nær Spigerverket synes å være utsatt for midlere 3-måneders blyeksponering over $2.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (se pkt. 3.2). Antallet som eksponeres for mer enn $1.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ kan grovt anslås til ca 1000 personer.

4.3 Eksponering ved trafikkerte gater

På grunnlag av data fra Oslo byplankontor (13) har vi estimert antall mennesker som bor eller som har sitt arbeid i hus inntil gatestrekningene som er avmerket på figurene 3.19-3.25. Etter en første gjennomgang av dataene fant vi det rimelig å dele data for boliger og arbeidssteder inn i klasser som svarte til forurensningsklassene som er benyttet ved fremstilling av forurensning i gater. For tetthet av boliger og arbeidsplasser har en regnet med middelverdier som gitt i tabell 4.5. Det er videre regnet med like mange personer i hver etasje.

Dataene viser at i de mest forurensede gatene er det vanligvis mange arbeidsplasser, men få boliger. (Disse forekommer i sentrumssonen). Gater med mindre forurensning forekommer oftest utenfor sentrumssonen hvor det er færre arbeidsplasser og flere boliger. Ser en på summen av antall mennesker pr. lengdeenhet av gaten som bor eller arbeider i rom med vinduer ut mot forurensede gater er den nær konstant. Det er summen som benyttes ved beregning av eksponering for kortperiodiske konsentrasjoner. Det ville være nødvendig å gjennomføre en omfattende opptelling i de aktuelle gatene for å gjøre tallene vesentlig mer nøyaktige. Dersom en tenker på bruken av eksponeringsdata til vurdering av virkning på helse ville det være interessant samtidig å registrere helsetilstanden for denne gruppen av befolkningen.

Tabell 4.5: Midlere antall mennesker som bor og arbeider i rom med vinduer ut mot gaten. Klasseinndelingen er foretatt etter forurensningsgrad som er definert i figurene 3.19-3.21. Klasse 1 er sterkest forurenset. Klasse 3 er minst forurenset.

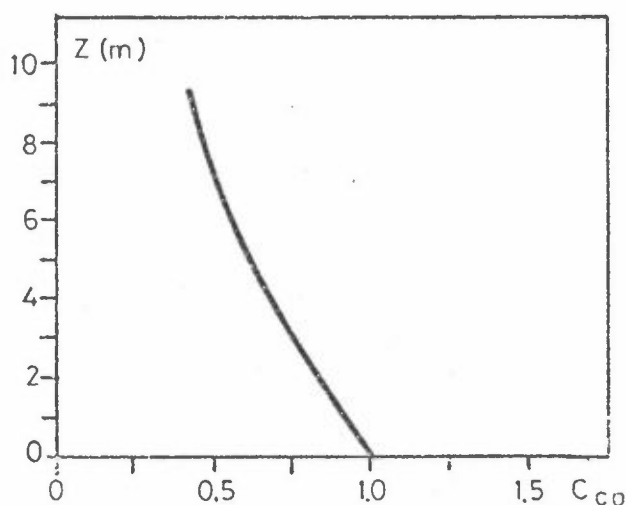
Klasse 1:	Boliger	0.5 personer/m
	Arbeidsplasser	2.5 " "
		3.0 personer/m
Klasse 2:	Boliger	0.8 personer/m
	Arbeidsplasser	2.5 " "
		3.3 personer/m
Klasse 3:	Boliger	1.2 personer/m
	Arbeidsplasser	1.5 " "
		2.7 personer/m

4.3.1 Utendørskonsentrasjoner

Ved vurdering av eksponering for langtidsmiddelverdier har en tatt hensyn til antall personer som bor ved gatene (se tabell 4.7).

Ved vurdering av eksponering for maksimale korttidskonsentrasjoner har en tatt hensyn til summen av mennesker som bor og som arbeider ved sterkt trafikkerte gater. Resultatene er vist i tabell 4.6.

Konsentrasjonsvariasjonen med høyden er gitt i samsvar med Georgiis data (31), som vist i figur 4.3.



Figur 4.3: Konsentrasjonen som funksjon av høyden i en sterkt trafikkert byggate (31).

På grunn av variasjonen med høyden er det vesentlig personer som bor i de laveste 3 etasjer som får en betydelig merbelastning.

Tabell 4.6: Antall mennesker som bor eller arbeider i hus ved gater med høye maksimale korttidskonsentrasjoner (timesverdier og 8-timesverdier).

CO-1 time	mg/m ³	45-60	35-45	25-35	15-25
	Personer	430	1080	2140	6900
CO-8 timer	mg/m ³	25-30	15-25	7-15	
	Personer	430	2790	7330	
NO ₂ - 1 time	µg/m ³	over 500	400-500	300-400	200-300
	Personer	40	400	780	4090

Tabell 4.7: Antall mennesker som bor i hus ved gater med høye døgn- og halvårsmiddelkonsentrasjoner.

Sot/støv	Døgn	µg/m ³	200-300	150-200	100-150	
		Personer	85	690	3470	
Sot/støv	0.5 år	µg/m ³	67-100	50-67	33-50	
		Personer	85	690	3470	
NO ₂	0.5 år	µg/m ³	100-150	70-100	40-70	
		Personer	105	555	6195	
Pb	3 mndr	µg/m ³	over 3.0	2.4-3.0	1.8-2.4	1.2-1.8
		Personer	20	100	710	3970

4.3.2 Innendørskonsentrasjoner

Konsentrasjonene innendørs er ofte lavere enn verdiene utendørs dersom det ikke er kilder til forurensningene innendørs. Forholdet mellom utendørs og innendørs konsentrasjon bestemt ved målinger, (se referansene (17), (20), (21), (22) og (32)) viser store variasjoner. Variasjonene er blant annet avhengig av hvor målingene er utført (f.eks. i og ved en sterkt trafikkert gate).

Disse forholdstallene er avhengig av en rekke faktorer i tillegg til utendørskonsentrasjoner (kilder og tap ved kjemiske reaksjoner, ventilasjonsinntak og ventilasjonsanleggets effektivitet). Modeller som beskriver virkningen av disse faktorene er laget (18). Sammenligning med målinger indikerer at innendørskonsentrasjonene kan beregnes med $\pm 20\%$ usikkerhet når det gjelder CO, NO og NO₂. Utendørskonsentrasjonen må da være kjent. Kort oppsummert gjelder følgende:

1. For ikke-reaktive stoffer som er det sannsynligvis ingen forskjell mellom utendørskonsentrasjonen ved luftinntaket og innendørs konsentrasjonen når det gjelder middelkonsentrasjonen over lengre tid enn husets karakteristiske ventilasjonstid.
2. For svakt reaktive stoffer som SO₂ indikerer resultatene at konsentrasjonen innendørs er lavere enn utendørskonsentrasjonen.
3. For stoffer som har kilder innendørs kan konsentrasjonene bli vesentlig høyere enn utendørsverdiene. Dette kan gjelde karbonmonoksyd, svevestøv, hydrokarboner og NO_x. Verdiene er avhengig av røykevaner, fyringsmetoder, renhold, bygningsmateriale osv.

I denne rapporten er eksponeringen beregnet på grunnlag av utendørskonsentrasjoner. Ved beregning av benzenbelastning har en benyttet noen få innendørs målinger. Inntaket for ventilasjonsanlegget må være uheldig plassert for at konsentrasjonen innendørs skal være like stor som verdiene beregnet for sterkt trafikkerte gater. For lite reaktive stoffer vil innendørskonsentrasjonen være lik middelkonsentrasjonen i luften som trekkes inn i bygningen.

Ved beregning av befolkningseksponering kan en benytte middelverdien i km²-ruter til dette formålet. De som bor inntil sterkt trafikkerte gater får en ekstrabelastning avhengig av hvor luftinntaket til leiligheten ligger.

Epidemiologiske undersøkelser brukes i noen undersøkelser til å klarlegge mulige effekter av luftforurensninger (f.eks. SO₂, sot, sulfat og NO₂). I disse undersøkelsene benyttes utendørs-målinger til å angi forurensningskonsentrasjonen som vil være sammenlignbar med beregningene som er benyttet i denne rapporten.

4.3.3 Eksponering i biler

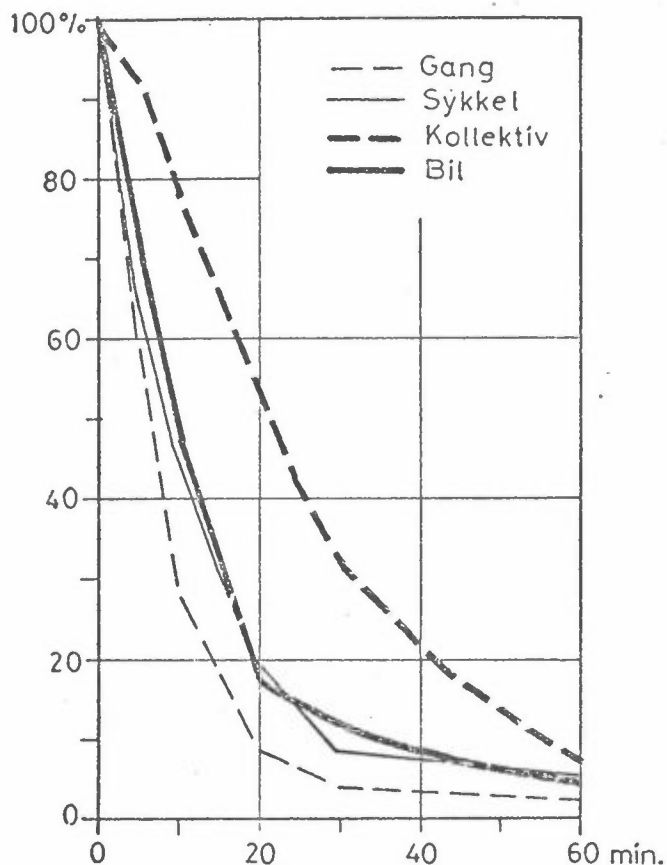
Forurensningskonsentrasjonen i biler kan betraktes ved de samme modeller som innendørskonsentrasjoner. Utendørskonsentrasjonene vil imidlertid variere i betydelig større grad ved at bilene beveger seg gjennom gater med ulik forurensningsgrad. H. Hæreid ved SFT har beskrevet disse forholdene i Oslo (Vedlegg H). Resultatene av beregningene er gitt i tabell 4.8.

Tabell 4.8: Noen beregnede verdier for bilister, eksklusive bakgrunn. (Beregningene bygger på målinger fra Tyskland og England.)

Kjøreforhold/rute	mg CO/m ³	Anslått antall personer
gjennomsnitt for vilkårlig bil i trafikk i et av årets verste døgn	22	-
middel for verste time i et av verste døgn	27-31 ^x	ca. 22.000
verste 8-timersmiddel for et av verste døgn	21	yrkes-sjåfører
verste trasé og time i et av de verste døgn	45	2-500

^xDet er ikke undersøkt hvor lang tid de 22.000 personer utsettes for den aktuelle eksponeringen. De to oppgitte verdier representerer middelverdien fra to alternative beregningsmetoder.

Når det gjelder antall personer som eksponeres for disse konsentrasjonene, bør en merke seg at eksponeringstiden vanligvis er kortere enn 1 time. Det er tidligere utført undersøkelser av reisetidens varighet (30). Resultatet fra Oslo-området er vist i figur 4.4.



Figur 4.4: Prosentvis andel av antall reiser som har en varighet over angitt tid. Det er gitt data for ulike reisemåter, (ref. 30).

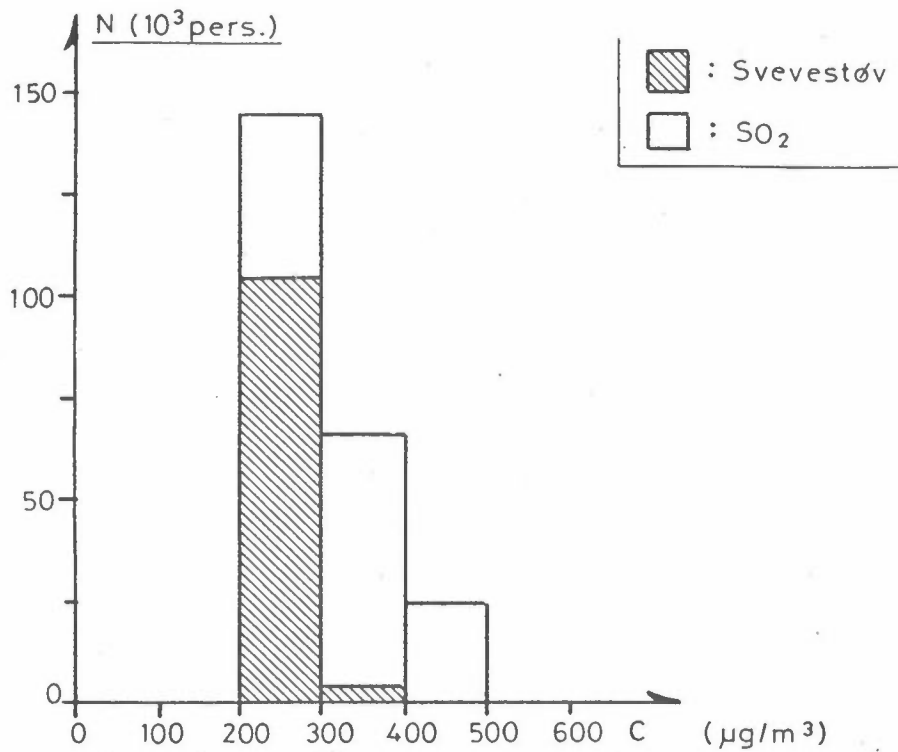
Som konklusjon kan en si at bilførere representerer en utsatt gruppe som er eksponert for høye konsentrasjoner av mindre varighet enn 1 time.

4.4 Sammenstilling av eksponeringsdata

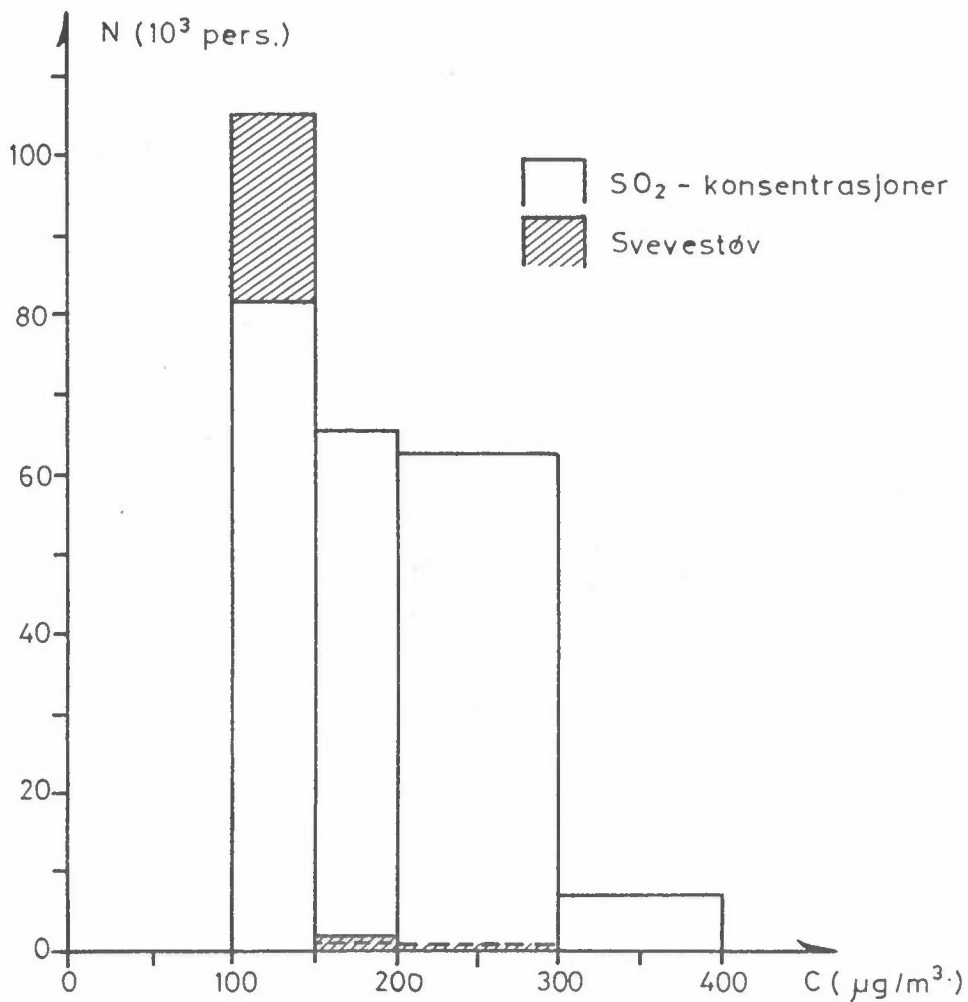
I og ved sterkt trafikkerte gater vil konsentrasjonene være høyere enn midlere km^2 -verdier. Det er imidlertid lite sannsynlig at folk vil være i disse sterkt belastede områdene i en time eller mer. Folk som bor eller arbeider ved sterkt trafikkerte gater, representerer likevel en utsatt gruppe som utgjør toppen av eksponeringskurven.

I figurene 4.5, 4.6 og 4.7 er vist antall mennesker som oppholder seg i områder med angitt SO_2 og svevestøvkonsentrasjon for henholdsvis timesverdier, døgnverdier og halvårsmiddelverdier. Endel mennesker som bor i områder hvor rådgivende normer for halvårsmiddelverdien overskrides, vil også utsettes for ekstreme døgnmiddelverdier og timesmiddelverdier som overskrider rådgivende grenseverdier. Verdier som er beregnet på grunnlag av gatemodellen er vist med stiplede linjer. Figur 4.5 gir befolkningseksponeringen både for SO_2 og for sot/svevestøv i episodedøgn nr. 6 kl 16. I maksimalsonen for SO_2 finnes det sterkt trafikkerte gater hvor det samtidig er maksimalkonsentrasjoner for sot/støv.

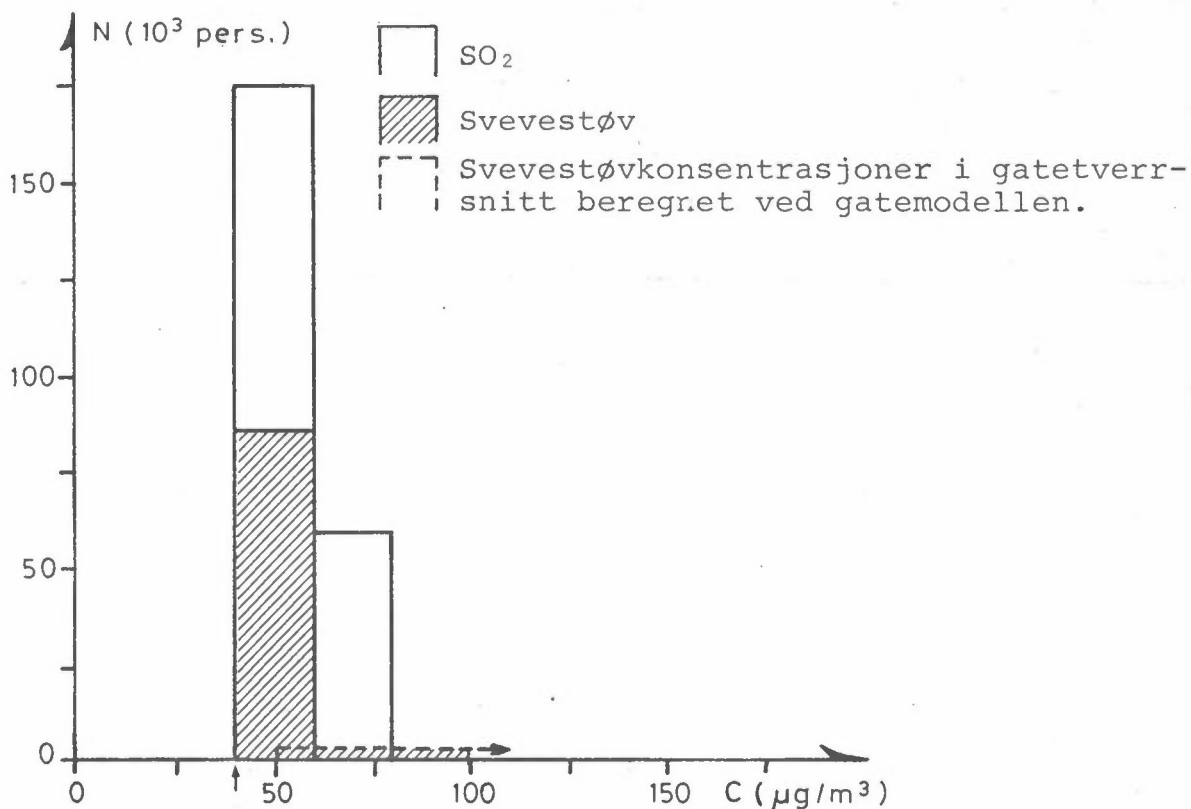
I figurene 4.8, 4.9 og 4.10 er tilsvarende data lagt frem for nitrogendioksyd. Verdiene bygger på spredningsberegninger for NO_x og på empiriske data for forholdet mellom NO og NO_2 -konsentrasjoner ved målestasjoner i Oslo om vinteren. På grunn av fotokjemiske reaksjoner og reaksjoner med ozon foregår overgangen mellom NO og NO_2 mer effektivt i sommerhalvåret. Utslippet og spredningen er imidlertid også bedre slik at NO_2 -konsentrasjonene blir lavere.



Figur 4.5: Befolkningseksponering for maksimale timeskonsentrasjoner for svevestøv og SO₂. Histogrammet angir hvor mange mennesker som utsettes for konsentrasjoner mellom angitte grenser.

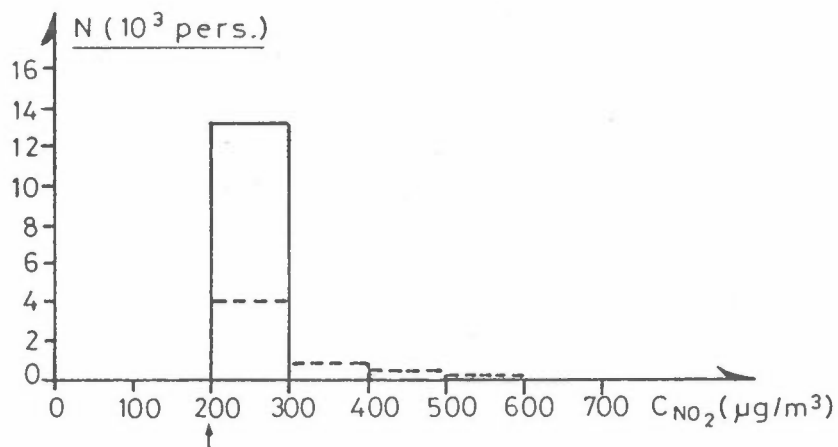


Figur 4.6: Befolkningseksponering for døgnmiddelkonsentrasjoner av SO₂ og svevestøv. Histogrammet angir hvor mange mennesker som utsettes for konsentrasjoner (c) mellom angitte grenser.

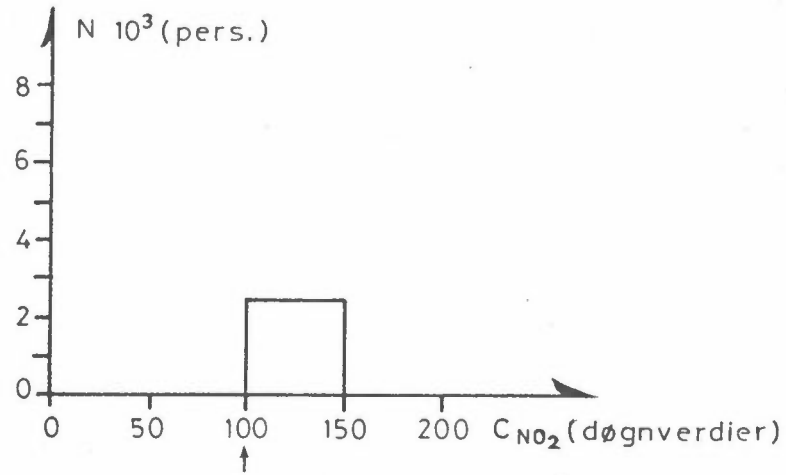


Figur 4.7: Befolkningseksposering for middelkonsentrasjoner i vinterhalvåret. ↑: Grenseverdi.

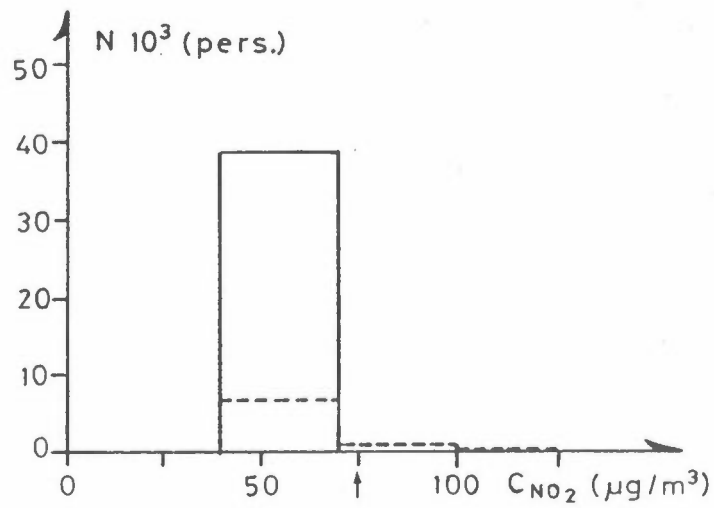
— : Beregnet ved arealkildemodellen
 - - - : Beregnet ved gatemodellen



Figur 4.8: Befolkningseksposering for maksimale timeskonsentrasjoner for nitrogendioksyd (30% av beregnet NO_x -konsentrasjon). ↑: Grenseverdi.



Figur 4.9: Befolkningseksposering for maksimale døgnerverdier for nitrogendioksyd (30% av beregnet NO_x-konsentrasjon).
↑ : Grenseverdi.



Figur 4.10: Befolkningseksposering for middelkonsentrasjoner i vinterhalvåret.
↑ : Grenseverdi.

Figur 4.11 og 4.12 viser befolkningseksponeringen for CO basert på beregnede timesverdier og 8-timesverdier. Figur 4.13 viser befolkningseksponeringen for bly (Pb) basert på beregnede 3 måneders middelveidier. Når det gjelder benzen-eksponering viser en til vedlegg J.

På grunnlag av foreliggende data kan en anslå følgende bidrag til benzen-eksponeringen i Oslo:

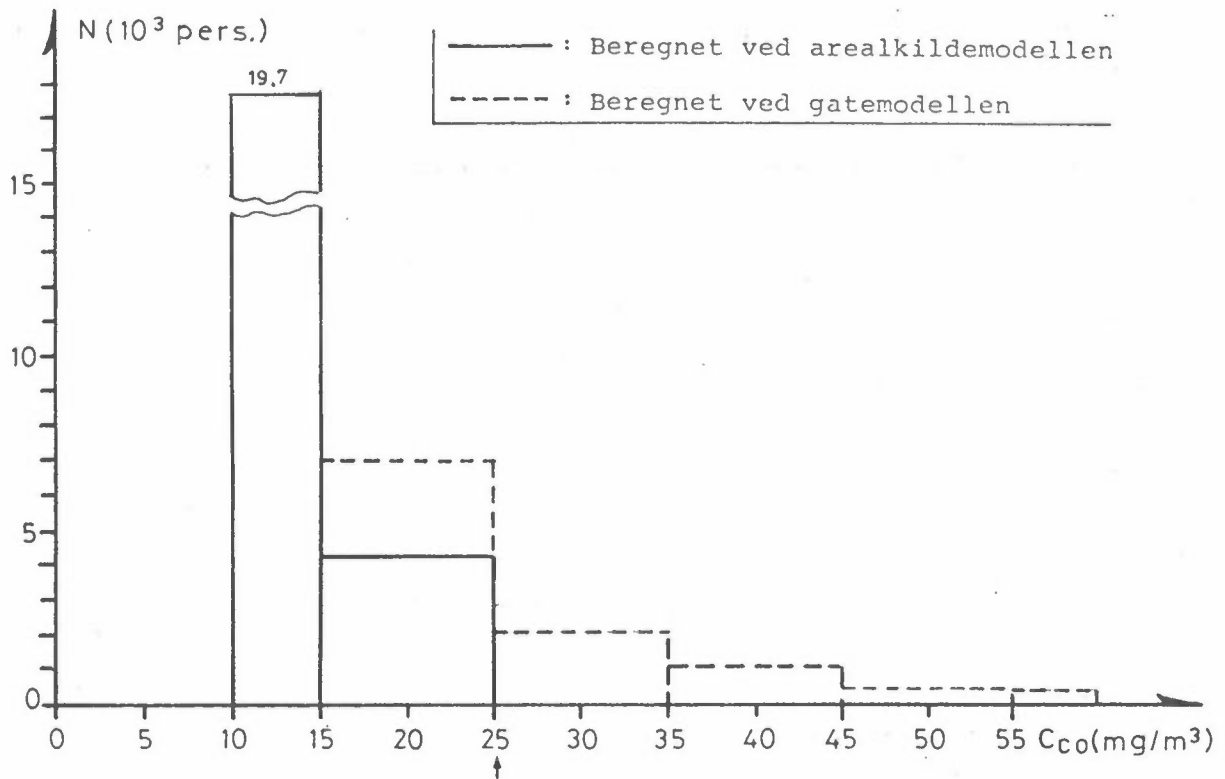
Eksponering i utendørsluft ved bolig:	$E_O \approx 3 \cdot 10^6$	$\mu\text{g benzen}/\text{m}^3$ personer i Oslo
Ekstra eksponering i bolig	: $E_H \approx 9 \cdot 10^6$	"
Ekstra eksponering i bil	: $E_b \approx 3 \cdot 10^6$	"
Eksponering av fotgjengere og syklistere i gatemiljø	: $E_g \approx 0.3 \cdot 10^6$	"
Eksponering på bensinstasjoner	: $E_B \approx 1 \cdot 10^6$	"
Samlet eksponering vil være	: $7-13 \cdot 10^6$	$\mu\text{g benzen}/\text{m}^3$ personer i Oslo*

Idet befolkningen tilbringer mye av sin tid innendørs, blir konsentrasjonene der bestemmende for benzenbelastningen. Konsentrasjonene innendørs bør undersøkes nærmere før en kan angi befolkningseksponeringen for benzen. E_O vil gi et for lavt estimat for befolkningseksponeringen, E_H vil gi et høyt estimat. Ved beregning av E_O har en tatt hensyn til målinger som er foretatt utendørs. Benzen-konsentrasjonen inne i biler kan også gi et betydelig bidrag til totaleksponeringen. Målingene utendørs indikerer videre at den samlede utslippsoversikten er ufullstendig, særlig gjelder dette om sommeren.

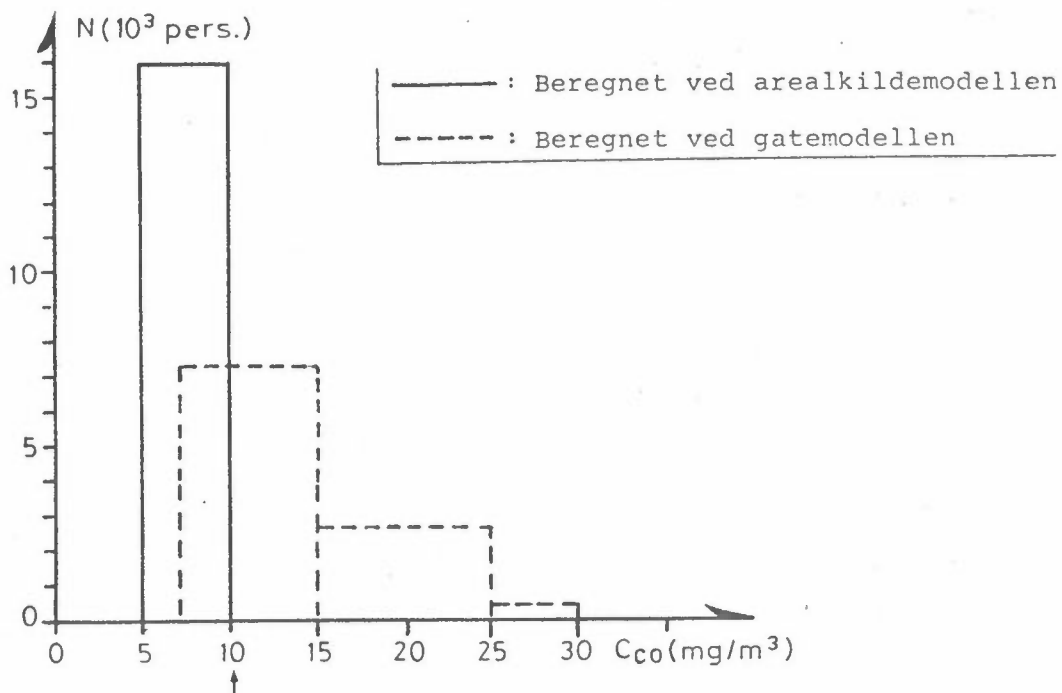
For benzen vil en understreke at det er målinger som er lagt til grunn ved estimater av befolkningseksponeringen. Det er ikke funnet rimelig samsvar mellom målte og beregnede konsentrasjoner i området utenfor gatene.

*Divideres den samlede eksponering på Oslos befolkning, finner en middelkonsentrasjonen som en Oslo-borger utsettes for:

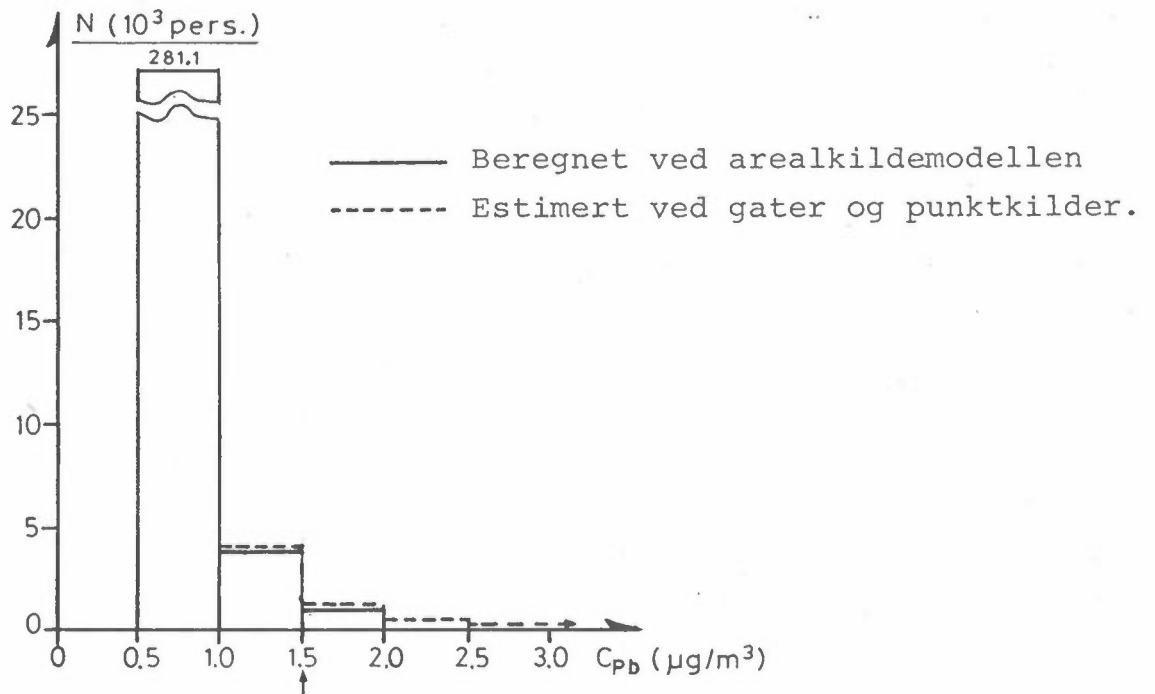
(14-29 $\mu\text{g benzen}/\text{m}^3$).



Figur 4.11: Befolkningseksposering for maksimal timesverdi for karbonmonoksyd. \uparrow : Grenseverdi.



Figur 4.12: Befolkningseksposering for maksimal 8-timesverdi for karbonmonoksyd. \uparrow : Grenseverdi.



Figur 4.13: Befolkningseksponering for middelkonsentrasjonen av bly (Pb) i 3 vintermånedder. \uparrow : Grenseverdi. (Blyinnhold i bensinen 0.4 g/l.) For bly vil det være riktig å summere antall personer gitt ved stiplet kurve og ved heltrukket kurve når konsentrasjonen er over $1 \mu\text{g Pb}/\text{m}^3$.

5 BETYDNING AV UTSLIPPSREDUKSJONER FOR BEFOLKNINGSEKSPONERINGEN

Utslippsreduksjoner kan foretas på forskjellige måter. I dette kapitlet har en sett på effekten av å redusere avgassutslippet fra biltrafikken i hele området. I middel vil konsentrasjonsendringen være proporsjonal med den totale utslippsreduksjonen (pkt. 5.1), når en korrigerer for bakgrunnsverdier. I områder hvor biltrafikken gir det meste av forurensningsbelastningen, vil reduksjonen være proporsjonal med utslippsreduksjonen fra biltrafikken (pkt. 5.2). I et område hvor det er mange trafikkerte gater og mange små fyringsanlegg får trafikkutslippene nær bakken forholdsvis større betydning enn fyringsanleggene for konsentrasjonene nær bakken (pkt. 5.3). Dermed vil konsentrasjonsreduksjonen bli forholdsvis større enn reduksjonen i totalutslippene.

5.1 Endring i middelkonsentrasjonen over Oslo-området som følge av endringer i avgassutslipp fra biltrafikken

Ved beregning av prosentvise endringer er middelutslippene i vinterhalvåret vurdert.

SO₂

Veitrafikken bidrar med ca 5% av utslippene. En midlere bakgrunn er ca 15% av middelverdiene i sentrumssonen.

En reduksjon i avgassutslippene vil derfor føre til bare liten bedring i forurensningstilstanden for SO₂.

Reduksjon i avgassutslippene

20% reduksjon gir	1% lavere konsentrasjoner
50% " "	2% " "
90% " "	4% " "

Sot

Veitrafikken bidrar med ca 35% av totalutslippet om vinteren. En midlere bakgrunn er ca 20% av maksimal halvårsverdi i sentrumssonen.

En reduksjon av avgassutslippene fra bilene vil føre til bedring i forurensningstilstanden. Eksempelvis vil en reduksjon på 20-50% eliminere de høyeste eksponeringsverdiene i sterkt trafikkerte gater. I middel over byområder finner en følgende forhold:

20% reduksjon gir ca	6% lavere konsentrasjon
50% " " "	14% " "
90% " " "	25% " "

I episoder får bakgrunnsverdiene mindre betydning og reduksjonene vil være henholdsvis 7, 18 og 32%.

Nitrogendioksyd

Veitrafikk bidrar med ca 50% av totalutslippet av nitrogenoksyder. En midlere bakgrunn utgjør ca 20% av maksimalverdien i sentrums-sonen. I middel over byområdet finner en følgende forhold:

20% reduksjon gir ca	8% lavere konsentrasjon
50% " " "	21% " "
90% " " "	38% " "

I episoder når bakgrunnsverdiene betyr lite vil reduksjonene være henholdsvis 11, 27 og 48%.

Karbonmonoksyd

Veitrafikk bidrar med ca 85% av totalutslippet. Bakgrunnskonsentrasjonen betyr lite. I middel over byområdet finner en følgende forhold:

20% reduksjon gir ca	17% lavere konsentrasjon
50% " " "	43% " "
90% " " "	77% " "

Ca 50% reduksjon i avgassutslippene er nødvendig for å eliminere overskridelser av rådgivende normer i alle områder i Oslo uten å gjennomføre trafikkregulerende tiltak. Konsentrasjonene i de mest forurensede gatene kan imidlertid reduseres effektivt ved trafikkregulerende tiltak.

Bly (Pb)

Veitrafikk bidrar med 72% av totalutslippet. Bakgrunnskonsentrasjonen betyr lite. I en vesentlig del av byområdet er biltrafikken årsak til blykonsentrasjonen ved bakken. En reduksjon av blyinnholdet i bensinen vil derfor bety en tilsvarende reduksjon i konsentrasjonene med unntak av områdene nær betydelige enkeltkilder.

Benzen

Avgassutslipp fra biltrafikk bidrar med 75% av totalutslippet i byområdet. Beregnede konsentrasjoner for boligområdene er lavere enn målte verdier. Dette kan skyldes en kombinasjon av høye bakgrunnsverdier, ufullstendig utslippsoversikt og spredningsberegningene. Nyere målinger (33) tyder på at fordampning fra parkerte biler med varm motor kan være betydelig og forklare endel av avviket mellom beregnede og observerte konsentrasjoner. Reduksjon av benzeninnholdet i bensin vil i så fall gi en tilsvarende reduksjon i befolkningens benzenbelastning.

5.2 Utslippsreduksjoner i sterkt trafikkerte gater og fra store enkeltkilder

Ved vanlig forekommende spredningsforhold er bidraget fra biltrafikken i en gate bestemmende for konsentrasjonen i gater. Reduksjonen vil derfor være direkte proporsjonal med utslippsreduksjonen i gaten. Dette gjelder de sterkest belastede gatene, vist i figurene 3.20-3.25. Ved trafikkregulerende tiltak kan en redusere antall mennesker som er utsatt for maksimalkonsentrasjoner (stiplet linje i kurvene som beskriver befolkningseksponeringen, se figurene 4.5-4.13).

Når vi ser bort fra blyforurensningen ved Spigerverket, kjenner vi ikke til forurensningsbelastning ved store enkeltkilder som gir dominerende forurensningsbelastning i omgivelsene.

5.3 Forurensningsbidrag fra utslipp ved bakken og fra utslipp i taknivå

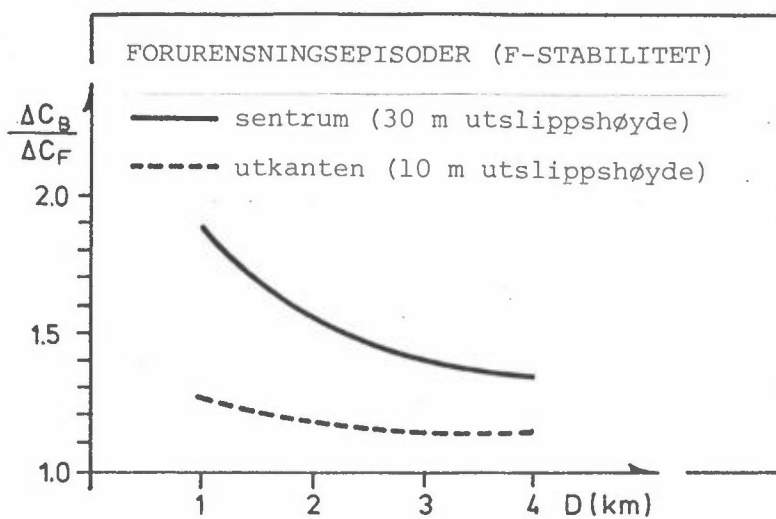
Forurensningsutslipp skjer dels fra biltrafikken ved bakken og dels fra fyringsanleggene over taket på bygningene. I beregningene har en regnet med en spredning rundt bygninger og trær som gir et standardavvik i konsentrasjonsfordelingen som varierer med midlere hushøyde. (Standardavvik som følge av spredning rundt bygninger og trær: 14 m i sentrum, 4.6 m i omgivelsene).

Konsentrasjonene nær bakken er av størst betydning for eksponeringsberegningene. Konsentrasjonsbidraget fra biltrafikken er størst nær bakken, og får større vekt enn bidraget fra fyringskildene som har sitt maksimum over bakken (30 m høyde i sentrum, i 10 m høyde i utkanten).

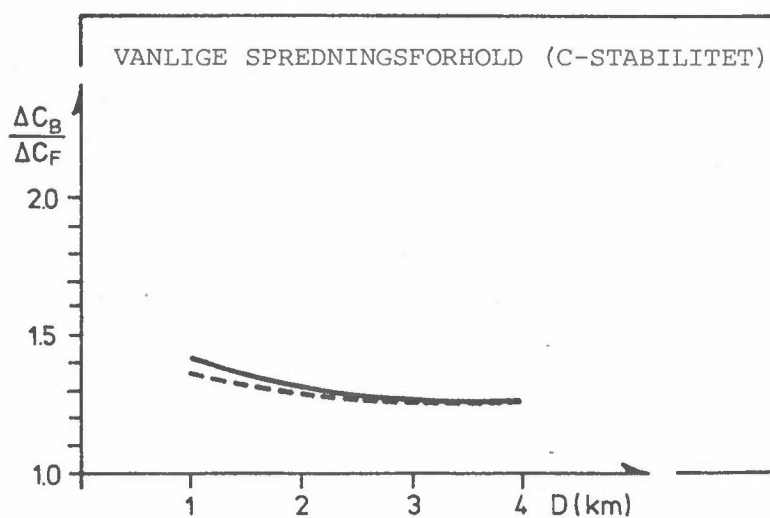
Forholdet mellom et normalisert konsentrasjonsbidrag fra biltrafikken ΔC_B og fra fyringskildene ΔC_F er vist som funksjon av bredden på arealkildene D i figur 5.1.

Forholdet $\Delta C_B/\Delta C_F$ er vist ved dårlig vertikalspredning (stab. klasse F) i figur 5.1a og ved normal vertikalspredning (stab. klasse C) i figur 5.1B. Forholdene er vist for sentrumssonen og for utkanten av byområdet. Figur 5.1 indikerer at i forurensningsepisoder (stab. klasse F), reduseres forholdet fra 1.9 til 1.7 når utstrekningen av arealkilden i sentrumssonen øker fra 1 til 2 km (36). På grunnlag av forholdstall som er vist i figurene 5.1 og 5.2 finner en at utslipp fra biltrafikk gir 30% større konsentrasjonsbidrag i bakkenivå enn samme utslipp fra fyringsanlegg ved vanlige spredningsforhold. I forurensningsepisoder gir utslipp fra biltrafikk 75% større konsentrasjonsbidrag enn samme utslipp fra fyringsanlegg. Ved vanlige spredningsforhold er konsentrasjonene ved bakken lave og bidraget på grunn av kilder utenfor Oslo blir merkbare. I forurensningsepisoder med høye konsentrasjoner er dette bidraget relativt lite.

a



b



Figur 5.1: Forholdet mellom konsentrasjonsbidraget fra biltrafikk ΔC_B og bidraget fra fyringsanlegg ΔC_F vist som funksjon av bredden på arealkilden D . Konsentrasjonsbidragene ΔC_B og ΔC_F er normalisert med hensyn på vindhastigheten og intensiteten av arealkildene for hver av kildegruppene.

a) Forholdene i forurensningsepisoder. Stab.klasse F.

b) Forholdene ved vanlige spredningsforhold. Stab.klasse C.

På dette grunnlaget kommer en fram til den angitte reduksjon i forurensningssituasjonen i sentrumssonen som følge av en oppgitt reduksjon i avgassutslippet fra biltrafikken.

20-90% reduksjon i avgassutslippene fra bilene vil gi følgende typiske reduksjoner i forurensningskonsentrasjonene i sentrumssonen:

1.7-8%	reduksjon i SO ₂ -konsentrasjonen
10-44%	" i sot-
18-82%	" i CO-
12-53%	" i HC-
11-57%	" i NO _x -
19-85%	" i bly-
17-76%	" i benzen-

Ekstreme timesmiddelverdier for sot, CO, HC, NO_x, bly og benzen forekommer ofte i rushtiden mellom kl 16 og 17. Stor trafikk fører til stort utslipp sett i forhold til andre kilder (faktor ≈). Utslippsreduksjoner fra den enkelte bil vil derfor få større betydning for maksimale timesmiddelkonsentrasjoner enn for maksimale døgn- og årsmiddelkonsentrasjoner.

5.4 Betydningen for befolkningseksponeringen av generell reduksjon av avgassutslippene fra biltrafikken.

På grunnlag av eksponeringsdata gitt i kapittel 4, vurderingene gitt i punktene 5.1, 5.2 og 5.3, er en kommet frem til følgende resultater slik:

SO₂/sot:

Utslippsreduksjoner fra biltrafikken vil ha ubetydelig virkning på eksponeringsdata for SO₂, men det vil få betydning for sotverdiene. Ved 50% reduksjon i avgassutslippet fra bilene vil antall mennesker som utsettes for maksimale døgnverdier over grenseverdien reduseres:

Ved dagens forhold	: ca 110 000 mennesker
Ved 50% reduksjon	: ca 4 000 mennesker

Ved ytterligere reduksjon blir bidraget fra oljefyringsanleggene mer betydningsfullt. Ved 50% reduksjon vil det være meget få mennesker som utsettes for halvårsmiddelverdier over $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

CO:

50% reduksjon i avgassutslippene fra bilene vil føre til en tilsvarende konsentrasjonsreduksjon i de sterkest trafikkerte gatene.

I dag er 5-6000 mennesker utsatt for maksimale timesverdier og 8-timesverdier over grenseverdiene. Etter 50% reduksjon vil mindre enn 1000 mennesker være utsatt for slike konsentrasjoner.

Bly:

Eksponeringsberegningene er utført for et blyinnhold på 0.4 g/l bensin. Når blyinnholdet reduseres til 0.15 g/l er det bare personer som bor nær andre blykilder som eksponeres for 3-måneders middelverdier over $1.5 \mu\text{g Pb}/\text{m}^3$.

NO₂:

I dag er 12-14 000 mennesker utsatt for konsentrasjoner over grenseverdien for maksimal timeskonsentrasjon. Dersom avgassutslippet fra bilene reduseres med 50% vil antallet reduseres til noen hundre som bor i de sterkest trafikkerte gatene.

5.5 Oppsummering

I disse vurderingene har en sett helt bort fra usikkerheter i beregningene. Den kan få stor betydning for eksponeringstallene. Vurderingene belyser likevel følsomheten for bedring i forurensningssituasjonen som følge av reduksjon i utslippet av bilavgasser. For flere av komponentene er forurensningene i Oslo nær grenseverdiene og en kan få tilsynelatende bedring i eksponeringsforholdene ved moderate utslippsreduksjoner.

I områder hvor grenseverdiene overskrides får en størst virkning av å redusere de nærmeste kildene.

Beregningene indikerer at i forurensningsepisoder får en ca 2 gan-

ger så stor virkning av en utslippsreduksjon i den samme km^2 -ruten sammenlignet med virkningen av å redusere utslippene 1 km borte. Ved vanlige spredningsforhold er bidraget fra de nærmeste kildene enda viktigere.

6 NØYAKTIGHET AV BEREGNINGENE

6.1 Nøyaktighet av spredningsberegninger

Når en sammenligner målte og beregnede konsentrasjoner kan avvikene skyldes forskjellige forhold, slik som unøyaktighet i utslippsoversikten, i meteorologiske utgangsdata, i modellforutsetningene og i målte konsentrasjoner. Det er vanskelig å skille ut de enkelte faktorene (27). Pasquill vurderer spredningsmodellens nøyaktighet ved å ta utgangspunkt i erfaringsdata fra ulike spesifiserte kilder (28). Pasquills data for usikkerheter er gjengitt i tabell 6.1. Det nevnes en usikkerhet på $\pm 10\%$ for spredning av et utslipp ved bakken ved idealiserte forhold. Når det gjelder å forutsi konsentrasjoner på et bestemt sted til en bestemt tid kan usikkerheten bli langt større og f.eks. være ca 100% når forurensningene blir ført med vinden i en annen retning. Uheldig valg av spredningsparametre kan også føre til usikkerheter. Slike fluktuasjoner jevner seg ut med tiden, slik at langtidsmiddelverdier er lettere å forutsi enn kortperiodiske maksimalkonsentrasjoner. I litteraturen finner en divergerende syn på nøyaktigheten av modellberegninger. Data for nøyaktigheten som er gitt i tabell 6.1 viser at en må definere problemstillingen godt når en diskuterer nøyaktighet.

- a. Middelveidier kan beregnes med større nøyaktighet enn enkeltverdier, (pkt. 1, tabell 6.1).
- b. Spredning av utslipp fra bakkenivå kan beregnes med større nøyaktighet enn spredning fra høye piper (pkt. 1, 2, og 3).
- c. Spredning fra mange kilder beregnes med større nøyaktighet enn spredning fra en enkel kilde (pkt. 4, 5 og 6).

I denne undersøkelsen er vi interessert i middelveidier for spredning av forurensning fra mange kilder ved bakken.

Tabell 6.1: Nøyaktighet av spredningsberegninger.
Pasquills data for ulike kilder (28).

Nature of source and terrain †	Con- ditions	Meteorological data available	Distance of travel (km)	Property estimated	Uncertainty	Notes
1. Passive ground level source on flat unobstructed ground	Overcast steady wind	$u \ z_0 \ \sigma_\theta$	0.1-1	Peak of time-mean (few minutes) crosswind distribution	a < 0.1 b 0.1	(i)
	Generally unstable	$u \ z_0 \ \sigma_\theta \ Ri$	< 3		b 0.2	(ii)
2. As (1) but source moderately elevated (50-100 m)	Generally unstable	$u \ z_0 \ \sigma_\theta \ \sigma_\phi$	1	Distance of maximum Magnitude of maximum	b 0.3 b 0.35	(iii)
3. Power station on terrain without marked irregularities. Heat emission known	Unstable or windy	u Temp. gradient	10	Distance of maximum hourly average Maximum hourly average	{ a 0.3 b 0.45 a 0.35 b 0.5	(iv)
	Any ‡	u Temp. gradient and wind direction statistics		Long-term average maximum	c 0.1	(v)
4. Plume in mixing layer	Unstable with stable cap, definite wind field	u Turning of wind direction with height, depth of mixing layer	100	Peak of time-mean (~1 hr) crosswind distribution	d 2	(vi)
5. Multiple sources in urban industrial complex	Any ‡	$u \ z_0 \ \sigma_\theta \ \sigma_\phi$	10	Long-term spatial mean	c 0.2 b 1.0	(vii)
				Individual site, value averaged over few hours		
6. As (5), but source inventory not specified	Any ‡	Duration of light wind, minimum temperature, mixing depth (also long-term mean concentration)	10	Extreme (on say 1 per cent of occasions) of few-hour average at individual site	d 2	(viii)
				Daily mean averaged over 100 sites at 1 site		

Notes:

† Marked topographical effects excluded. ‡ Except stagnant conditions of airflow.

(i) Based on comparison between early Porton data and recently recommended formulae (Section 6.4, Table 6.VI and Fig. 6.9).

(ii) Based largely on comparison between crosswind spread measurements and estimates from wind direction fluctuation (Section 4.4 and Fig. 4.9) and of limited experience on vertical spread (Section 4.6 and Fig. 4.14). An ensemble-average uncertainty is not attempted here because of certain unresolved anomalies in the data on concentration distribution at the longer ranges (Pasquill 1971). The formulae referred to in (i) tend to give concentrations progressively too high with increasing distance. The r.m.s. uncertainty quoted here represents only the scatter which would exist in estimates even if these were correct in ensemble average.

(iii) From treatment of elevated source, χ_m is determined essentially by $1/H\sigma_y(x_m)$. The figures given for x_m are based on Bowne and Islitzer's sample of observations of x_m (Section 4.6) and those for χ_m on the σ_y figures used in (ii), H being assumed accurately known.

(iv) As in (iii) but now assuming, on the basis of the practical experience with plume-rise formulae (Section 5.1 and Table 5.11) that H is specifiable as an ensemble average at best within 10 per cent, but that individually short-term means may have r.m.s. deviations from the ensemble average of 20 per cent. Also assuming that x_m is given by taking $\sqrt{2} \ll H/\sigma_z(x_m) \ll \sqrt{3}$ and that $\sigma_z \propto x^{1/2}$. It then appears that the uncertainty is essentially in respect of x_m , being increased only marginally from this in respect of χ_m . Moore's (1973) recent 'optimized' fitting of the observational data collected for the Tilbury and Northfleet power stations gives uncertainties broadly consistent with the present estimates for x_m , but considerably less for ensemble average values of χ_m and somewhat greater for r.m.s. deviations of individual values of χ_m .

(v) The long-term maximum effect from a power station will be determined by the crosswind integral of the distribution of concentration (hence by $1/H$) and by the frequency of occurrence of wind direction from the stack. Assuming the latter is well-known the uncertainty is simply that in H .

(vi) If the mixing layer h' is well-mixed vertically, as assumed, the peak time-mean concentration at sufficiently long distance will be determined by $1/h'\sigma_y$. If the magnitude of h' is known only within say ± 50 per cent, the likely uncertainty of a factor of 2 in σ_y at say 100 km (based on limited experience of relating σ_y to wind direction turning with height) will be the dominant contribution.

(vii) Based largely on the experience of the Reading, England study by British Petroleum (Section 5.5, Table 5.X and Fig. 5.18).

(viii) From preliminary evaluations of the model proposed for forecasting daily levels of SO₂ in a city (Section 6.8 and Table 6.X).

6.2 Momenter som må tas med ved vurdering av resultatene i Oslo

- a) Det er få store enkeltkilder med utslipp i høye piper. Vi kan derfor se bort fra punktene 2, 3 og 4 i tabell 6.1.
- b) SO₂-konsentrasjonen i Oslo avhenger av spredningsforholdene som kan sammenfattes ved temperaturdifferensen mellom Blindern og Tryvasshøgda (et mål for den vertikale temperaturgradienten). Variasjoner i utslippene gjennom døgnet (15-20%) medfører tilsvarende variasjoner i sammenhengen mellom SO₂-konsentrasjonene og temperaturmålingen (7). Spredningsmodellen hvor disse parametrene er innarbeidet bør derfor kunne forutsi virkningen av utslippsendringer med samme nøyaktighet.
- c) I de eksisterende modeller er det vanskelig å behandle forurensningsutslipp fra biltrafikk og fra oljefyring på forskjellig måte. Utslipp fra oljefyring slippes ut over tak. Utslipp fra biltrafikk slippes ut i bakkenivå. Nær trafikkårer får derfor utslipp fra biltrafikken stor betydning.
- d) Vi regner ikke med å beskrive kortperiodiske fluktasjoner ved enkelte målestasjoner og ser derfor bort fra punktene 5b og d i tabell 6.1. Disse fluktasjonene er søkt omtalt i rapporten.

Episodemodellen som er referert foran beregner konsentrasjonene ved liten vertikalutlufting. Når en benytter modeller i episoder kan de gi betydelige forskjeller mellom beregnede og observerte konsentrasjoner, se figur 7.1 i ref. 3. I andre perioder er imidlertid vertikalutvekslingen så liten at beregnede og observerte SO₂-konsentrasjoner stemmer bedre overens. Vi bruker derfor modellen til å angi maksimale konsentrasjoner for timesverdier og døgnerverdier, men grunnlaget er ikke så godt som ønskelig. Det er derfor vanskelig å angi maksimalverdiene representative for et normalår. For å gjennomføre en statistisk test av modellen ble vertikalutvekslingen parameterisert ved hjelp av temperaturforskjellen mellom Blindern og Tryvann.

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -\vec{V}_h \cdot \nabla_h C - W \frac{\partial C}{\partial z} - \kappa C + Q$$

$$\kappa = (-0.5 \cdot \frac{dT}{dz} + 1.3) \cdot 10^{-3} \text{ s}^{-1}$$

$-\vec{V}_h \cdot \nabla_h C - w \frac{dc}{dz}$: Transport av forurensning ut av Oslo-gryta ved vinden.

κC : Vertikalspredning av forurensninger på grunn av uordnede atmosfærebevegelser.

$\frac{dT}{dz}$: Den vertikale temperaturgradienten beregnet på grunnlag av temperaturmålinger nær Holmenkollen og ved Fornebu. Enhet: °C/100 m.

Q : Utslipp

Beregnete døgnmiddelverdier i sentrumssonen er sammenholdt med tilsvarende observerte verdier i figur 6.1. Figuren viser at det fortsatt er et avvik på $\pm 100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ i døgnmidlere SO_2 -konsentrasjoner ($\pm 25\%$). En kan sannsynligvis bedre denne nøyaktigheten, som imidlertid er i samsvar med data i tabell 6.1 (se pkt. 6).

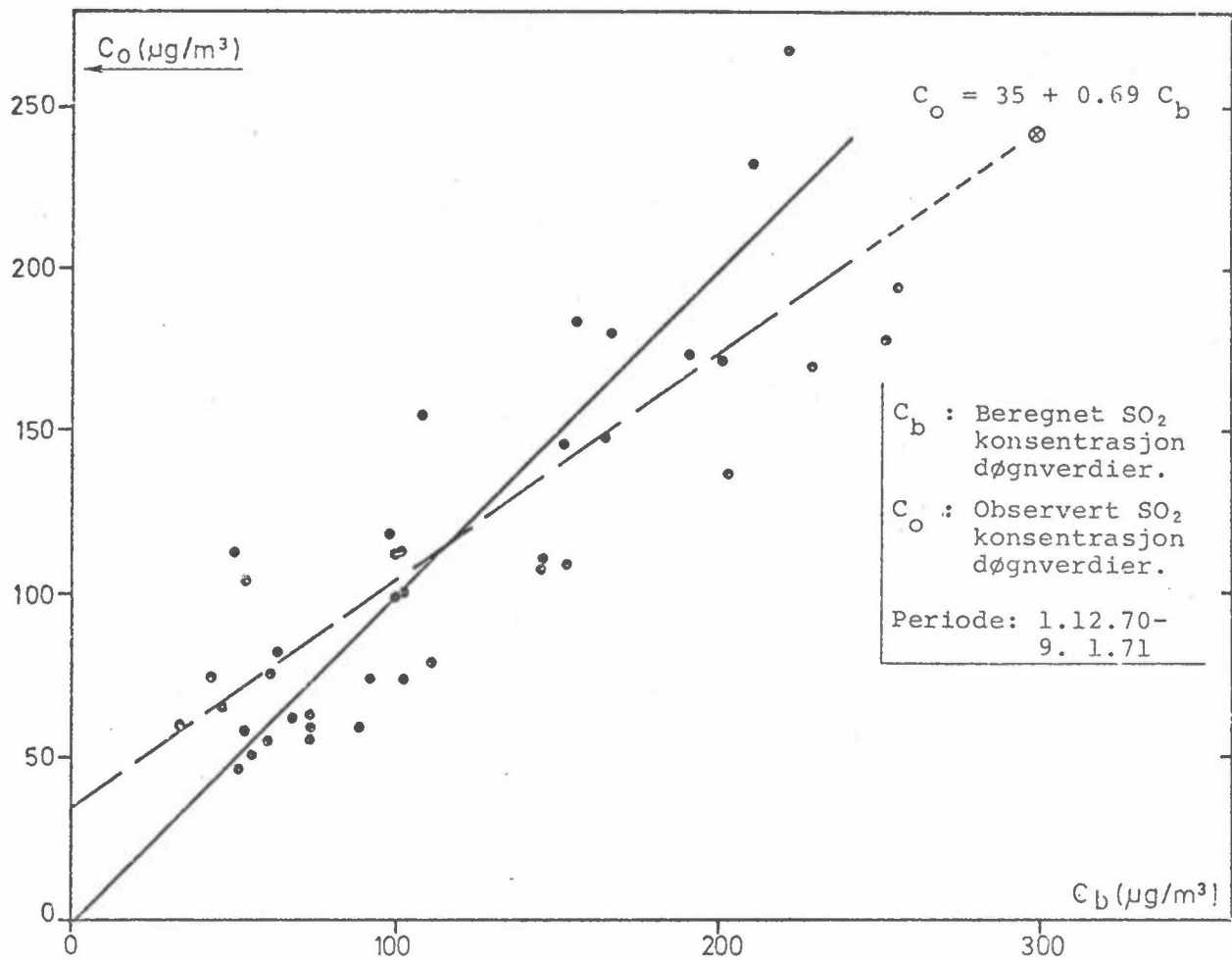
6.3 Vurdering av nøyaktighet ved beregning av befolkningseksponering

I vedlegg D er det gitt tall for befolkningseksponeringen basert på beregninger i km^2 -ruter. Data for korttidseksponering i episode-døgn viser store fluktuasjoner i antall mennesker som utsettes for ulikt forurensningsnivå fra episode til episode. Det skyldes at når km^2 -ruter får middelkonsentrasjoner i det aktuelle området vil flere tusen mennesker eksponeres for disse konsentrasjonene.

I beregningene har vi benyttet dårlige spredningsforhold som observert i Oslo. Det bør utføres spesielle undersøkelser for å dokumentere disse forutsetningene. Lokalt kan forurensningsnivået være betydelig høyere på grunn av spesielle utslipp fra enkeltkilder eller på grunn av lokale spredningsforhold. Vi håper imidlertid at slike forhold ikke gjør seg gjeldende i km^2 -ruter.

Det er likevel vanskelig å angi tall for nøyaktighet i eksponeringsberegningene. I episoder vil imidlertid høye forurensningskonsentrasjoner bre seg ut i km^2 -ruter og føre til at mange mennesker eksponeres for disse konsentrasjonene. For maksimale korttidskonsentrasjoner er det spesielt sentrumssonen som er av betydning

fordi mange mennesker er på sine arbeidsplasser i dette området når konsentrasjonene er størst. Når det gjelder langtidseksponering synes boligområdene nær sentrumssonen å være viktigst.



Figur 6.1: Sammenhengen mellom beregnede og observerte 24-timersverdier i Oslo sentrum.

7 REFERANSER

- (1) Grønskei, K.E. Luftforurensninger i tilknytning til Fornebu lufthavn. Lillestrøm 1981. (NILU OR 25/81.)
- (2) Gram, F. Utslipp av forurensninger i Oslo-området 1979. Lillestrøm 1982. (NILU OR 10/82.)
- (3) Grønskei, K.E.
Joranger, E.
Gram, F. Assessment of air quality in Oslo. Published as Appendix D to the NATO/CCMS Air Pollution Document "Guidelines to Assessment of Air Quality (Revised) SO_x, TSP CO, HC, NO_x and Oxidants". Kjeller 1973. (NILU IR 50/73.)
- (4) Larssen, S.
Grønskei, K.E. Beregningsmetoder for luftforurensning ved trafikkårer. Lillestrøm 1981. (NILU OR 51/81.) Utkast.
- (5) Grønskei, K.E. EPAs UNAMAP-modeller. Bruk av programmene på RBK-anlegget, Kjeller. Lillestrøm 1976. (NILU IR 6/76.)
- (6) Gram, F. Multippel-kilde Gaussmodell. KILDER. Lillestrøm. NILU. Teknisk rapport under utarbeidelse.
- (7) Grønskei, K.E. Comparison between a physical dispersion model and a statistical model for ambient SO₂-concentration in Oslo. In: *Proceedings of the Third International Clean Air Congress*, Düsseldorf 1973, s. B3-B6.
- (8) Hov, Ø. One dimensional vertical model for ozone and other gases in the atmospheric boundary layer. *Atmospheric Environment*. (In press).
- (9) Salg av petroleumsprodukter 1979. Oslo, Norsk Petroleumsinstitutt, 1980.

- (10) Trafikkundersøkelser 1975-80.
Oslo, Oslo Byplankontor, 1976-81.
- (11) Wathne, B.M. Målinger av benzen fra biltrafikk.
Lillestrøm 1981. (NILU OR 30/81.)
- (12) Oslo kommune Oslo statistikken.
Statistisk kontor Folkemengden i Oslo pr. 31.12.76.
Soner og roder. Ytre og indre sone.
Oslo 1977.
- (13) Oslo Byplankontor Kart med standard soneinndeling i
Oslo. Angivelse av antall arbeids-
plasser. Oslo 1980.
- (14) Statistisk sentralbyrå Tidsnyttingsundersøkelsen 1971-72.
Hefte 1. Oslo 1975.
- (15) Oslo kommune Reisemønster og transportmåte i
Oslo-området. Bilag til Oslo Sam-
ferdselsplan 1980-90. Prosjekt-
gruppen for samferdsel. Oslo 1979.
- (16) Grønskei, K.E. Nefelometermålinger. Regional
Larssen, S. spredning. Kjeller 1976.
(NILU TN 4/76.)
- (17) Alzona, J. Fine particle residential indoor
Cohen, B.L. air pollution. *Atmos. Environ.* 13,
Rudolph, H. et.al. 1413-1418 (1979).
- (18) Shair, F.H. Theoretical model for relating in-
Heitner, K.L. door pollutant concentrations to
those outside.
Environ. Sci. & Technol. 8: 444-5 (1974).
- (19) Moschandreas, D.J. The residential environment and
Stark, J.W. energy concentration: Predicting
indoor air quality.
*APCA 71 st Annual meeting and
exhibition*, Houston Tex. June 25-30
1978, Pittsburgh PA, paper 78-60.4.

- (20) Berglund, B.
Johansson, I.
Lindvall, T. The influence of ventilation on indoor/outdoor air contaminants in an office building.
International symposium of indoor air pollution, health and energy conservation, Oct. 13-16, 1981, Amherst, Mass.
- (21) Derouane, A.
Verduyn, G. Comparaison des concentrations en SO₂ à l'intérieur et l'extérieur de deux bâtiments. *Atmos. Environ.*, 7, 891 (1973).
- (22) Hales, C.
Rollison, A.M.
Shair, H. Experimental verification of linear combination model for relating indoor/outdoor pollutant concentrations. *Environ.Sci.Technol.*, 8, 452-453 (1974).
- (23) Gram, F.
Grønskei, K.E. Forurensninger av sot og svoveldioksyd i Oslo - Bruken av fyringsoljer. Lillestrøm 1977. (NILU OR 5/77.)
- (24) Lindberg, W. Den alminnelige Luftforurensning i Norge.
Oslo, Røykskaderådet, 1968.
- (25) Larssen, S.
Grønskei, K.E. Luftforurensninger fra veitrafikk. Oversiktsrapport. Virkninger og forekomst i Norge.
Lillestrøm 1978. (NILU OR 19/78.)
- (26) Hov, Ø. Beregning av NO₂-konsentrasjoner ved veier.
I: "Nordisk seminar for beregningsmetoder for bilavgasser", Vetre ved Oslo 9-10 desember 1981.
(NILU OR 29/82.)
- (27) Brier, G.W. Statistical questions relating to the validation of air quality simulation models. Research Triangle Park, North Carolina, 1975.
(EPA-650/14-75-010.)

- (28) Pasquill, F. Atmospheric diffusion. The dispersion of windborne material from industrial and other sources. Ellis Horwood Ltd., 1974.
- (29) Schjoldager, J.
Gundersen, G.
Stige, L. Målinger av ozon i Nedre Telemark, Oslo og Oslofjorden sommeren 1980. Lillestrøm 1981. (NILU OR 42/81.)
- (30) Reisevaner. En undersøkelse av folks reiser i 6 norske byområder 1969/70. Oslo 1973. (NIBR Arbeidsrapport 15/73.)
- (31) Johnson, W.B.
Luding, F.L.
Moor, A.S. Development of a practical, multi-purpose urban diffusion model for carbon monoxide.
I: *Symposium on multiple-source urban diffusion models, proceedings*, Ed. by A.C. Stern. Research Triangle Park, N.C., 1970. (U.S. Environmental Protection Agency, AP-86).
- (32) Larssen, S. Luftforurensninger ute og inne ved Strømsveien 20, Oslo. Lillestrøm 1981. (NILU OR 18/81.)
- (33) Wathne, B.M. Benzen i boliger. Lillestrøm 1981. (NILU OR 52/81.)
- (34) Luftforurensning. Virkning på helse og miljø. Utarbeidet av en gruppe oppnevnt av SFT. Oslo 1982. (SFT-rapport nr. 38.)
- (35) Larssen, S. Nitrogenoksyder i Osloluft. Målinger på St.Hanshaugen november 1978-april 1979. Lillestrøm 1980. (NILU OR 4/80.)
- (36) Grønskei, K.E. Dispersion of pollution from area sources. Lillestrøm 1982. (NILU TR 6/82.)
- (37) Muntlig informasjon fra Statens forurensningstilsyn.

