

NILU OR : 97/92
REFERANSE : O-8839
DATO : DESEMBER 1992
ISBN : 82-425-0449-0

Modell for bakgrunnsbidraget til NO₂- konsentrasjonen i gater

Steinar Larssen

INNHOOLD

	Side
SAMMENDRAG	3
1 INNLEDNING	5
2 KILDER TIL NO ₂ I TETTSTEDER/GATER	5
2.1 Oksidasjon av NO til NO ₂	5
2.2 Direkte utslipp av NO ₂	13
3 MODELL FOR BAKGRUNNSBIDRAG TIL NO ₂ -KONSENTRASJONEN I GATER	16
4 REGIONALE O ₃ -KONSENTRASJONER I NORDEN	22
5 FORSLAG TIL NOMINELLE BAKGRUNNSVERDIER I REVIDERT NORDISK BEREGNINGSMETODE FOR BILAVGASSER	27
6 REFERANSER	30

SAMMENDRAG

Rapporten beskriver en forenklet metode for å anslå størrelsen på bakgrunnsbidraget til NO₂-konsentrasjonen i gater i tettsteder i Norden. Dette defineres som den delen av NO₂-konsentrasjonen som ikke skrives seg fra det direkte NO₂-utslippet fra trafikken i gaten selv. Prosjektet er en del av arbeidet med revisjon av Nordisk beregningsmetode for bilavgasser (NBB). Denne ble først utgitt i 1984. Väg och trafikinstitutet (VTI) i Linköping har prosjektansvaret for revisjonen, som finansieres av midler fra den Nordiske Bilavgassgruppen i NMR. NILU har vært prosjektleder for delprosjektet "Bakgrunnskonsentrasjoner".

Denne forenklete bakgrunnskonsentrasjonen gjelder forhold med høy forurensningsgrad i byer og tettsteder i Norden. Det tas utgangspunkt i at ozon-konsentrasjonen i gatene under slike forhold er tilnærmet lik null, og at den regionale ozon-konsentrasjonen derved gir et betydelig bidrag til bakgrunns-NO₂ i byatmosfæren. Andre bidrag kommer fra direkte NO₂-utslipp inne i byen/tettstedet.

Anbefalte verdier av ozon-konsentrasjonen til bruk i revidert NBB er gitt ut fra målinger av ozon på bakgrunnsstasjoner i Norden (OXIDATE-data).

I rapporten er gitt forslag til nominelle bakgrunnsverdier for NO₂ i byer og tettsteder, til bruk i revidert NBB.

MODELL FOR BAKGRUNNSBIDRAGET TIL NO₂-KONSENTRASJONEN I GATER

1 INNLEDNING

Nordisk beregningsmetode for bilavgasser (NBB) ble utarbeidet i 1984 (NMR, 1984) med NILU som prosjektleder. I 1988 og 1989 har arbeid vært i gang for å fremskaffe grunnlag for videreutvikling av metoden. Arbeidet ledes av Väg och trafikinstitutet (VII), Linköping, Sverige. 4 delprosjekter er definert.

1. Trafikkdata
2. Utslippsfaktorer
3. Spredningsmodell
4. Bakgrunnsverdier.

NILU er prosjektleder for delprosjekt 4: "Bakgrunnsverdier av CO og NO₂ i tettsteder i Norden".

Foreliggende rapport omhandler forslag til en modell for beregning av bakgrunnsbidraget til NO₂ i gater i nordiske tettsteder, under forhold med høy forurensningsgrad, dvs. ved dårlige spredningsforhold.

2 KILDER TIL NO₂ I TETTSTEDER/GATER

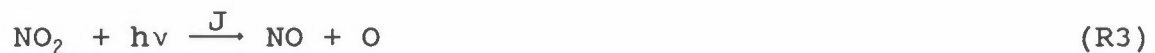
2.1 OKSIDASJON AV NO TIL NO₂

Utslippet av nitrogenoksider (NO_x) fra biler, oljefyring o.a. består hovedsakelig av nitrogenmonoksid (NO). Nitrogendioksid (NO₂) utgjør også en viss andel av NO_x-utslippet, 3-20% avhengig av motortype (bensin/diesel) og motorbelastning (se kapittel 2.2).

NO i utslippet kan oksideres til NO₂ ved hjelp av ozon (O₃) og oksygen (O₂) (Hov og Larssen, 1984; Hertel og Berkowitz, 1989):



I sollys vil NO₂ kunne dissosiere igjen til NO, med dannelse av O₃:



Ved de fortynningsforløp som er aktuelle når eksos fra en bil spres i atmosfæren (fortynning med en faktor 1 000 i løpet av noen sekunder), vil ikke reaksjon R2 gi et nevneverdig NO₂-bidrag i gater (Hov og Larssen, 1984).

Fra målinger utført i Göteborg (Mölndals-området) er det imidlertid antydnet at i ekstreme episoder med lang oppholdstid (1 time og mer) og høy NO-konsentrasjon (>1 ppm) kan R2-reaksjonen gi et merkbart NO₂-bidrag (Galle og Grennfelt, 1983).

Ved de globalstrålingsforhold en har i Norden i vinterhalvåret (oktober-mars) ligger dissosiasjons-konstanten J innen 0-0,2 min⁻¹ i sørlige deler, og er mindre jo lenger nord en kommer. Da er dissosiasjonen av NO₂ til NO av liten betydning i gatetverrsnitt, mens den kan ha en viss betydning over tettstedet generelt, ved svært stabil sjiktning, når vertikal-utvekslingen er svært liten (Hertel og Berkowitz, 1989 (figur 4)).

Dette innebærer at O₃ i luften gir et bidrag til NO₂-konsentrasjonen som er tilnærmet lik forskjellen mellom O₃-konsentrasjonen i luften som kommer inn over tettstedet, og O₃-konsentrasjonen på det stedet en betrakter, enten det er i en gate, på et tak eller andre steder i tettstedet.

Dersom NO-konsentrasjonen, slik den ville være uten O_3 tilstede, er større enn O_3 -konsentrasjonen i luften som kommer inn over byen, vil O_3 være begrensende for NO_2 -bidraget fra R1-reaksjonen. I gater, der O_3 -konsentrasjonen om dagen oftest er nær null, får en altså fra R1-reaksjonen et NO_2 -bidrag som er tilnærmet lik regional O_3 -konsentrasjon. Tilbaketrukket fra gatene måles ofte en viss O_3 -konsentrasjon, enten fordi R1-reaksjonen ikke har gått langt nok, eller fordi en har en viss NO_2 -dissosiasjon (R3). Her vil derved NO_2 -bidraget som kommer fra NO-oksidasjon være mindre enn den regionale O_3 -konsentrasjonen.

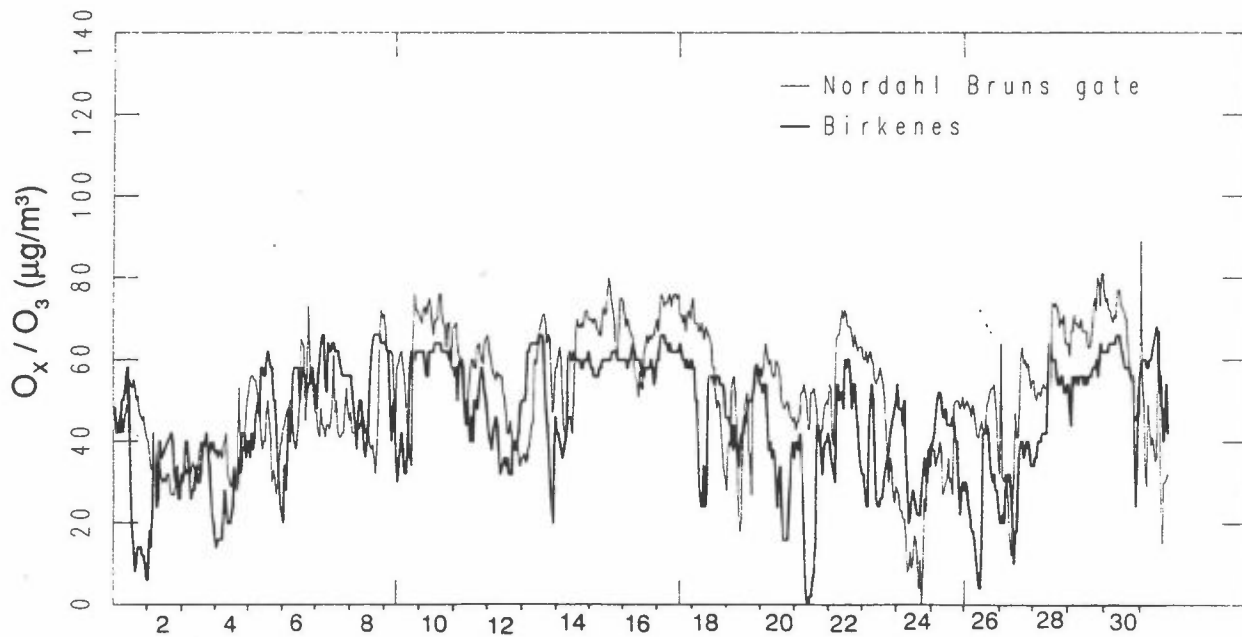
Summen av O_3 og NO_2 betegnes ofte O_x . I en luftpakke som gis tilskudd av NO, men der ingen NO_2 -kilder er tilstede, vil O_x være nær konstant, når reaksjon R1 dominerer.

Figurene 1-4 viser resultater fra O_x -målinger (O_3 og NO_2 målt hver for seg) som ble utført i Norge vinteren 1989.

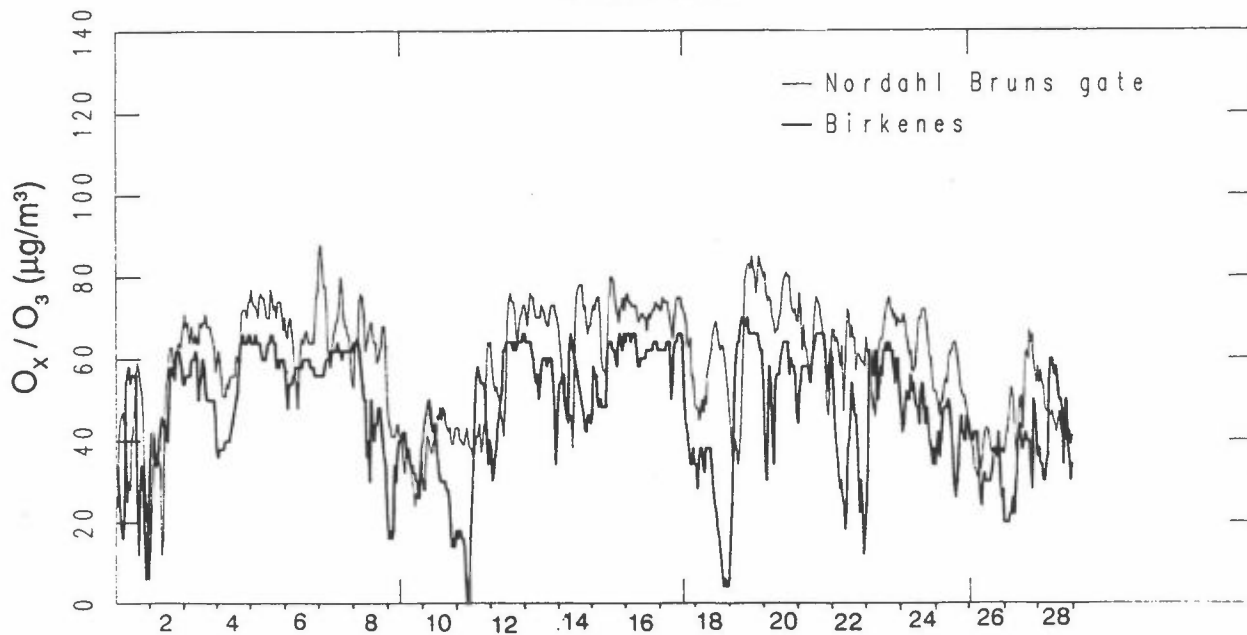
Figur 1 viser timesverdier av O_x ($O_3 + NO_2 - 0,04 NO_x$) på en by-bakgrunnstasjon i Oslo sentrum (Nordahl Bruns gt) og O_3 på en regional bakgrunnstasjon i Sør-Norge (Birkenes, ca. 15 km fra norskekysten, i skogkledd område) i januar og februar. (0,04 NO_x representerer tilnærmet det primære NO_2 -utslipp i gaten). I stor grad følger de to kurvene hverandre, når en tar hensyn til kommentarene til avvik (se liste over dette, side 7), som ofte skyldes:

- tidvis høyt NO_2 -nivå på regionalstasjonen (NO_2 er målt der som døgnverdier, ikke som timesverdier).
- stor avstand mellom regionalstasjonen og Oslo (ca. 250 km). En O_3 -stasjon i Østfold mot svenskegrensen (Prestebakke) har av og til et O_3 -nivå svært avvikende fra nivået på Birkenes.

Januar 1989



Februar 1989



Observasjoner

Figur 1: O_x ($\text{NO}_2 + \text{O}_3 - 0,04 \text{NO}_x$) på referensestasjon (Nordahl Bruns gate) i Oslo sentrum plottet mot O_3 på Birkenes (regionalstasjon) i Sør-Norge. Januar og februar 1989.

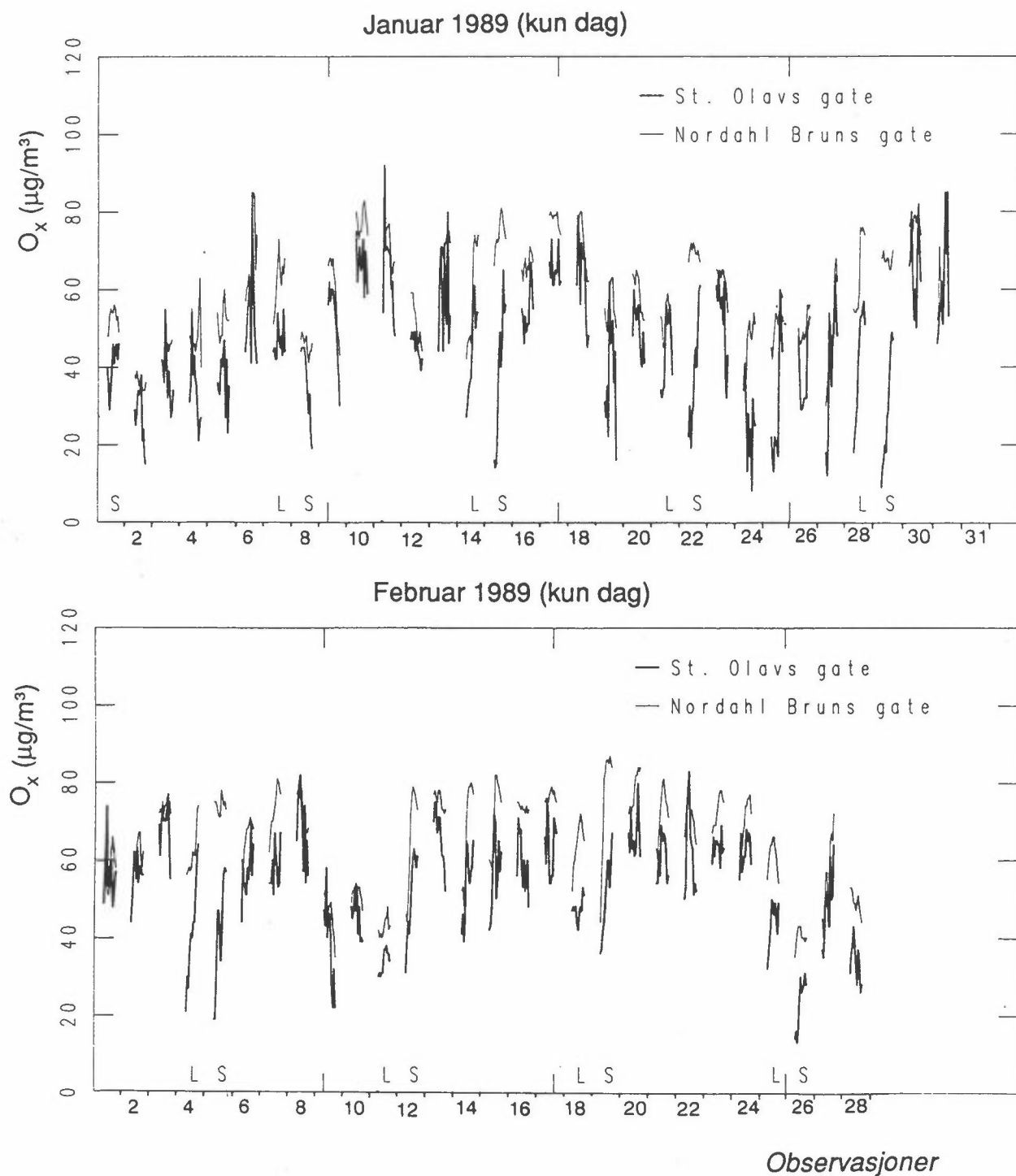
Kommentarer til figur 1

Januar

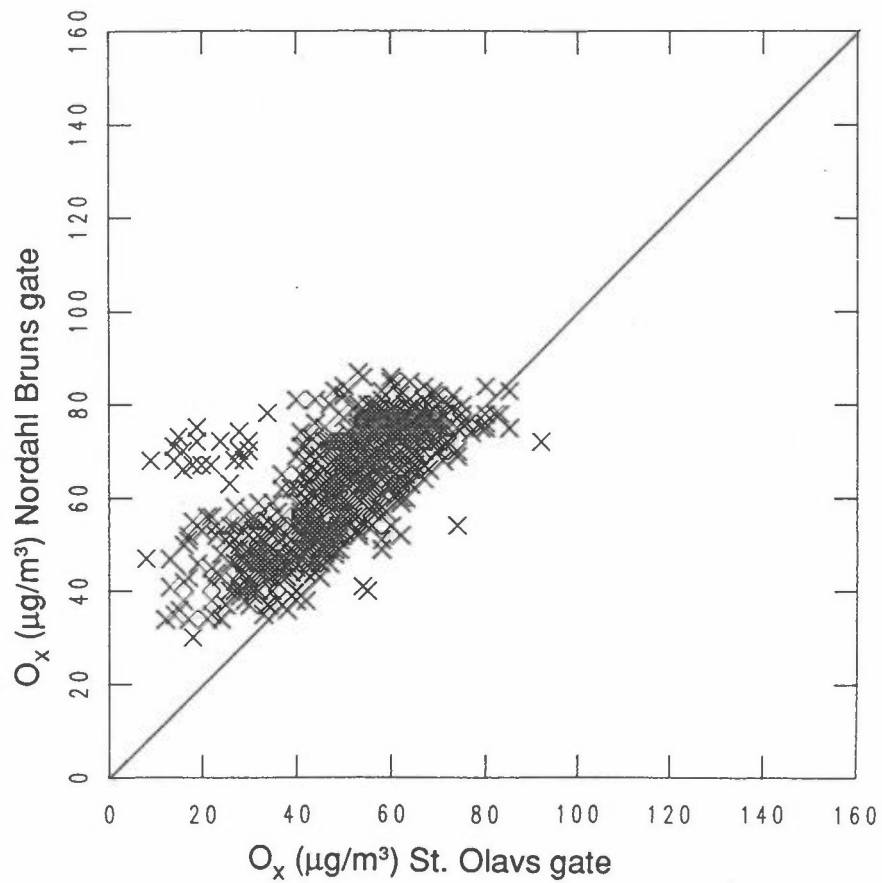
- 1 Mer O₃ på Prestebakke (ca. 30 µg/m³) enn Birkenes (ca. 10 µg/m³).
- 3-4 Relativt mye NO₂ på Birkenes, 8-11 µg/m³.
- 11 8 µg NO₂ på Birkenes.
- 13 O₃-flanken kommer senere på Prestebakke enn på Birkenes.
- 18 O₃- "dip" en forekommer ikke på Prestebakke.
- 20 22 µg NO₂ på Birkenes } O₃-dip på alle stasjoner
- 21 17 µg på Birkenes }
- 23-24 (Natt) Mye mindre O₃ på Prestebakke enn på Birkenes.
- 25 15 µg NO₂ på Birkenes.
- 26 16 µg NO₂ på Birkenes. Mye mindre O₃ på Prestebakke enn Birkenes.
- 27 22 µg NO₂ på Birkenes.

Februar

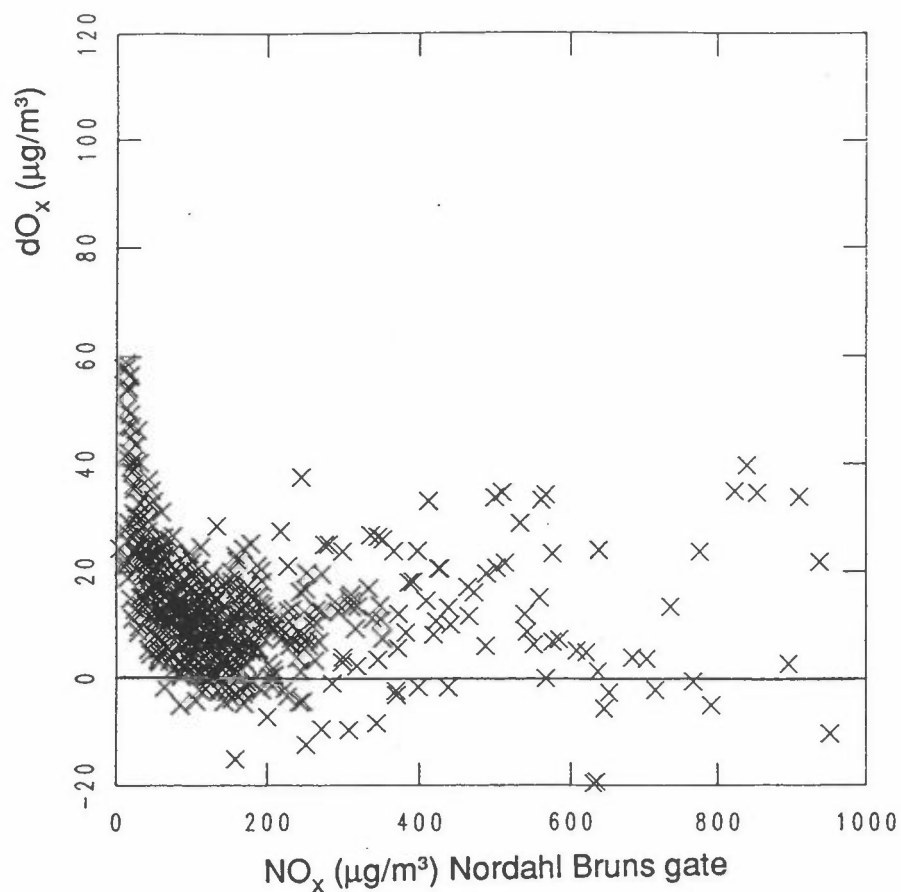
- 1 19 µg NO₂ på Birkenes.
- 8 Relativt større nedgang i O₃ på Birkenes enn på Prestebakke.
- 8-9 O₃-dip ikke synlig på Prestebakke.
- 10 23 µg NO₂ på Birkenes.
- 11 14 µg NO₂ på Birkenes.
- 18 14 µg NO₂ på Birkenes. O₃-dip kommer senere på Prestebakke enn på Birkenes.
- 22 21 µg NO₂ på Birkenes.



Figur 2: O_x , St. Olavs gate i Oslo ($NO_2 - 0,04 NO_x$) plottet mot O_x , referenstasjon (Nordahl Bruns gate), Oslo sentrum ($NO_2 + O_3 - 0,04 NO_x$). Januar og februar 1989.



Figur 3: O_x referansestasjon (Nordahl Bruns gate) mot O_x St. Olavs gate, Oslo. Januar-februar, 1989.



Figur 4: O_x -differanse mellom St. Olavs gate og referansestasjon, Oslo sentrum plottet mot NO_x referansestasjon. Januar og februar, 1989.

Årsaken til at O_x i Oslo sentrum stort sett ligger 5-10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ høyere enn O_3 på Birkenes, er NO_2 -nivået på Birkenes som ikke er målt kontinuerlig.

Det ville vært ønskelig med O_x -målinger regionalt mye nærmere Oslo.

Figur 2 viser timesverdier om dagen (0800-1800) av O_x på bakgrunnstasjonen i Oslo sentrum (Nordahl Bruns gt) og NO_2 på en gatestasjon i St. Olavs gt (ca. 13 000 biler/døgn). O_3 ble ikke målt på gatestasjonen. O_x er beregnet på følgende måte, for å korrigere for det direkte NO_2 -bidrag fra eksosutslipp ($a \cdot \text{NO}_x$):

$$\begin{aligned} \text{Nordahl Bruns gt.: } O_x &= \text{NO}_2 + O_3 - a \cdot \text{NO}_x & a &= 0,04 \\ \text{St. Olavs gt. } &: O_x &= \text{NO}_2 - a \cdot \text{NO}_x & a &= 0,04 \end{aligned}$$

NO_2 -andelen (a) i utslippet er satt til 0,04 i henhold til resultatene fra målingene av dette i gater (se kapittel 2.2).

I figur 2 følger de to kurvene hverandre rimelig godt, bortsett fra lørdager (L) og søndager (S), da O_3 -nivået i gaten kan være betydelig, fordi NO_x -forurensningen da er liten.

I figur 3 er O_x på de to stasjonene i januar plottet i x-y-plott. Lave O_x -verdier i St. Olavs gate er stort sett verdier fra lørdag og søndag. Majoriteten av punktene faller litt til venstre for 1:1-linjen. Dette tilsvarer at det er noe O_3 i gaten på dagtid på hverdager også, som ikke er målt.

I figur 4 er ΔO_x (differansen mellom O_x på de to stasjonene) plottet mot NO_x på bakgrunnstasjonen. Figuren viser at ΔO_x som ventet er relativt liten, stort sett innenfor 0-20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, bortsett fra ved lavt forurensningsnivå ($\text{NO}_x < 50-75 \mu\text{g}/\text{m}^3$), når O_3 -nivået i gaten (som ikke er målt og ikke inngår i beregningen) er høyt. En del av beregnet ΔO_x skyldes altså at O_3 i gaten ikke er målt og dermed ikke er med i beregningen.

Konklusjonen fra disse målingene er at det er en rimelig god tilnærming for vinterforhold i Norge å betrakte O_x som konstant, og derved at O_x -nivået regionalt er et godt utgangspunkt for å beregne det bidraget til NO_2 -konsentrasjonen i tettsteder som ikke skyldes direkte NO_2 -utslipp i tettstedet.

2.2 DIREKTE UTSLIPP AV NO_2

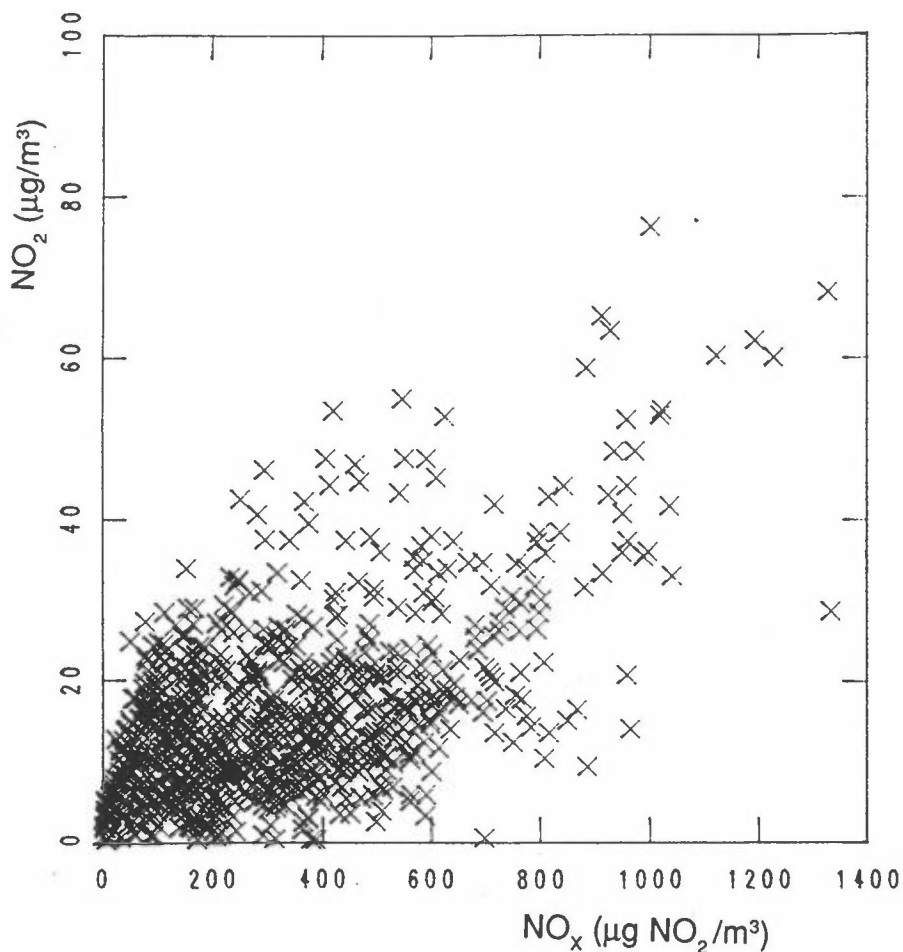
Hovedbidraget til utslipp av NO_x i tettsteder i Norden kommer i de fleste tilfeller fra biltrafikken, spesielt når en ser på den delen av utslippet som gir høy NO_x -eksponering i sentrumsområder. Bensindrevne og dieseldrevne biler gir totalt sett bidrag av sammenlignbar størrelse, men bidraget fra bensinbiler er gjerne noe større enn fra dieselmotorer.

Målinger i eksosutslippet fra biler har vist at NO_2 -andelen av NO_x varierer ganske mye, mellom 0 og ca. 0,5, avhengig av drivstofftype (bensin/diesel), motortype og motorbelastning (Lenner et al., 1987). NO_2 -andelen synes å være størst ved tomgang og lavt turtall/belastning.

I den eksisterende Nordisk beregningsmetode for bilavgasser (NBB) (NMR, 1984) settes NO_2 -andelen av NO_x i gatetverrsnitt lik 0,08. Dette var basert på resultatene av de målinger som var utført av NO_x og NO_2 langs gater i Sverige og Norge før 1980. Som referert av Hertel og Berkowitz (1989) benyttes en NO_2 -andel på 0,05 i den hollandske modellen CAR (Baars et al., 1988) mens Yamartino og Wiegand (1986) i sin modell CPBM bruker 0,087 som den NO_2 -andel som gir best overensstemmelse mellom målt og beregnet NO_2 , altså nær samme verdi som benyttes i NBB.

Vinteren 1989 ble det utført målinger av NO_2 og NO_x ved en rekke målestasjoner i Oslo med to-kanals registrerende måleinstrumenter, og elektronisk datalogging og midling. Vi regner at dette gir oss en statistisk usikkerhet på 1-2 $\mu g/m^3$ for NO_x og 2-4 $\mu g/m^3$ for NO_2 på måleområdet 0-2 mg/m^3 , som er det som ofte benyttes.

I figur 5 er plottet samhørende verdier av ΔNO_2 mot ΔNO_x for St. Olavs (gatestasjon) og Nordahl Bruns gt. (by-bakgrunn, referanse) på dagtid. Δ angir differensen mellom konsentrasjonen i gaten og på referansestasjonen. Dette skulle representere bidraget fra trafikkstrømmen i gaten. I St. Olavs gate er tungtrafikkandelen svært lav (<2%), slik at figur 5 representerer tilnærmet en trafikkstrøm av bensindrevne biler, med kjørehastighet ca. 30 km/h.



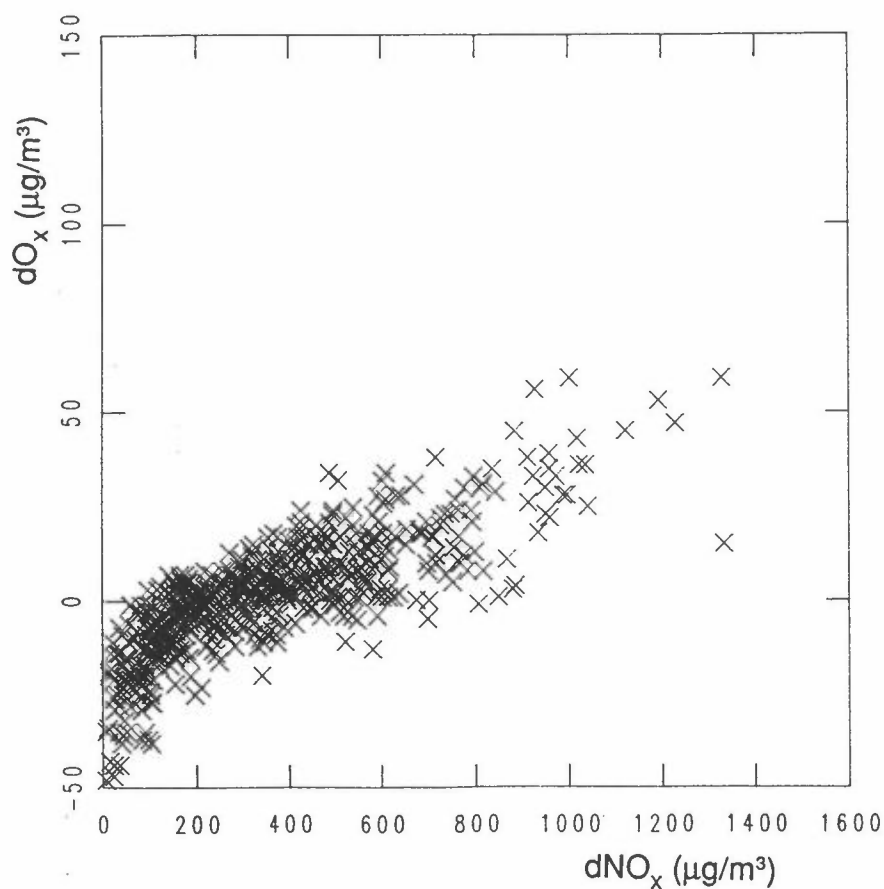
Figur 5: Differense- NO_2 mot differense- NO_x (St. Olavs gate minus referansestasjon Nordahl Bruns gt.), Oslo, januar-februar, 1989.

Det er stor spredning i NO_2 ved gitt NO_x . En del av denne spredningen skyldes innflytelsen av O_3 . O_3 -konsentrasjonen på referansestasjonen varierer mellom null og opp til kanskje

50-60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Denne O_3 er tilgjengelig for oksidasjon av NO i gaten, og gir derved et NO_2 -bidrag som kommer i tillegg til NO_2 -utslippet i gaten.

I figur 6 er O_3 -konsentrasjonen på referensestasjonen trukket fra:

$$\Delta\text{O}_x = \text{NO}_2 (\text{St.O}) - \text{NO}_2 (\text{ref}) - \text{O}_3 (\text{ref})$$



Figur 6: Differense- O_x plottet mot differense- NO_x (St. Olavs gate-referensestasjon), Oslo, januar-februar, 1989.

O_3 -konsentrasjonen i gaten antas å være nær eller lik null. ΔO_x skulle da gi uttrykk for NO_2 -bidraget fra trafikken i gaten.

Spredningen i figur 6 er mye mindre enn i figur 5, og figuren antyder en lineær sammenheng mellom NO_2 og NO_x som gir en NO_2 -andel på ca. 5%.

De små negative ΔO_x -verdiene skyldes at O_3 -konsentrasjonen i gaten ikke er null, men har en viss verdi, spesielt når NO_x -nivået er lavt. De store negative ΔO_x -verdier ved lav NO_x i figur 5 representerer i stor grad lørdager og søndager, da forurensningsnivået i gaten er ganske lavt og O_3 i gaten relativt høy.

3 MODELL FOR BAKGRUNNSBIDRAG TIL NO_2 -KONSENTRASJONEN I GATER

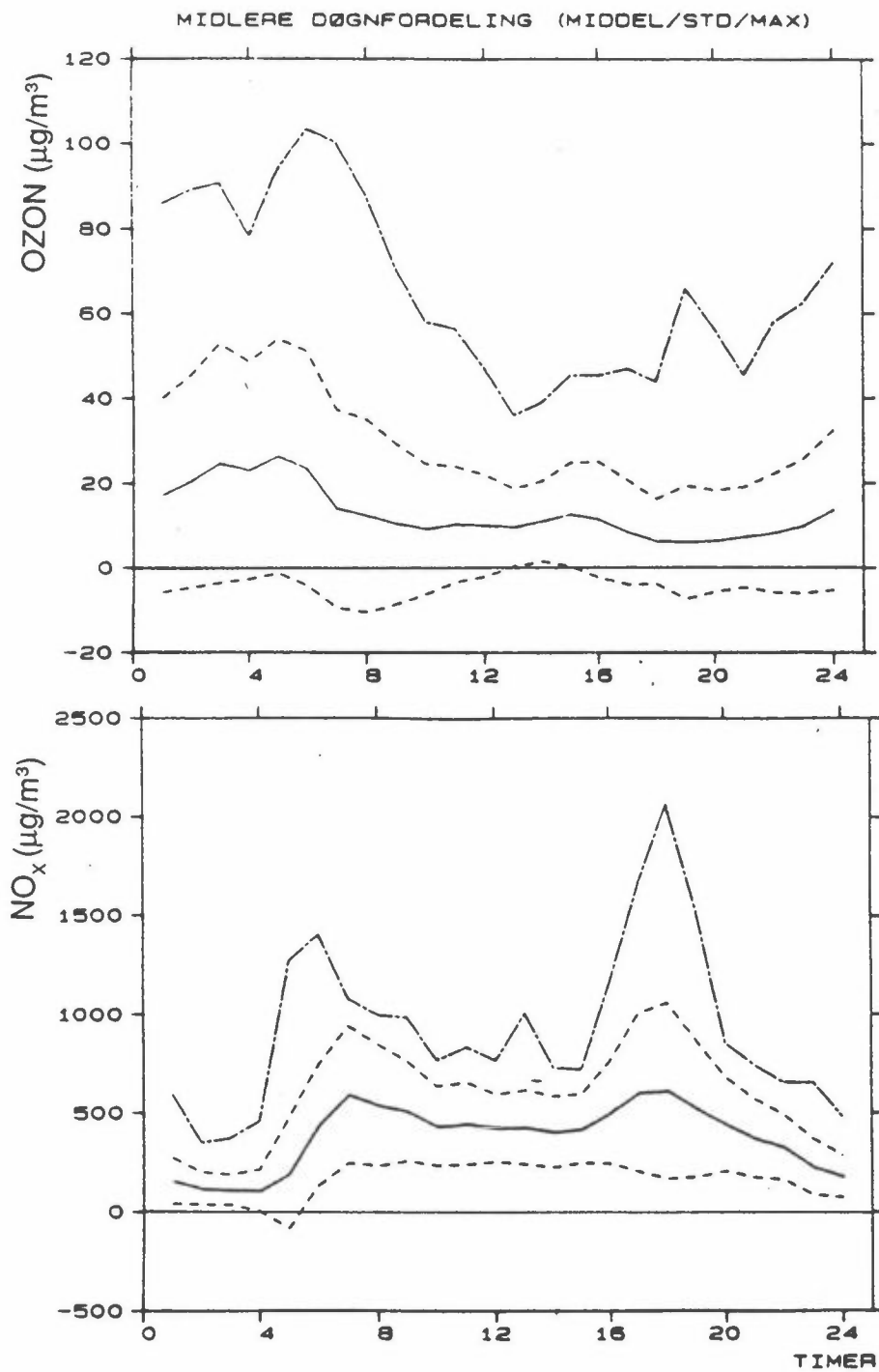
Konsentrasjonen av NO_2 i gater ved høy forurensningsgrad om vinteren i Norden skyldes følgende bidrag:

1. Direkte utslipp av NO_2 fra trafikkstrømmen i gaten.
2. Bidrag fra direkte NO_2 -utslipp fra bileksos i andre gater og fra andre kilder i tettstedet.
3. Bidrag fra reaksjonen mellom O_3 og NO innen tettstedet.
4. Bidrag fra NO_2 -konsentrasjonen regionalt (utenfor tettstedet).

Gatebidraget beregnes ut fra NO_2 -utslippet i gaten, som en andel, a , av NO_x -utslippet fra trafikkstrømmen i gaten (se kapittel 2.2).

Bidraget fra direkte NO_2 -utslipp fra bileksos i andre gater og fra andre kilder innen tettstedet beregnes som en andel, b , av bybakgrunns-konsentrasjonen av NO_x i området der gaten er. Bakgrunnsverdien av NO_x kan baseres på målinger, eller beregninger basert på utslippsoversikt og spredningsberegninger.

STASJON : ST.OLAVSG
PERIODE : 1. 3.87 - 31. 3.87
PARAMETER : OZON
ENHET : UG/M3



Figur 7: Resultater av målinger av O_3 , NO_x og NO_2 , St. Olavs gate i Oslo, mars 1987.

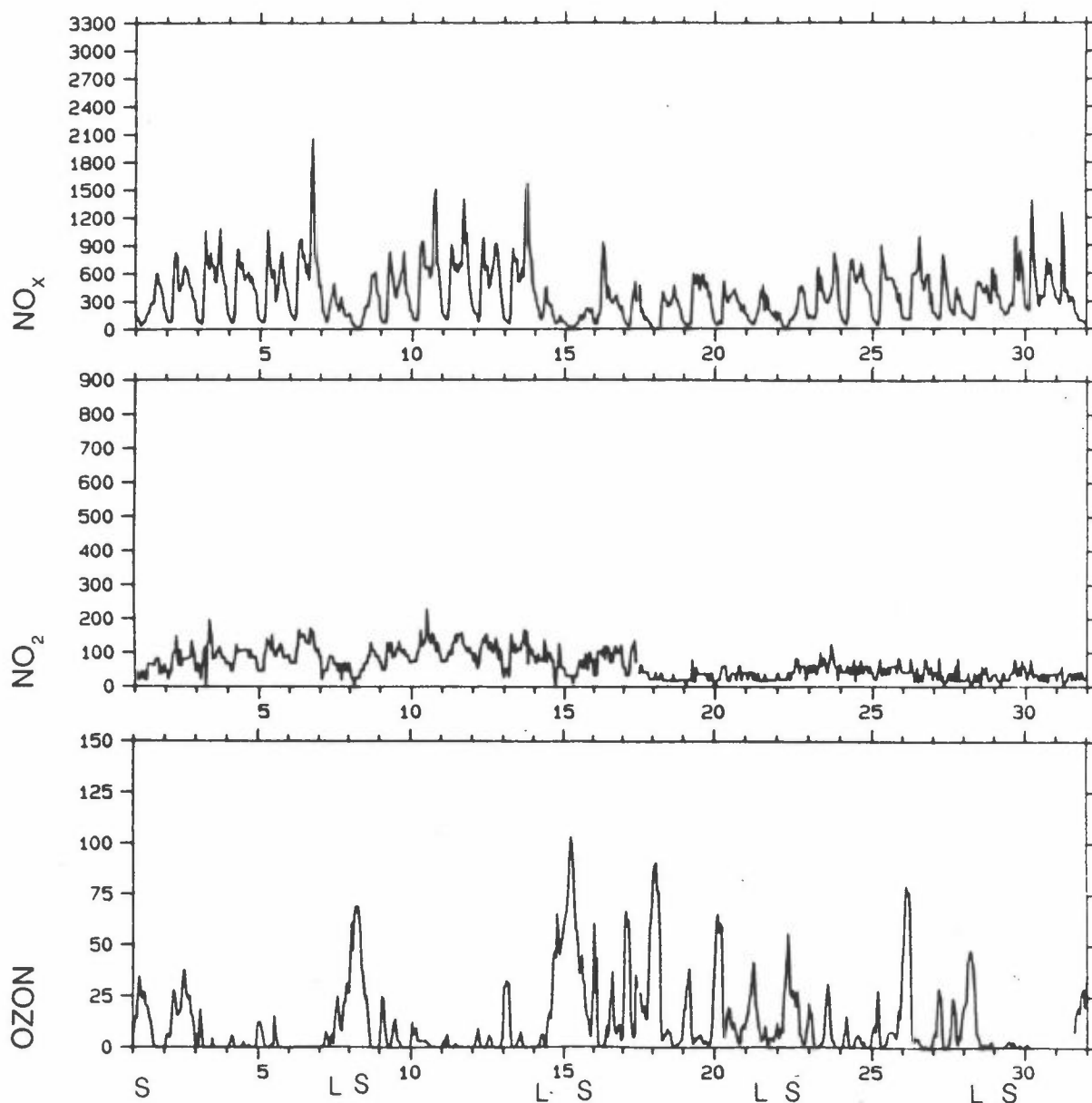
Bidraget fra NO_2 -konsentrasjonen regionalt, dvs. NO_2 -konsentrasjonen i luften som kommer inn over tettstedet, adderes til de øvrige bidrag. Dette bidraget er oftest lite, men kan i langtransport-episoder komme opp i mot kanskje $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Da er tilgjengelig den regionale O_3 -konsentrasjonen liten.

Bidraget fra reaksjonen mellom O_3 og NO innen tettstedet beregnes fra O_3 -konsentrasjonen i luften som kommer inn mot tettstedet (O_3 regionalt).

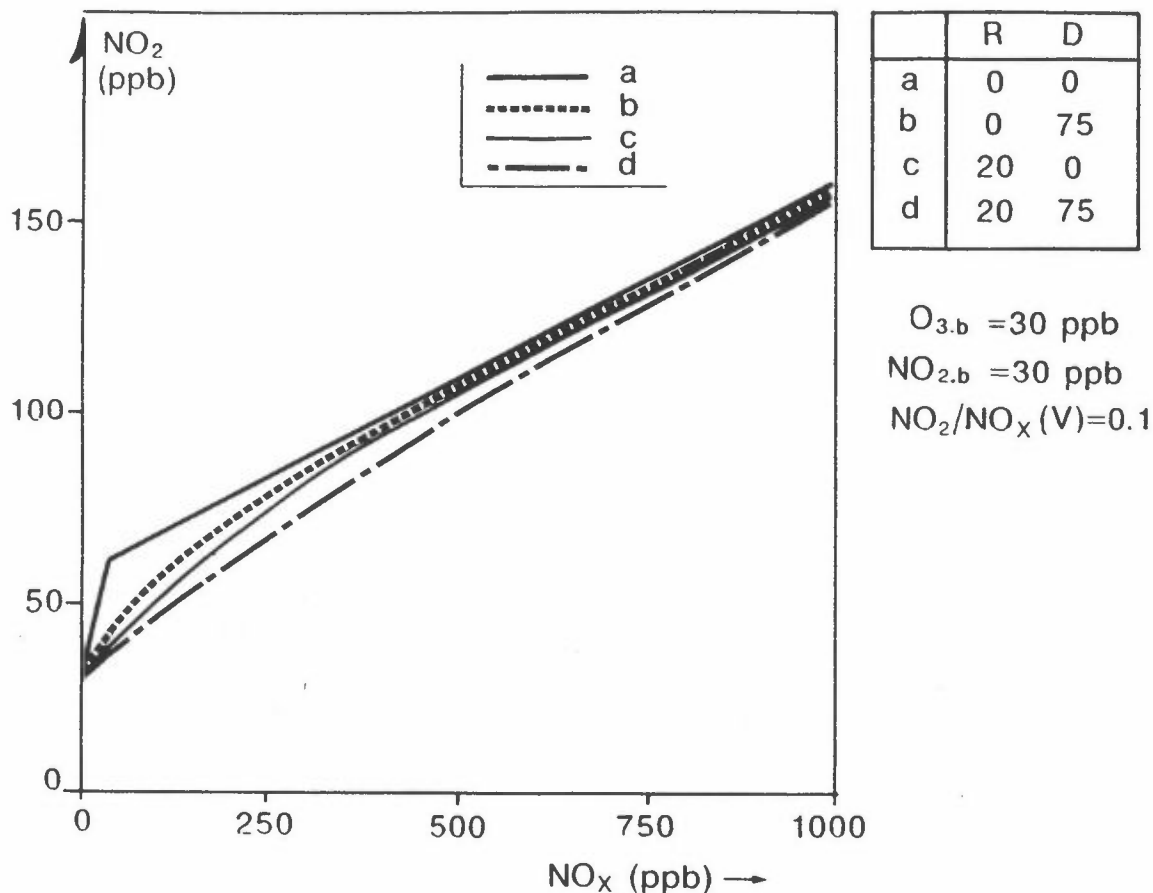
Ozonet spises etterhvert opp og gir en NO_2 -konsentrasjon på ethvert sted innen tettstedet som er lik O_3 -tapet i forhold til O_3 ,reg. Dette gjelder så lenge NO -konsentrasjonen (uten O_3 tilstede) er større enn O_3 ,reg dvs. større enn ca. 50 ppb i nordiske tettsteder om vinteren. Denne betingelsen er oppfylt alle steder der det er et luftforurensningsproblem av bileksos.

I gater er O_3 -konsentrasjonen, O_3 ,g, nær null i trafikktiden. Figur 7 viser som eksempel konsentrasjonen av O_3 og NO_x i St. Olavs gate i Oslo (årsdøgnstrafikk 13 000) i mars 1987. Om dagen, når en ser bort fra lørdager og søndager, var O_3 ,g i gjennomsnitt rundt 5 ppb, ved en NO_x -konsentrasjon i gjennomsnitt om dagen på ca. 250 ppb, og et NO_2 -nivå i bybakgrunn på ca. 40 ppb. For en slik situasjon har Hertel og Berkowitz (1989) med sin NO_2 -modell for gatemiljø beregnet et O_3 ,g-nivå på knapt 10 ppb, når NO_2 -dissosiasjonen settes lik null, og det benyttes en utvekslingskoeffisient, D , på 75 ppb, som tilsvarer en vindstyrke over tak på vel 2 m/s for St. Olavs gate (se figur 8). Det er altså for dette tilfellet ganske god overensstemmelse mellom målingene og NO_2 -modellen.

Hertel og Berkowitz' beregninger vist i figur 8 viser at for vinterforhold i Norden, med fotokjemisk likevektskonstant ($R = J/K_1$) nær lik null, og en utvekslingskoeffisient (D) mindre eller lik 50-70 ppb, så er O_3 ,g i rushtiden i forurensede gater (med $\text{NO}_x > 250$ ppb) mindre enn 10 ppb, og i situasjoner med maksimal forurensningsgrad er O_3 ,g nær null.



Figur 7: Resultater av målinger av O₃, NO_x og NO₂, St. Olavs gate i Oslo, mars 1987.



Figur 8: NO_2 -konsentrasjonen i en gate, som funksjon av gatens NO_x -konsentrasjon (fra utslippet i gaten) beregnet av Hertel og Berkowitz (1989).

$R = J/k_1$: fotokjemisk likevektskonstant (ppb)

D : utvekslingskoeffisient (ppb)

b : bakgrunn i tettstedet

v : "vehicle", representerer utslippet fra trafikkstrømmen i gaten

Dette innebærer at når det gjelder å estimere høye forureningsverdier for NO_2 , kan O_3 ,_g med god tilnærming settes til 0-5 ppb. Derved kan NO_2 -bidraget i gaten fra O_3 -NO-reaksjonen med god tilnærming settes lik regional O_3 -konsentrasjon, eventuelt med et fradrag på 0-5 ppb, for å ta hensyn til en viss O_3 ,_g.

På bakgrunn av ovenstående, kan følgende NO₂-modell for gater formuleres, som gjelder forhold når NO_x-konsentrasjonen i gaten er større enn 250 ppb:

$$\text{NO}_{2,g} = a \cdot \text{NO}_{x,v} + b \cdot \text{NO}_{x,b} + \text{NO}_{2,reg} + (\text{O}_{3,reg} - \text{O}_{3,g}) \quad (1)$$

der

NO_{x,v} er NO_x-konsentrasjonen i gaten fra NO_x-utslipp i gaten (beregnes med f.eks. Nordisk beregningsmetode).

NO_{x,b} er bakgrunnskonsentrasjon av NO_x nær gaten (på tak, upåvirket av NO_x-utslippet i gaten).

NO_{2,reg} er NO₂-konsentrasjonen i luften som kommer inn over byområdet.

O_{3,reg} er O₃-konsentrasjonen i luften som kommer inn over byområdet.

O_{3,g} er O₃-konsentrasjonen i gaten (settes til 0-5 ppb).

I den nåværende NBB (NMR, 1984) ligger følgende model for NO_{2,g} til grunn (Larssen, 1984):

$$\text{NO}_{2,g} = a \cdot \text{NO}_{x,v} + \text{NO}_{2,b} + \text{O}_{3,b} \quad (2)$$

der

NO_{2,b} er NO₂-konsentrasjonen i by-bakgrunn nær gaten.

O_{3,b} er O₃-konsentrasjonen i by-bakgrunn nær gaten.

Her var gatekonsentrasjonen av O₃, O_{3,g}, satt lik null. O_{3,b} ble også satt tilnærmet lik null for gater i sentrum av tettsteder. O₃-målinger som nå er utført i tettsteder, bl.a. i Oslo, viser at det er en for grov tilnærmelse. O_{3,b} kan være opptil 10-20 ppb inne i tettsteder.

Modellene (1) og (2) er like når en setter:

$$\text{NO}_2, b + \text{O}_3, b = b \cdot \text{NO}_x, b + \text{O}_3, \text{reg} \quad (3)$$

eller

$$\text{NO}_2, b = b \cdot \text{NO}_x, b + (\text{O}_3, \text{reg} - \text{O}_3, b) \quad (4)$$

som åpenbart er korrekt.

Den tidligere modellen (2) ga altså et korrekt uttrykt for gatekonsentrasjonen av NO_2 ved høy luftforurensningsgrad, med den tilnærming at $\text{O}_3, g = \text{O}_3, b = 0$.

På grunnlag av modellen (1) kan følgende uttrykk settes opp for det samlede NO_2 -bidrag i gaten som ikke skyldes NO_2 -utslippet i gaten:

$$\text{NO}_2, b = b \cdot \text{NO}_x, b + \text{NO}_2, \text{reg} + (\text{O}_3, \text{reg} - \text{O}_3, g) \quad (5)$$

Denne modellen gir ikke uttrykk for bakgrunnsverdien av NO_2 i det aktuelle tettstedet. Modellen gir istedet uttrykk for det NO_2 -bidrag i gaten som ikke skyldes gatebidraget, NO_2, v .

Med denne modellen fjerner en seg fra den usikkerhet som ligger i å bestemme hvor stor del av O_3, reg som i et gitt bakgrunnssted i tettstedet er oksidert til NO_2 . En reduserer datakravet til å gi et tall for regional O_3 -konsentrasjon (og regional NO_2 -konsentrasjon), som vil være det samme for hele tettstedet. Dette vil gi et sikrere grunnlag for å estimere NO_2 i gater, nettopp fordi O_3 -konsentrasjonen i ulike deler av tettstedet kan variere, og fordi omfanget av målinger av O_3 innen tettsteder i Norden er lite. Målinger av O_3 på regionale bakgrunnsstasjoner utføres i ganske stort omfang i Norden (se kapittel 4). Riktignok varierer regionalt O_3 -nivå fra område til område bl.a. fordi O_3 absorberes i vegetasjonen, men den variasjonen kommer en ikke utenom å måtte forholde seg til. Målinger av regional NO_2 -bakgrunn (timesverdier) er gjort i et

visst omfang. Dette er vanligvis lavt, <5-10 ppb, og i den grad det i episoder er en del høyere enn dette, øker NO_2 -konsentrasjonen på bekostning av O_3 , slik at O_x er nær konstant.

En annen fordel med modellen (5) er at gatebidrag og "bakgrunn" skilles fra hverandre, på samme måte som i nåværende modell (2).

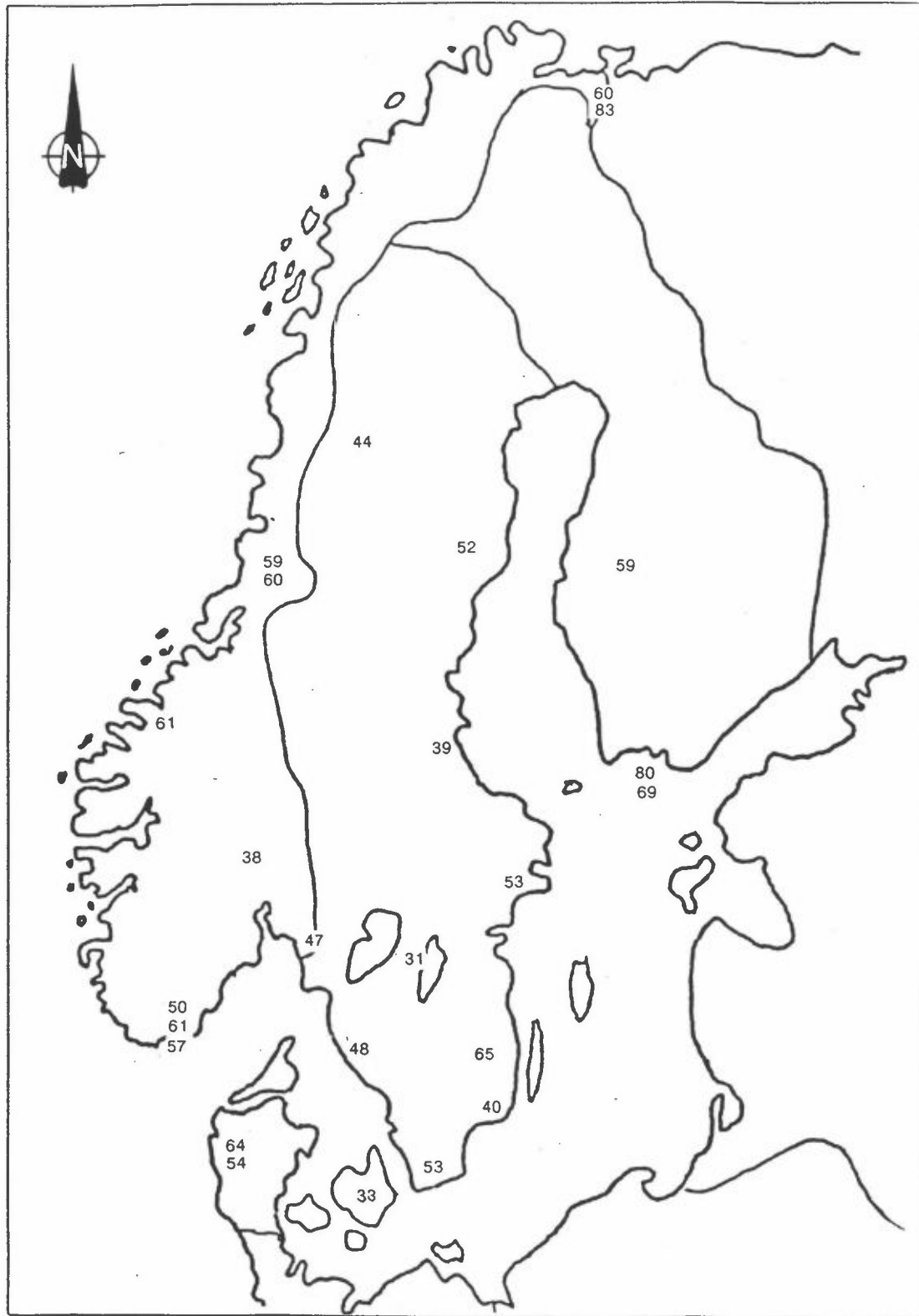
Hertel og Berkowitz's NO_2 -modell for gater beskriver mer nøyaktig NO_2 -konsentrasjonen i gater som funksjon av NO_x b, O_3 b og NO_2 b (over tak) og fotokjemisk likevekt og utveksling med luften over tak (figur 8). Modellen krever kunnskap om O_3 b og NO_2 b, i hvert aktuelle område av tettstedet. O_3 og NO_2 kan variere mye innen tettstedet, og er komplisert å modellere. Hertel og Berkowitz' beregninger viser imidlertid at i tilfeller med relativ høy forurensningsgrad i nordiske tettsteder om vinteren (NO_x g >250 ppb) representerer modell (5) for NO_2 -bidrag fra "bakgrunnen" en god tilnærmelse til virkeligheten.

4 REGIONALE O_3 -KONSENTRASJONER I NORDEN

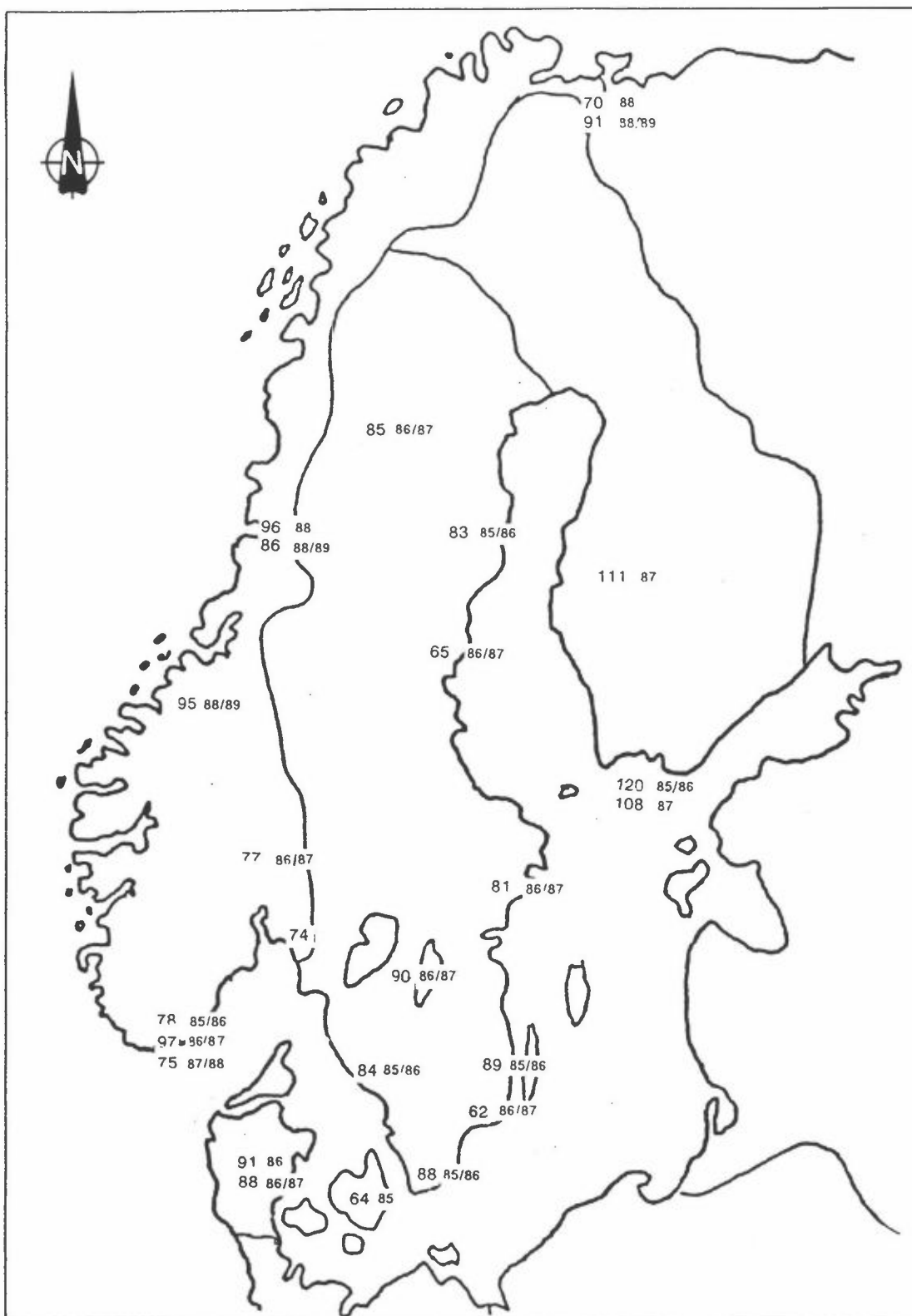
O_3 måles kontinuerlig på en rekke regional-stasjoner i Norden. Vi har hatt tilgang på data fra 2 stasjoner i Danmark, 6 i Norge, 9 i Sverige og 2 i Finland, gjennom OXIDATE-programmet i OECD.

Figur 9-12 gir resultater fra disse målingene. Figur 9 viser middelerdi av O_3 for ulike vinterhalvår (1985-86, 1986-87, 1987-88). Figur 10 og 11 viser middelerdi pluss 2 standard avvik for rushtidene henholdsvis kl 08 og kl 16, for vinterhalvår. Figur 12 viser maksimal O_3 -verdi målt kl 16 om ettermiddagen, vinterhalvår.

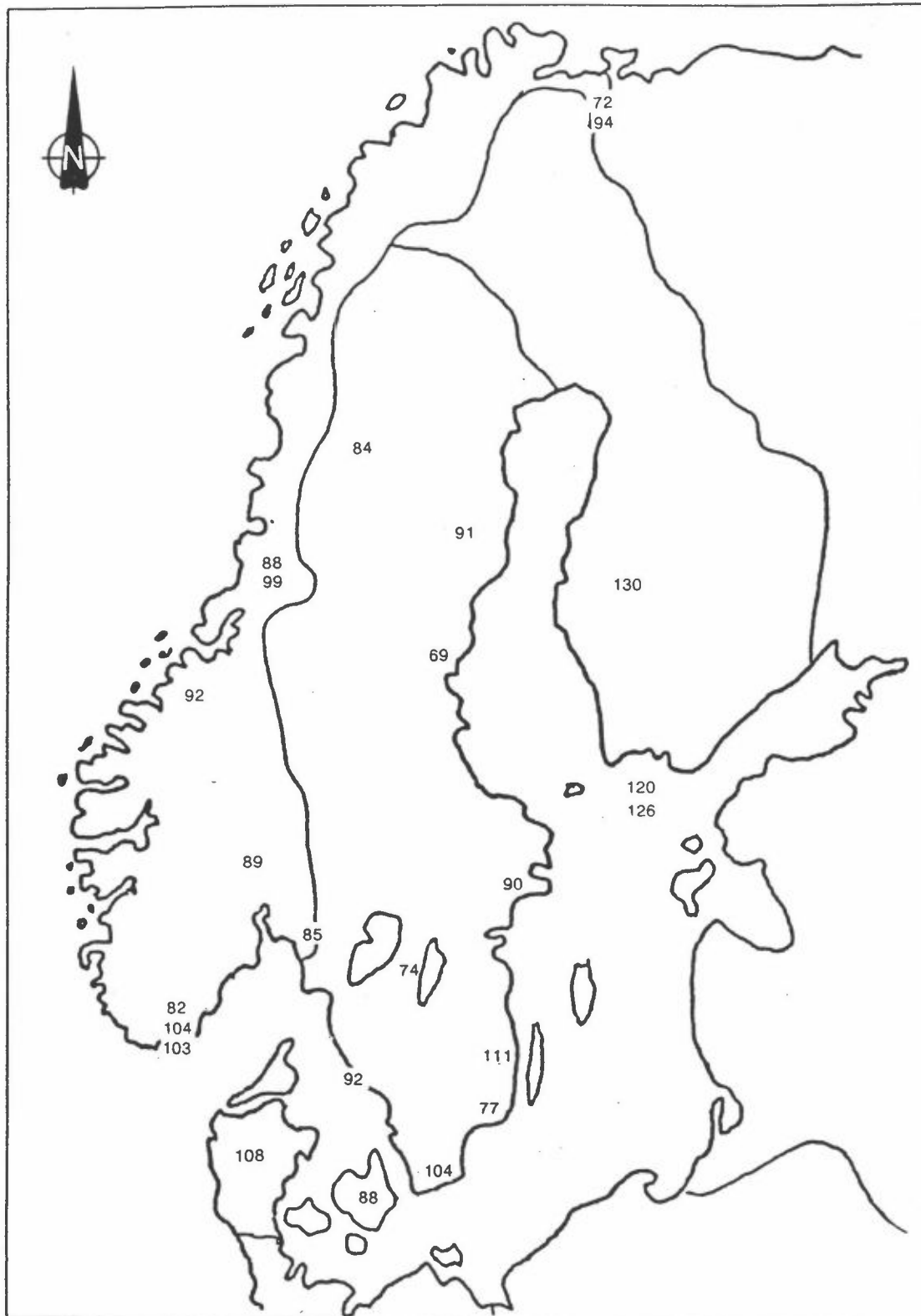
I forbindelse med estimat av 99-prosentilverdier eller andre høye prosentiler av forurensning i gate, synes dataene for $\bar{x} + 2\sigma$ å være mest interessante. Dette varierer mellom 75 på noen steder i Sør-Sverige til 130 i Finland.



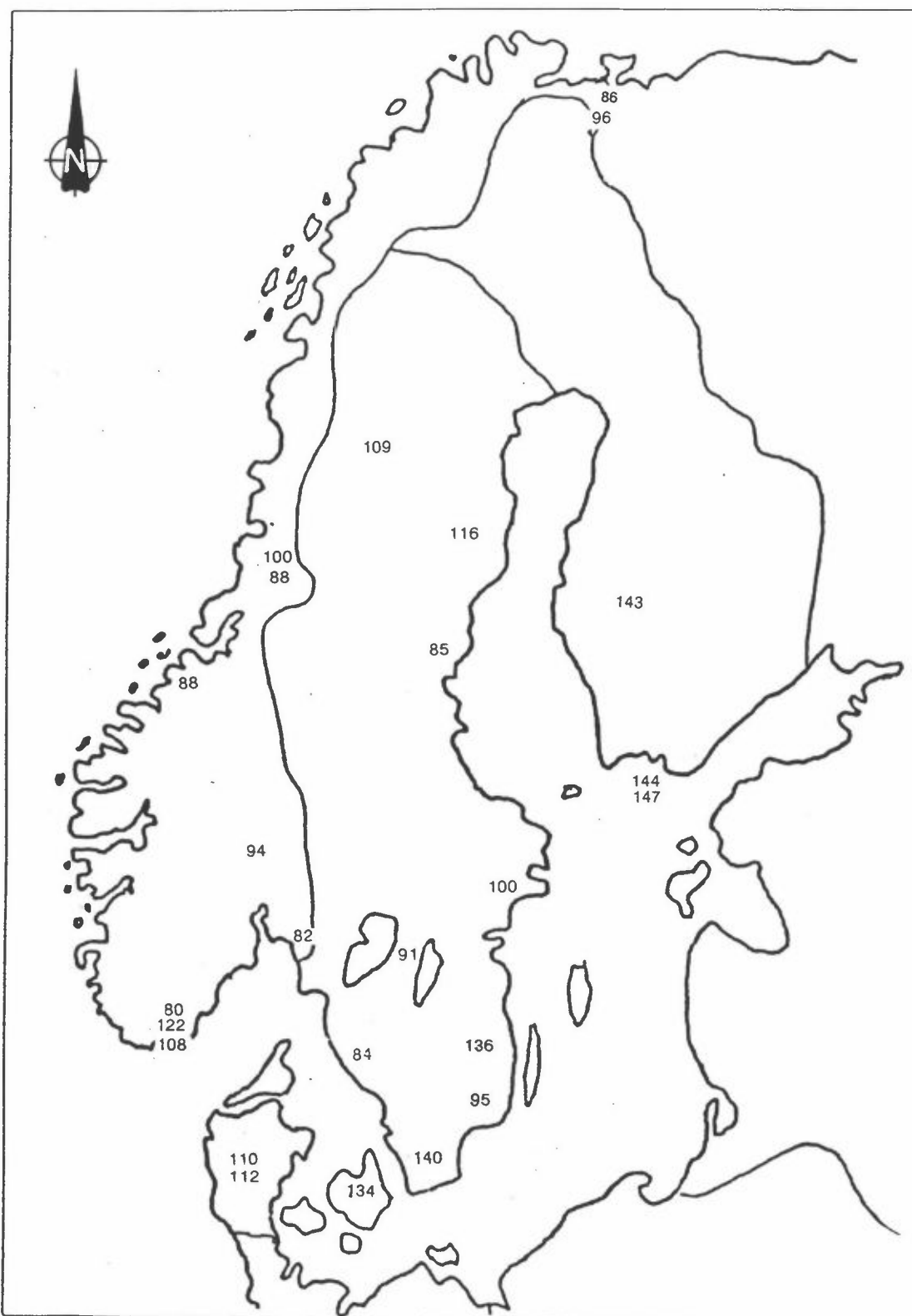
Figur 9: O₃-konsentrasjon på regional-stasjoner i Norden. Mid-
delverdi, vinterhalvår.



Figur 10: O₃-konsentrasjon på regional-stasjoner i Norden. Mid-
delverdi pluss to standard avvik, kl 08, vinterhalv-
år.



Figur 11: O₃-konsentrasjon på regional-stasjoner i Norden. Mid-
delverdi pluss to standard avvik, kl 16, vinterhalv-
år.



Figur 12: O_3 -konsentrasjon på regional-stasjoner i Norden. Maksimalverdi kl 16, vinterhalvår.

Bl.a. disse O_3 -målingene vil danne grunnlaget for å foreslå hvilke regionale O_3 -verdier som skal inngå i Nordisk beregningsmetode for å kunne beregne bakgrunnsbidraget til NO_2 i bygater under forhold som gir høy forurensning, dvs. i rushtiden. Det må da tas hensyn til stasjonenes og tettstedenes lokale plassering i forhold til vegetasjon og kyst, samt til samtidige verdier av regional NO_2 -bakgrunn.

Figur 12 viser at maksimal regional O_3 -konsentrasjon i rushtiden kl 16 om vinteren i Norden ligger innen området 86-147 $\mu g/m^3$ for ulike stasjoner og vinterhalvår. Middelveien pluss to standard avvik ligger for kl 08 innen området 62-120 $\mu g/m^3$ og innenfor 69-130 $\mu g/m^3$ for kl 16 (figur 11 og 12). Det synes ikke å være tydelige geografiske trender. Variasjonene fra stasjon til stasjon kan skyldes lokale forhold, hva gjelder f.eks. absorpsjon i vegetasjon.

5 FORSLAG TIL NOMINELLE BAKGRUNNSVERDIER I REVIDERT NORDISK BEREGNINGSMETODE FOR BILAVGASSER

Modellen utledet i kapittel 3 (ligning 5, side 21) danner utgangspunkt for forslaget til bakgrunnsverdier i revidert Nordisk beregningsmetode:

$$NO_{2,b} = b \cdot NO_{x,b} + NO_{2,reg} + O_{3,reg} - O_{3,g} \quad (5)$$

Bakgrunnsverdiene skal representere en situasjon som tilsvarer 99%-verdien på årsbasis av forurensning i gaten, dvs. en situasjon med relativt høy forurensning. Da vil ozon-konsentrasjonen i gaten være svært liten: $O_{3,g} \approx 0$.

Ligning 5 forenkles til:

$$\text{NO}_2, b = b \cdot \text{NO}_x, b + \text{O}_x, \text{reg} \quad (6)$$

$$\text{der } \text{O}_x, \text{reg} = \text{NO}_2, \text{reg} + \text{O}_3, \text{reg}$$

NO_x, b , konsentrasjonen i by-bakgrunn av NO_x , kan bestemmes fra målinger eller beregninger med spredningsmodeller, basert på utslippskartlegging. Slike målinger eller beregninger er ikke utført i stor nok grad i Norden til at et forslag til nominelle bakgrunnsverdier kan baseres på dette.

Vi vurderer det slik at de bakgrunnsverdier for CO som ble foreslått i NBB 1984 fortsatt er det beste utgangspunkt for å foreslå bakgrunnsverdier av CO og NO_2 i byer der biltrafikken er hovedkilden. Disse verdiene er gjengitt i tabell 1. De er modifisert, idet CO-verdien for den største byklassen i vindzone 2 er redusert fra 6 til 5 mg/m^3 , basert på vintermålinger av CO i Oslo sentrum gjennom en årrekke.

Tabell 1: Forslag til bakgrunnsverdier, tilsvarende 99-prosentiler.

	CO		NO_2	
	Indre by	Ytterområde	Indre by	Ytterområde
<u>Vindzone 1</u>				
<50 000	1	0,5	9+60*	5+60
50 000-200 000	1,5	0,8	13+60	7+60
>200 000	2,5	1,3	23+60	11+60
<u>Vindzone 2</u>				
<50 000	2	1	18+60	9+60
50 000-200 000	3	1,5	26+60	13+60
>200 000	5	2,5	45+60	22+60

* Regional O_x .

$\text{NO}_{x,b}$ kan estimeres fra CO_b :

$$\text{NO}_{x,b} = q \cdot \text{CO}_b \quad (7)$$

Dette gir følgende modell for $\text{NO}_{2,b}$:

$$\text{NO}_{2,b} = b \cdot q \cdot \text{CO}_b + \text{O}_{x,reg} \quad (8)$$

NO_2 -andelen av NO_x i bileksosutslipp, b , er i NBB 1984 satt til 0,08. Dette stemmer godt med dagens kunnskap:

Bensineksos: $b_b = 0,03 - 0,04$ (biler uten katalysator)

Dieseleksos: $b_d = 0,15$

For et trafikkarbeid der 10% gjøres av diesel lastebiler gir dette en samlet NO_2 -andel på 8%, forutsatt at det spesifikke NO_x -utslippet (i g/km) er 6 ganger større for lastebilene enn for personbilene.

q , forholdet mellom NO_x og CO i bybakgrunn, når hovedkilden er trafikk, er i Oslo bestemt ved måling under vinterforhold i tiden 1985-90, til 0,11 (middelverdi).

$\text{O}_{x,reg}$ varierer med tiden innenfor 20-150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. I kapittel 4 er vist at målingene i Norden gir regionale O_3 -konsentrasjoner innenfor 70-130 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, når det gjelder middelverdi + to standard avvik, i rushtidene om vinteren. For ikke å overvurdere NO_2 -bidraget i bysentrum som skyldes regional O_3 , foreslås $\text{O}_{3,reg} = 60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ som nominell verdi.

Foreslått modell for NO_2 -bakgrunn på 99%-nivå blir da:

$$\text{NO}_{2,b} = 0,08 \cdot 0,11 \cdot \text{CO}_b + 60 [\mu\text{g}/\text{m}^3] \quad (9)$$

De resulterende bakgrunnsverdiene for NO_2 er gitt i tabell 1.

Det presiseres at målinger av bakgrunnsverdier av NO_x er å foretrekke framfor bruk av denne enkle modellen. Når målinger

eller mer nøyaktige beregninger med spredningsmodeller ikke foreligger, vil modellen (9) gi et estimat for 99-prosentilen.

Bakgrunnsverdiene i tabell 1 gjelder forholdene før katalysatorbiler ble introdusert. Skjerpede avgasskrav, i kombinasjon med endringer i trafikkarbeid i det området der beregninger gjøres, vil gi endrete bakgrunnsverdier for forurensning framover i tid.

I områder der bilavgasser dominerer utslippene, kan endringer i bakgrunnsverdiene, i tiden etter at skjerpede avgasskrav er innført, estimeres på følgende måte: Konsentrasjonene i tabell 1 multipliseres med en faktor k_s som beregnes etter følgende formel:

$$k_s = \frac{k_{red} \cdot k_{traf} + a}{1 + a}$$

k_{red} : Utslippsreduksjon i forhold til 1990-nivå som følge av skjerpede avgasskrav.

k_{traf} : Forholdet mellom det totale trafikkarbeidet i det framtidige beregningsåret og i dag (bilkm/døgn) i tettstedsområdet.

a : Forholdet mellom andre kilders bidrag (dvs. ikke biltrafikk) til bakgrunnsforurensning, og det totale bakgrunnsnivået. Dersom det ikke finnes målinger å støtte seg til, anbefales en verdi på 0,2 brukt.

6 REFERANSER

Baars, H.P., Huygen, C., Eerens, H. og Sliggers, C.J. (1988) Handleiding CAR programme. Eindhoven, RIVM.

Galle, B. og Grennfelt, P. (1983) Höghaltepisoder av kväveoxider i Göteborg, 1975-1981. Göteborg (Institutet för Vatten och Luftvårdsforskning, Rapport B277).

Hertel, O. og Berkowitz, R. (1989) Modelling NO₂-concentrations in a street canyon. Roskilde, Danmarks miljøundersøgelser (DMU LUFT A-131).

Hov, Ø. og Larssen, S. (1984) Street canyon concentrations of nitrogen dioxide in Oslo. Measurements and model calculations. Environ. Sci. Technol., 13, pp. 82-87.

Larssen, S. (1984) Enkel modell for beregning av NO₂-konsentrasjonen ved gater. Lillestrøm (NILU TR 2/84).

Lenner, M. (1987) Nitrogen dioxide in exhaust emissions from motor vehicles. Atmos. Environ., 21, 37-43.

NMR (1984) Nordisk beregningsmetode for bilavgasser. Sluttrapport august 1984. Lillestrøm (NILU OR 56/84).

Yamartino, R.J. og Wiegand, G. (1986) Development and evaluation of simple models for flow, turbulence and pollutant concentration fields within an urban street canyon. Atmos. Environ., 20, 2137-2156.



NORSK INSTITUTT FOR LUFTFORSKNING (NILU)
NORWEGIAN INSTITUTE FOR AIR RESEARCH
POSTBOKS 64, N-2001 LILLESTRØM

RAPPORTTYPE OPPDRAGSRAPPORT	RAPPORTNR. OR 97/92	ISBN-82-425-0449-0	
DATO 18/1-93	ANSV. SIGN. P. Byg	ANT. SIDER 31	PRIS NOK 60,-
TITTEL Modell for bakgrunnsbidraget til NO ₂ -konsentrasjonen i gater		PROSJEKTLEDER St. Larssen	
		NILU PROSJEKT NR. O-8839	
FORFATTER(E) St. Larssen		TILGJENGELIGHET * A	
		OPPDRAGSGIVERS REF.	
OPPDRAGSGIVER (NAVN OG ADRESSE) Statens Väg och Trafikinstitut Linköping Sverige			
STIKKORD Bilavgasser Beregningsmetode Nitrogendioksid			
REFERAT Rapporten beskriver en forenklet metodikk for å anslå det bidrag til NO ₂ -konsentrasjonen i gater som skriver seg fra andre kilder enn trafikken i selve gaten. Beregningen gjelder forhold med høy forurensningsgrad. Metodikken tar utgangspunkt i ozon-konsentrasjonen regionalt utenfor tettstedet. I tillegg kommer et direkte NO ₂ -bidrag fra utslipp i byen/tettstedet, som regnes som en andel av bybakgrunnskonsentrasjonen av NO _x . Denne metodikken inngår i revidert Nordisk Beregningsmetode for Bilavgasser.			

TITLE	Model for calculation of the NO ₂ background concentrations in city streets
ABSTRACT	The report describes a simple model for the estimation of the contribution to the NO ₂ -concentration in city street which originate from sources other than the emissions from the street traffic itself. The model concerns high pollution situations. The model takes as a basis the regional ozon concentration outside the city. Additional contributions come from the direct NO ₂ sources inside the city, calculated as a percentage of the urban NO _x background. The method is included in a revised Nordic Calculation Method for Car Exhaust Concentrations.

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