

# Beregninger med OSPM-modellen af NO<sub>x</sub>- og CO-luft- forurening i Bredgade, København

Faglig rapport fra DMU, nr. 15

O. Hertel og R. Berkowicz

Afdeling for Forureningskilder  
og Luftforurening

- TITEL:** Beregninger med OSPM-modellen af NO<sub>x</sub>- og CO-luftforurening i Bredgade, København
- SERIETITTEL, NR.:** Faglig rapport fra DMU, nr 15.
- FORFATTERE:** Ole Hertel og Ruwim Berkowicz
- BEDES CITERET:** Hertel, O.; Berkowicz, R.: Beregninger med OSPM-modellen af NO<sub>x</sub>- og CO-luftforurening i Bredgade, København. Danmarks Miljøundersøgelser, 1991. xx s. Faglig rapport fra DMU, nr. 15.
- TEKSTBEHANDLING:** Linda West
- LABORATORIEMÅLINGER:**
- UDGIVELSESRÅR OG OPLAG:** Januar 1991, 500 eks.
- PAGINERING:** 29 s.
- ISBN:** 87-7772-016-4
- ISSN:** 0905-815X
- EMNEORD:** Luftforurening fra trafikken, OSPM-modellen, NO<sub>x</sub>, NO<sub>2</sub>, CO
- COPYRIGHT:** Miljøministeriet  
Danmarks Miljøundersøgelser  
Gengivelse kun tilladt med tydelig kildeangivelse
- KØBES HOS:** Danmarks Miljøundersøgelser,  
Afd. for Forureningskilder og  
Luftforurening,  
Frederiksborgvej 399,  
4000 Roskilde  
Tlf.: 46 30 12 00
- PRIS:** kr. 45,00

**INDHOLDSFORTEGNELSE****FORORD**

1. INDLEDNING 7
  2. OMRÅDEBESKRIVELSE 7
  3. BEREGNINGSGRUNDLAG 8
    - 3.1 Emissionsdata 8
    - 3.2 Meteorologiske Data 9
    - 3.3 Baggrundskoncentrationer 10
  4. BEREGNINGSRISULTATER 12
  5. BEREGNINGSRISULTATER FOR DEN FREMTIDIGE SITUATION 16
  6. VURDERING AF EMISSIONSBESTEMMELSEN 21
  7. VURDERING AF DE FREMTIDIGE ÆNDRINGER I NO<sub>2</sub>-KONCENTRATIONER 24
  8. SAMMENFATNING OG KONKLUSIONER 25
- REFERENCER 27**



## FORORD

Emissionen af luftforurenende stoffer fra motorkøretøjer er den væsentligste kilde til sundhedsskadelig luftforurening i byerne.

Alle typer motorkøretøjer bidrager til luftforurening. Den kemiske sammensætning af den emitterede luftforurening afhænger dog af anvendt brændstof og den måde hvorpå trafikken afvikles.

De fremtidige emissionsbegrænsende tiltag og trafikale indgreb vil være forskellige for forskellige køretøjskategorier.

Dette er baggrunden for, at Miljøstyrelsen og Vejdatalaboratoriet i 1989 igangsatte et projekt, der dels skulle belyse luftforureningen fra individuel og kollektiv trafik, dels de luftforureningsmæssige konsekvenser af trafikale planlægningstiltag. Projektet er udført af COWIconsult og Laboratoriet for Energiteknik på Danmarks Tekniske Højskole (*Miljøstyrelsen, 1991*).

I projektet er foretaget en analyse af 4 gadestrækninger i Københavnsområdet, nemlig udvalgte dele af henholdsvis Strandvejen, hvor der er trafiksanering, Jagtvej, hvor der er kapacitetsproblemer med køkørsel, Sølvgade, hvor der er busbaner samt Bredgade, hvor trafikken flyder jævnt. Ved hjælp af en emissionsmodel udviklet af Laboratoriet for Energiteknik på Danmarks Tekniske Højskole og de indsamlede trafikdata beregnes emissioner af forskellige luftforureningskomponenter på de fire udvalgte gadestrækninger. Emissionerne beregnes særskilt for forskellige køretøjskategorier. Desuden gennemføres vurdering af fremtidige emissionsforhold, hvor det bl.a. forudsættes, at der er katalysatorer på personbilerne og hvor partikelemissionen fra busserne svarer til anvendelse af filtertechnologi. Ligeledes beregnes de emissionsmæssige konsekvenser af trafikale tiltag, som etablering af busbaner, busprioritering i signalanlæg og grønne bølger.

Som en mindre del af projektet, har Danmarks Miljøundersøgelser (DMU) gennemført beregninger af de resulterende luftforureningskoncentrationer. Disse beregninger præsenteres og vurderes i denne rapport.

Til at følge det samlede projekt er der nedsat en gruppe bestående af følgende personer:

- Ole Bach, COWIconsult

- Susanne Krawack, COWIconsult
- Spencer Sorenson, Laboratoriet for Energiteknik, (DTH)
- Ruwim Berkowicz, Danmarks Miljøundersøgelser
- Bue Lund, Hovedstadsområdets Trafikselskab
- Erik Iversen, Miljøstyrelsen
- Henrik Gudmundsson, Planstyrelsen
- Finn Terp, Miljøkontrollen, Københavns Kommune
- Hans Bendtsen, Vejdatalaboratoriet

Luftforureningsmålinger i Bredgade er udført af Miljøkontrollen, Københavns Kommune, og venligst stillet til rådighed for projektet.

Meteorologiske målinger fra Københavns Lufthavn i Kastrup er leveret af Danmarks Meteorologiske Institut.

## 1. INDLEDNING

Denne rapport omhandler beregningerne af de resulterende luftforureningskoncentrationer som følge af emissioner fra trafikken og er en del af et større projekt om "Luftforurening fra kollektiv og individuel trafik" (*Miljøstyrelsen*, 1991).

Beregningerne er gennemført med trafikforureningsmodellen OSPM (Operational Street Pollution Model).

OSPM er udviklet på DMU i forbindelse med en revision af den Nordiske Beregningsmetode for Bilavgasser (*Hertel og Berkowicz*, 1989a,b,c, 1990a). Modellen er udviklet med henblik på anvendelse som værktøj ved trafikplanlægning. Modellen beregner tidsserier af timemiddelværdier i receptorpunkter placeret på fortov. Modellen kan anvendes til beregninger af konservative stoffer, dvs. stoffer som ikke bliver påvirket af kemiske omdannelser i gaderummet (fx  $\text{NO}_x$ , VOC og CO), samt  $\text{NO}_2$ , der bliver dannet kemisk i gaderummet (*Hertel og Berkowicz*, 1989b). Med  $\text{NO}_x$  betegnes summen af NO- og  $\text{NO}_2$ -gasser.

Formålet med de her præsenterede beregninger er at give en vurdering af de nuværende niveauer af luftforurening i gader og estimere hvilken effekt de fremtidige ændringer i emissionerne fra trafikken vil få for luftforurening i gader. Ved at sammenholde de målte og de beregnede koncentrationer gives en vurdering af de estimerede emissioner.

Beregninger er gennemført kun for Bredgade. Modelberegningerne for den nuværende situation er sammenlignet med målingerne foretaget af Miljøkontrollen i København, som har en luftforureningsmålestation placeret i Bredgade. Fra denne målestation haves måledata for NO,  $\text{NO}_2$ , CO og partikler. Her anvendes målingerne fra perioden 01.07.89 - 31.12.89. Der er ikke foretaget modelberegninger for partikler.

## 2. OMRÅDEBESKRIVELSE

Bredgade er en ensrettet gade med 2 vognbaner og nordgående trafik samt cykelsti i højre vejside. Der er sluttet randbebyggelse og afstanden mellem bebyggelsens facader er 15 m. Højden af bygningerne langs gaden er ca. 18 m. Gaden er orienteret 21 grader i forhold til nord.

Målestationen er placeret på det vestlige fortov. Gadelængderne målt fra målestationen i henholdsvis NØ og SV retning er 450 og 350 m.

Trafikken i Bredgade er jævnt glidende, uden dannelse af trafikpropper. Den gennemsnitlige trafikmængde er ca. 19.000 køretøjer i døgnet, hvoraf den tunge trafik (lastbiler og busser) udgør ca. 7%.

### 3. BEREGNINGSGRUNDLAG

#### 3.1 Emissionsdata

Emissionen fra trafikken er beregnet ved hjælp af emissionsfaktorerne vist i *tabel 1*, samt de foreliggende trafiktællinger. Trafiktællinger er udført af Københavns Kommunes Vejkontor. De omfatter kun en hverdag og kun tidsrummet 7 til 18. I forbindelse med hovedprojektet (*Miljøstyrelsen*, 1991) blev der gennemført en kort trafiktælling for at sikre, at trafikken i måleperioden ikke afveg fra de kommunale tællinger. Det viste sig, at der er en afvigelse mellem de kommunale tællinger og kontroltællingen på under 15% for personbiler. For tunge køretøjer er afvigelsen procentvis større, da antallet af lastbiler er lavt.

Til beregninger med OSPM-modellen kræves emissionsdata for hver time i hele beregningsperioden. Da trafiktællinger kun haves for ét døgn, er det i det efterfølgende antaget, at trafikmønsteret og trafikmængden i hele beregningsperioden er den samme som i det foreliggende døgn. Trafikkens afvikling uden for tidsrummet 7 til 18 er blevet skønnet. Da afvigelserne mellem de kommunale tællinger og kontroltællingen er relativt små, vurderes det, at emissionerne bestemt ved hjælp af de kommunale tællinger kan anvendes til beregninger af luftforurening, men man kan forvente en væsentlig usikkerhed på de enkelte beregningsdage. En bedre overensstemmelse kan forventes for gennemsnitsværdier af luftforureningskoncentrationer.

Emissionsfaktorerne vist i *tabel 1* er givet både for en situation i myldretid og uden for myldretid. Forskelle i emissionsfaktorer i og uden for mildretiden skyldes de forskellige måder, som trafikken afvikles på i de to situationer. I Bredgade er forskel på trafikafviklingen og dermed emissionsfaktorerne i og uden for myldretiden lille. I gader hvor myldretiden er forbundet med store køproblemer er emissionsfaktorerne højest i myldretiden (*Miljøstyrelsen*, 1991).



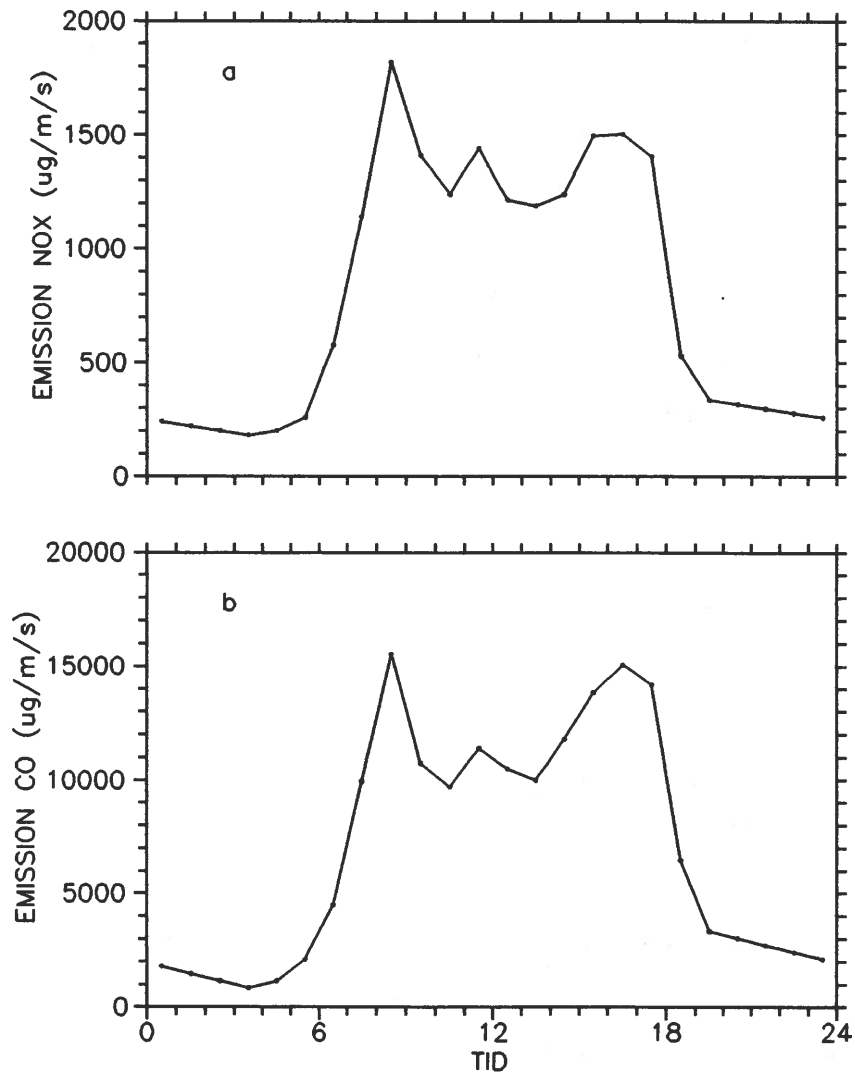
*Tabel 1.* Emissionsfaktorer (i g/km/køretøj) for den eksisterende køretøjspark i Bredgade. (uddrag fra *Miljøstyrelsen*, 1991). NO<sub>x</sub>-emissioner er angivet i NO<sub>2</sub>-vægtenheder.

Køretøjskategori	CO	NO <sub>x</sub>
PB-benzin i myldretid	35,0	2,2
uden for myldretid	36,5	2,2
PB-diesel i myldretid	1,8	0,8
uden for myldretid	2,0	0,9
Varebil i myldretid	17,6	2,0
uden for myldretid	19,4	2,2
Lastbil i myldretid	2,9	19,0
uden for myldretid	3,4	20,0
Bus i myldretid	6,3	29,2
uden for myldretid	5,9	28,0

I *figur 1a* er vist den estimerede NO<sub>x</sub>-emissionsvariation over døgnet. Det ses, som forventet, at i dagtimerne er emissionen generelt høj med maxværdier omkring de to myldretider samt midt på dagen. CO-emissionens variation over døgnet er vist i *figur 1b*.

### 3.2 Meteorologiske data

I forbindelse med beregningerne er benyttet aktuelle meteorologiske data fra Kastrup Lufthavn, dvs. data fra perioden 01.01.89 - 31.12.89. For at udlede de nødvendige meteorologiske parametre til beregninger med OSPM, er disse data behandlet med den meteorologiske preprocessor, som er udviklet i forbindelse med den såkaldte OML-model, luftforureningsmodel for stationære kilder (*Olesen og Brown*, 1988).



Figur 1. Døgnvariationen af de estimerede emissioner for et hverdagsdøgn på Bredgade. Nuværende situation. a) Emission af NO<sub>x</sub> (i NO<sub>2</sub>-vægtenheder); b) Emission af CO.

### 3.3 Baggrundskoncentrationer

Luftforurening i en gade er dels bestemt af emissioner fra trafikken i selve gaden og dels af baggrundsbidraget. Baggrundsbidraget stammer fra emissioner fra trafikken i de nærliggende gader og også fra andre kilder end trafikken. I visse situationer kan selv meget fjerne kilder give et væsentligt bidrag til bybaggrundskoncentrationer.

Da beregningerne med OSPM-modellen foretages time for time, skal baggrundskoncentrationerne også kendes time for time.

Baggrundskoncentrationer kan bestemmes ved at foretage målinger i en vis afstand fra gaden, fx i en tilstødende baggård eller over hustage. Der foreligger kun ganske få målinger af baggrundskoncentrationer i danske byområder. Målinger af bybaggrundskoncentrationer af NO og NO<sub>2</sub> blev foretaget i det såkaldte Gadeluftmåleprogram fra 1985-86 (*Miljøkontrollen*, 1986; *Rokkjær*, 1986; *Bendtsen*, 1989). Måleprogrammet indeholdt en række korte målekampaner på Vesterbrogade og Stormgade i København, Lyngby Hovedgade i Lyngby samt Vesterbro i Aalborg.

I forbindelse med målekampagnen i Bredgade blev der ikke foretaget nogle baggrundsmålinger, og derfor har vi, til brug for de foreliggende beregninger, anvendt en simpel model for bybaggrundskoncentrationer beskrevet i *Hertel og Berkowicz* (1990b). Modellen er udviklet til estimering af baggrundskoncentrationer af NO<sub>x</sub>, NO<sub>2</sub> og O<sub>3</sub> i bycentrum. Bybaggrundsmodellen er for NO<sub>x</sub>'s vedkommende verificeret med målinger fra Vesterbrogade og Stormgade i København.

Vi anvender her den samme parametrisering som i *Hertel og Berkowicz* (1990b). Bl.a. er det antaget, at både emissionstæthed og døgnvariation er den samme som fundet for Vesterbrogade og Stormgade. Disse antagelser er meget usikre, og derfor må de beregnede baggrundskoncentrationer også anses for meget usikre.

Samme model bruges til at beregne baggrundskoncentrationer af CO. Emissionstætheden af CO er estimeret med udgangspunkt i forholdet mellem totalemissionerne af CO og NO<sub>x</sub> i gaden, som er ca. 10. Endvidere har vi antaget, at 10% af bybaggrundskoncentrationen af NO<sub>x</sub> stammer fra andre kilder end trafikken, mens CO-baggrund udelukkende er bestemt af emissioner fra trafikken. Som resultat fås

$$\text{CO\_baggrund} = 9 * \text{NOX\_baggrund}$$

Der er antaget samme døgnvariation for CO-bybaggrund som for NO<sub>x</sub>.

Baggrundsbidraget til NO<sub>2</sub>-koncentrationer i en gade er endnu vigtigere end i tilfælde af NO<sub>x</sub> eller CO. NO<sub>2</sub> bliver kun i mindre grad direkte emitteret, men dannes i luften via kemiske reaktioner som bl.a. involverer ozon (O<sub>3</sub>). Bybaggrundskoncentrationer af NO<sub>2</sub> er ofte større end

gadebidrag. For at beregne bybaggrund af NO<sub>2</sub> kræves kendskab til de regionale koncentrationer af både NO<sub>2</sub> og O<sub>3</sub> samt bybaggrund af NO<sub>x</sub>. Der foreligger ikke relevante data for Hovedstadsregionen. Det var derfor ikke muligt at foretage beregninger for NO<sub>2</sub> i Bredgade. Senere i rapporten gives dog en kvalitativ vurdering af udviklingen i NO<sub>2</sub>-niveauet.

#### 4. BEREGNINGSRISULTATER

Der er gennemført beregninger af NO<sub>x</sub>- og CO-koncentrationer for samtlige timer i måleperioden (Juli - December 1989). I *figur 2a* er de målte og beregnede timemiddelværdier af NO<sub>x</sub>-koncentrationer for Bredgade sammenlignet. En tilsvarende sammenligning for CO er vist i *figur 2b*. Kun værdier for hverdage og i tidsrummet 7 - 18 er vist her. NO<sub>x</sub>-koncentrationer er opgivet i ppb (parts per billion). Ofte angives koncentrationen af NO<sub>x</sub> i µgNO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>. Omregningsfaktoren er

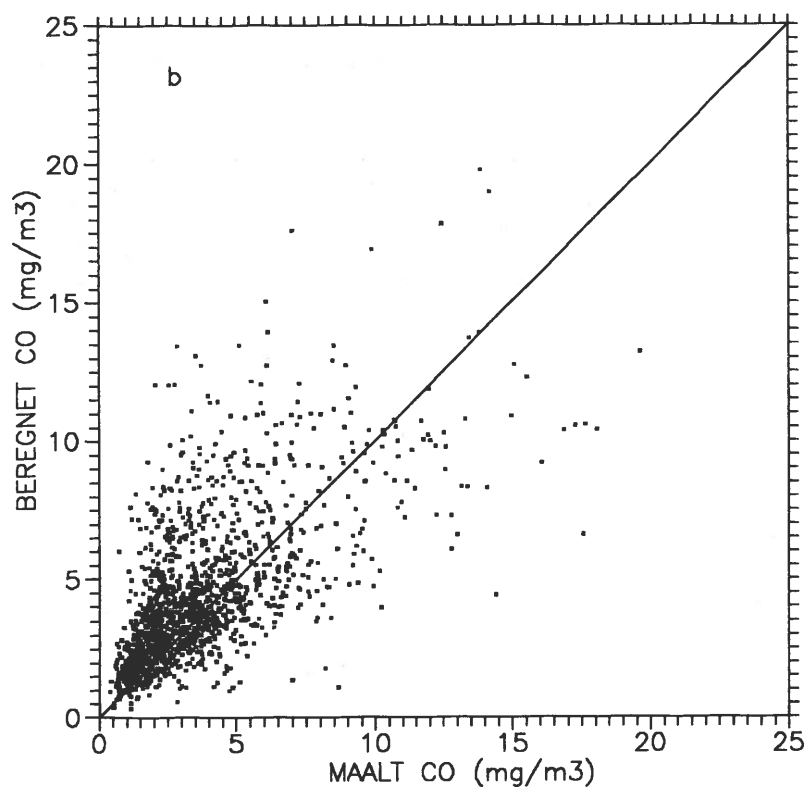
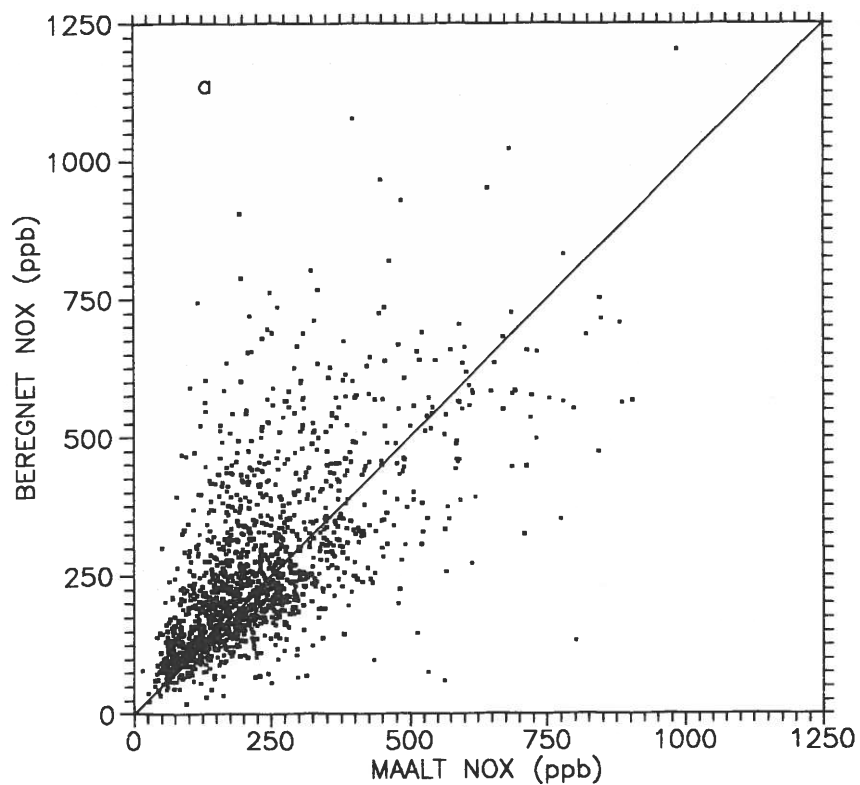
$$1 \text{ ppb NO}_x = 1,9 \mu\text{gNO}_2/\text{m}^3$$

Det ses af figurene, at der er en rimelig korrelation mellem de målte og de beregnede koncentrationer. Hovedparten af de beregnede værdier ligger inden for en faktor 2 fra de målte.

Der blev endvidere foretaget beregninger for hele året 1989 og for begge sider af gaden.

I *tabel 2* er årsmiddelværdien samt forskellige percentilværdier af de beregnede timemiddelværdier af NO<sub>x</sub>-koncentrationer præsenteret for receptorpunkter på det østlige og vestlige fortov samt for bybaggrund. I disse beregninger er der ikke taget hensyn til forskellen i trafikken på weekender og helligdage. Man må derfor regne med en vis overestimering af de lavere percentiler. Resultaterne viser, at det har en vis betydning, om man betragter det ene eller det andet fortov. Det afgørende er her, hvilken af de to sider der oftest ligger i læside. Luftforurening er som regel højest på den side af gaden, som på et givet tidspunkt befinder sig i læ.

Det fremgår ligeledes af *tabel 2*, at bybaggrundskoncentrationen af NO<sub>x</sub> udgør en betragtelig del af totalkoncentrationen i gaden (ca. 30% i middel). Det må derfor forventes, at der kan være ganske stor forskel på gader tæt ved centrum og længere ude i periferien af bykernen.



*Figur 2.* Sammenligning mellem de målte og de beregnede koncentrationer for Bredgade. Kun timemiddelværdier for hverdage og i tidsrummet 7 - 18 er vist her. a) NO<sub>x</sub>; b) CO

Tabel 2. Resultaterne af beregningerne med OSPM for Bredgade. NO<sub>x</sub>. Nuværende situation.

	NO <sub>x</sub> vestsider (ppb)	NO <sub>x</sub> østside (ppb)	NO <sub>x</sub> baggrund (ppb)
Max værdi	1203,0	1170,5	307,7
99 percentil	635,9	622,2	154,8
95 percentil	438,3	420,6	101,0
75 percentil	224,9	199,0	62,1
50 percentil	127,5	93,1	43,8
Middelværdi	165,9	144,1	48,5

Beregningsresultaterne for CO er vist i tabel 3.

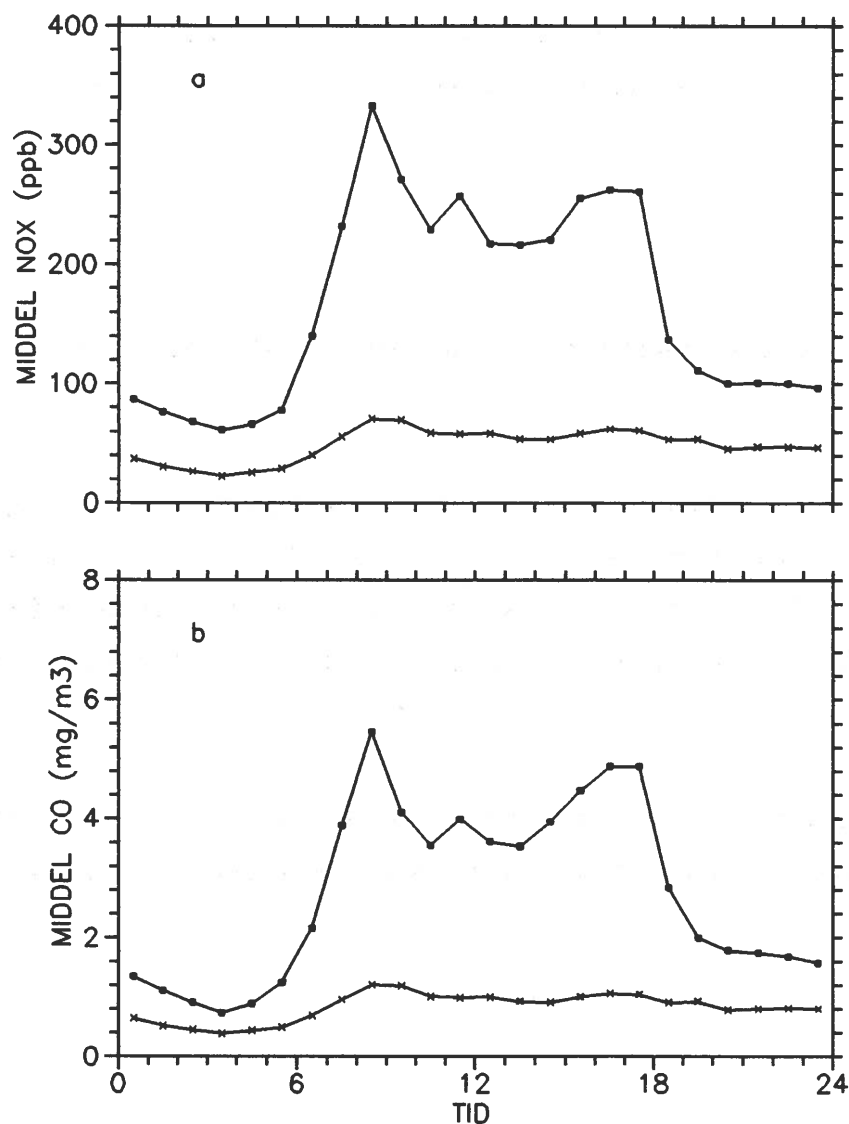
Tabel 3. Resultaterne af beregningerne med OSPM for Bredgade. CO. Nuværende situation.

	CO vestsider (mg/m <sup>3</sup> )	CO østside (mg/m <sup>3</sup> )	CO baggrund (mg/m <sup>3</sup> )
Max værdi	19,8	19,3	5,3
99 percentil	10,8	10,6	2,6
95 percentil	7,4	7,1	1,7
75 percentil	3,8	3,4	1,1
50 percentil	2,1	1,5	0,7
Middelværdi	2,8	2,4	0,8

En middel døgnvariation af de beregnede NO<sub>x</sub>- og CO-koncentrationer for den vestlige side af Bredgade er vist i figur 3. Middelværdierne er konstrueret ved at midle over alle observationer

tilhørende det samme klokkeslæt i døgnet. I figuren er ligeledes vist en middel døgnavariation af de estimerede baggrundskoncentrationer.

Det kan bemærkes, at de beregnede forureningskoncentrationer i middel viser en mindre døgnavariation end de tilsvarende emissioner (se figur 1). Det skyldes, at baggrundsbidrag, som har en relativt mindre døgnavariation, medvirker til en udglatning af de totale koncentrationers døgnavariation.



Figur 3. En middel døgnavariation af de beregnede koncentrationer for den vestlige side af Bredgade og en middel døgnavariation af de estimerede baggrundskoncentrationer. Nuværende situation. a)  $\text{NO}_x$ ; b) CO. -■- gadekoncentration; -x- baggrundskoncentration.

En anden effekt, som medvirker til at luftforurening i gaden ikke varierer nær så meget som emissionen, er den såkaldte trafikskabte turbulens. Strømmen af biler skaber en forøget omrøring af luftmasserne i gaden (turbulens). Det resulterer igen i en forøget fortynding af forureninger emitteret fra de samme biler og hermed en mindskelse af forureningskoncentrationer i gaden. Jo flere biler, og jo hurtigere de kører, desto større bliver den ekstra fortynding. Effekten er mest mærkbar ved lave vindhastigheder, når forureningsniveauer er generelt højt (*Hertel og Berkowicz, 1989c*). Trafikstrømmen er størst i dagtimerne og derfor modvirker den trafikskabte turbulens, til en vis grad, øgningen af luftforureningens koncentrationer i gaden.

Man kan forvente, at den trafikskabte turbulens bliver meget mindre i gader med kapacitetsproblemer, hvor trafikshastigheden mindskes væsentligt i myldretiden på grund af kødannelse.

## 5. BEREGNINGRESULTATER FOR DEN FREMTIDIGE SITUATION

I beregningerne for den fremtidige situation har vi benyttet samme trafik- og meteorologi-parametre, som for den nuværende situation. Emissionsfaktorerne for den fremtidige situation er vist i *tabel 4*. Ved bestemmelsen af emissioner i den fremtidige situation er det bl.a. forudsat, at alle personbiler har katalysatorer. For detaljer henvises til hovedrapporten (*Miljøstyrelsen, 1991*).

I *figur 4* er den estimerede emissionens variation over døgnet vist. Det ses, at emissionen af både  $\text{NO}_x$  og CO bliver reduceret i forhold til den nuværende situation (*figur 1*) ca. 2 gange.



Tabel 4. Emissionsfaktorer (i g/km/køretøj) for en fremtidig køretøjspark i Bredgade. (uddrag fra *Miljøstyrelsen*, 1991). NO<sub>x</sub>-emissioner er angivet i NO<sub>2</sub>-vægtenheder.

Køretøjskategori	CO	NO <sub>x</sub>
PB-benzin i myldretid	14,7	0,8
uden for myldretid	15,2	0,8
PB-diesel i myldretid	1,8	0,6
uden for myldretid	2,0	0,7
Varebil i myldretid	9,0	1,1
uden for myldretid	10,1	1,3
Lastbil i myldretid	1,5	9,5
uden for myldretid	1,7	10,0
Bus i myldretid	3,2	14,6
uden for myldretid	2,9	14,0

For at bestemme baggrundskoncentrationer af NO<sub>x</sub> for den fremtidige situation har vi gjort følgende antagelser:

- emissionen af NO<sub>x</sub> fra trafikken i hele byområdet bliver reduceret med en faktor 2,4. Det svarer til en middel reduktion af emissioner i de undersøgte gader (*Miljøstyrelsen*, 1991),
- der sker ingen reduktion af bidraget fra de øvrige kilder, som i den nuværende situation udgør 10% af den samlede baggrund (skøn!).

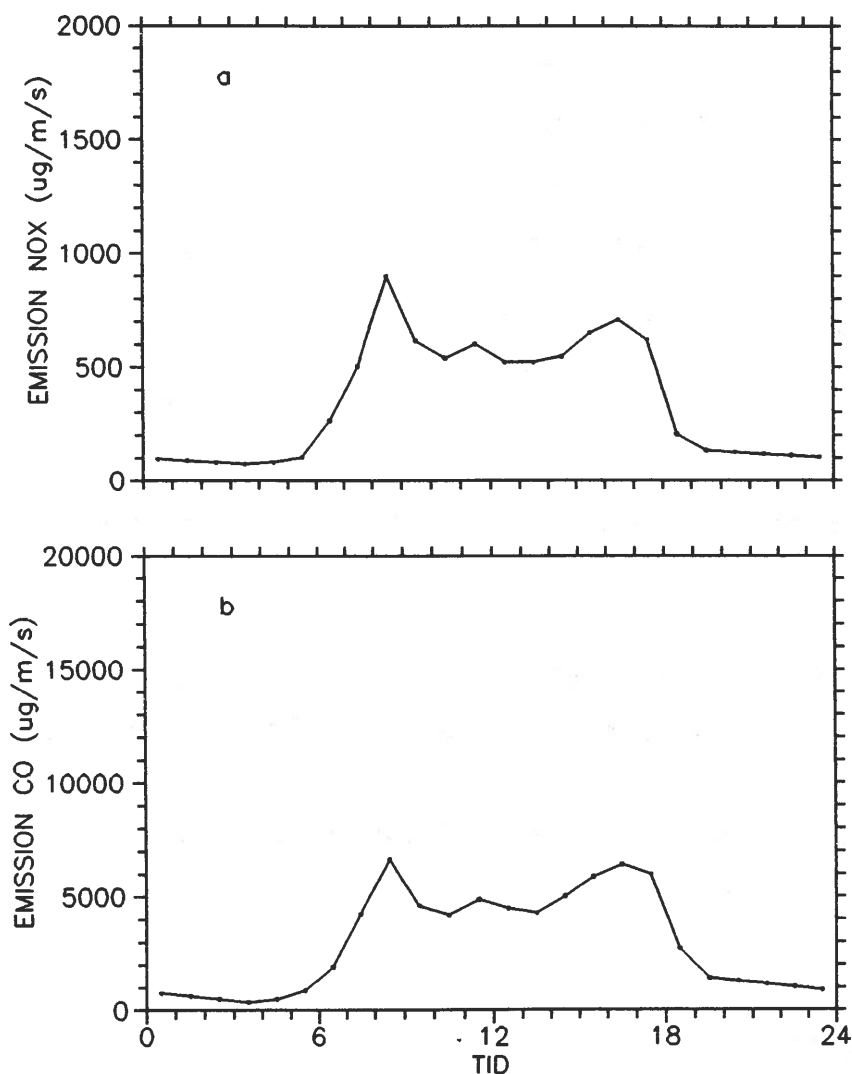
Med disse antagelser fås

$$\text{Baggrund\_NOX\_fremtid} = 0,475 * \text{Baggrund\_NOX\_nu}$$

For CO's vedkommende forventes ligeledes en middel reduktion af emissionen fra trafikken med en faktor ca. 2,4 (*Miljøstyrelsen*, 1991). Da bidraget fra andre kilder end trafikken må anses for at være meget lille, antager vi at baggrundskoncentrationer vil blive reduceret med den samme

faktor som emissioner fra trafikken. Hertil skal dog bemærkes, at baggrundsbidraget fra naturlige kilder, som er på ca.  $0,2 \text{ mg/m}^3$ , forventes ikke at blive reduceret. Den naturlige baggrund er ikke medtaget i de nærværende beregninger. Følgende fås

$$\text{Baggrund\_CO\_fremtid} = 0,417 * \text{Baggrund\_CO\_nu}$$



Figur 4. Døgnvariationen af de estimerede emissioner for et hverdagsdøgn på Bredgade. Fremtidig situation. a) Emission af  $\text{NO}_x$  (i  $\text{NO}_2$ -vægtenheder); b) Emission af CO.

Beregningsresultater for den fremtidige situation er præsenteret i tabel 5 og 6. Det ses, at reduktionen af koncentrationerne i forhold til den nuværende situation svarer ganske nøje til

reduktionen af emissioner (faktor 2,3 -2,4). Det skal dog samtidigt bemærkes, at forudsætningen for de præsenterede beregninger er, at der ikke sker ændring i trafikmængden eller trafikens sammensætning.

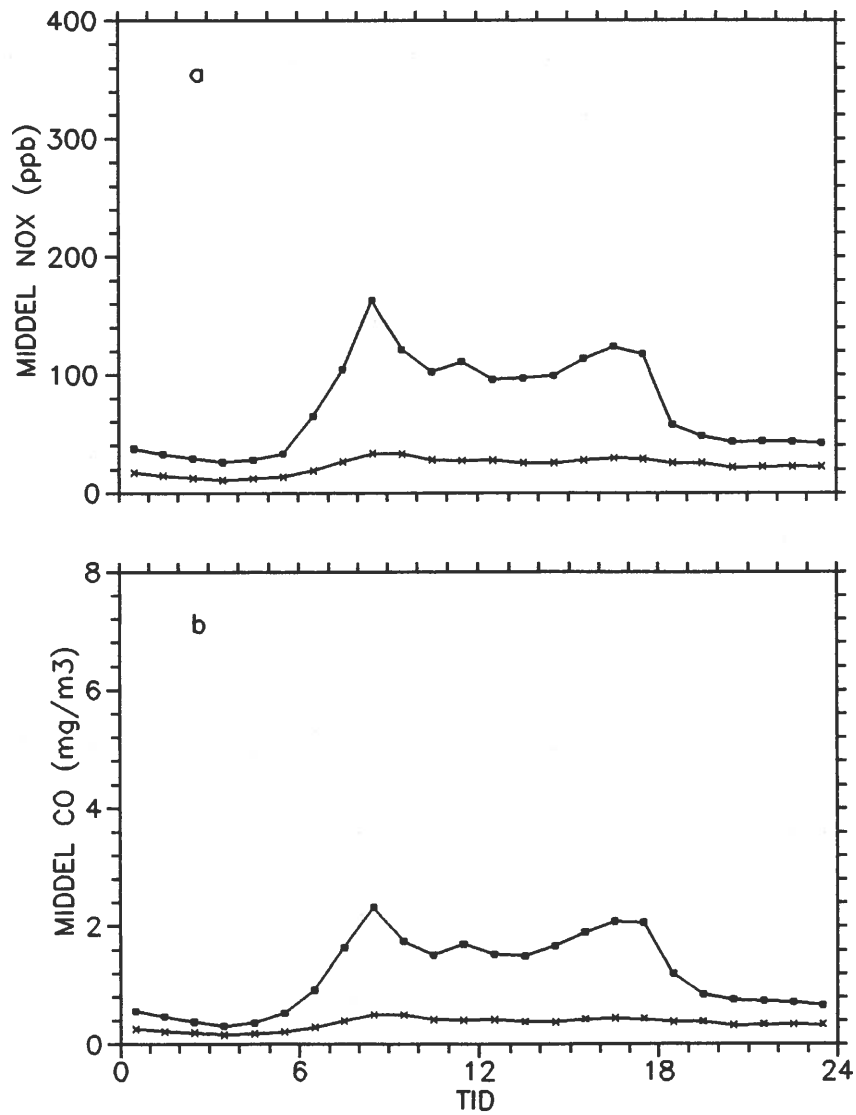
*Table 5.* Resultaterne af beregningerne med OSPM for Bredgade. NO<sub>x</sub>. Fremtidig situation.

	NO <sub>x</sub> vestsider (ppb)	NO <sub>x</sub> østside (ppb)	NO <sub>x</sub> baggrund (ppb)
Max værdi	588,1	572,0	146.2
99 percentil	290,0	286,7	73.5
95 percentil	198,8	189,5	48.0
75 percentil	100,1	89,3	29.5
50 percentil	56,3	41,9	20.8
Middelværdi	74,1	64,7	23.1

*Table 6.* Resultaterne af beregningerne med OSPM for Bredgade. CO. Fremtidig situation.

	CO vestsider (mg/m <sup>3</sup> )	CO østside (mg/m <sup>3</sup> )	CO baggrund (mg/m <sup>3</sup> )
Max værdi	8,4	8,2	2.2
99 percentil	4,6	4,5	1.1
95 percentil	3,1	3,0	0.7
75 percentil	1,6	1,4	0.4
50 percentil	0,9	0,6	0.3
Middelværdi	1,2	1,0	0.3

En middel døgnvariation af de beregnede  $\text{NO}_x$ - og  $\text{CO}$ -koncentrationer for den vestlige side af Bredgade og med de fremtidige emissioner er vist i figur 5. I figuren er ligeledes vist en middel døgnvariation af de estimerede baggrundskoncentrationer.

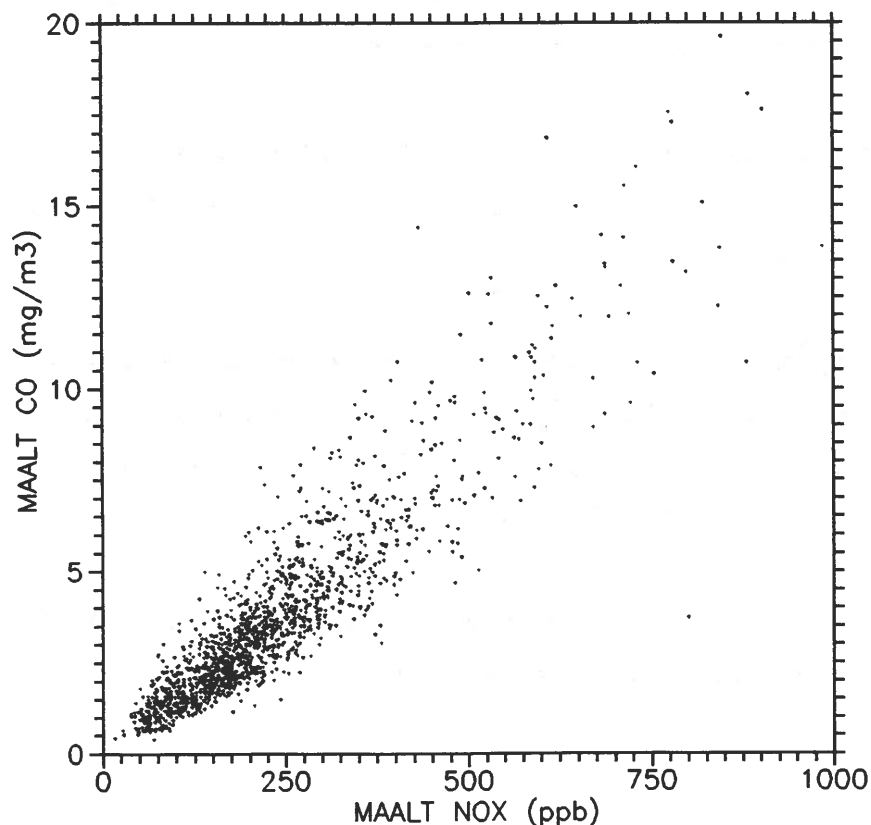


Figur 5. En middel døgnvariation af de beregnede koncentrationer for den vestlige side af Bredgade og en middel døgnvariation af de estimerede baggrundskoncentrationer. Fremtidig situation. a)  $\text{NO}_x$ ; b)  $\text{CO}$ . -■- gadekoncentration; -x- baggrundskoncentration.

## 6. VURDERING AF EMISSIONSBESTEMMELSEN

Den overensstemmelse mellem de målte og de beregnede koncentrationer, som ses i *figur 2*, viser, at der ligeledes må være god overensstemmelse mellem de estimerede og de faktiske emissioner. En væsentlig del af afvigelserne mellem de målte og de beregnede koncentrationer kan tilsyneladende tilskrives usikkerheder i bestemmelsen af baggrundsbidraget og mangel på aktuelle trafikdata. Disse usikkerheder betyder, at man kan forvente væsentlige afvigelser mellem de enkelte beregnede og målte timemiddelværdier af koncentrationer. En bedre overensstemmelse må forventes for middelværdier.

For at foretage en mere detaljeret vurdering af de estimerede emissioner har vi fokuseret på forholdet mellem CO og NO<sub>x</sub>. Dette forhold vides at være meget afhængig af trafikens sammensætning (benzinbiler/dieslbiler) og af den måde hvorpå trafikken afvikles (rejsehastighed).



*Figur 6.* Sammenligning mellem timemiddelværdier af de målte CO- og NO<sub>x</sub>-koncentrationer i Bredgade.

Da spredning i luften af CO og NO<sub>x</sub>-gasser er ens, må forskellen i variationen i koncentrationer udelukkende skyldes forskellen i emissioner. Forholdet mellem CO- og NO<sub>x</sub>-koncentrationerne i luften kan altså sammenholdes med forholdet mellem de tilsvarende emissioner. Dertil skal der dog bemærkes, at baggrundsluften kan have en anden forholdsmæssig sammensætning end udstødningsgasserne og derfor behøver forholdet mellem emissionerne ikke være nøjagtigt det samme som forholdet mellem koncentrationerne i luften.

*Figur 6* viser en sammenligning mellem de samtidigt målte timemiddelværdier af CO- og NO<sub>x</sub>-koncentrationer i Bredgade, men kun for hverdagene og perioden 7 til 18. Det ses af de viste resultater, at CO- og NO<sub>x</sub>-koncentrationer er stærkt korrelerede.

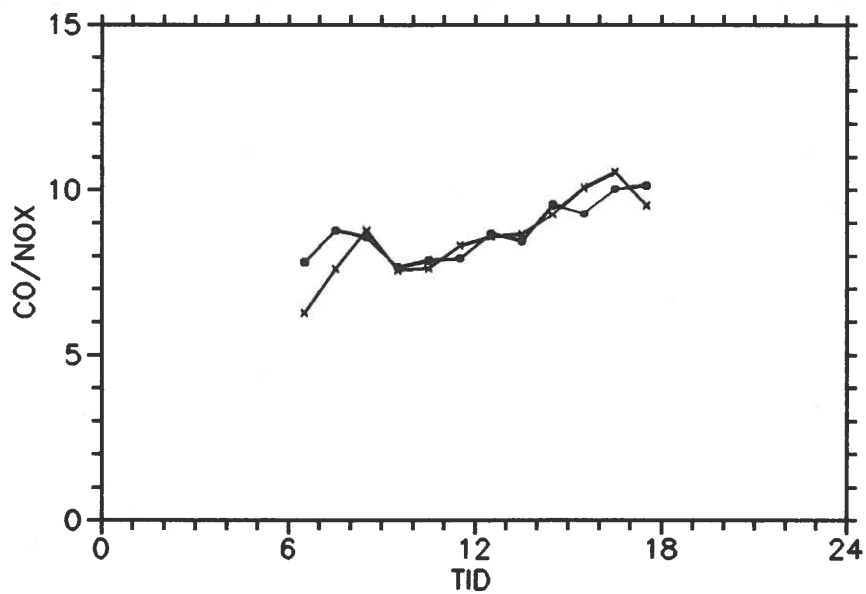
Da trafikens sammensætning og den måde hvorpå den afvikles varierer i løbet af dagen, betyder dette, at man kan forvente en tilsvarende variation i CO/NO<sub>x</sub> forholdet i løbet af dagen.

I *figur 7* er døgnvariationen af middelværdierne af forholdet mellem CO- og NO<sub>x</sub>-koncentrationerne afbildet, men kun for dagtimerne. Det ses, at der er et maximum på ca. 9 kl. 9 og på ca. 11 kl. 17, hvilket svarer til de to myldretider. I figuren er også afbildet en tilsvarende variation af forholdet mellem de estimerede emissioner.

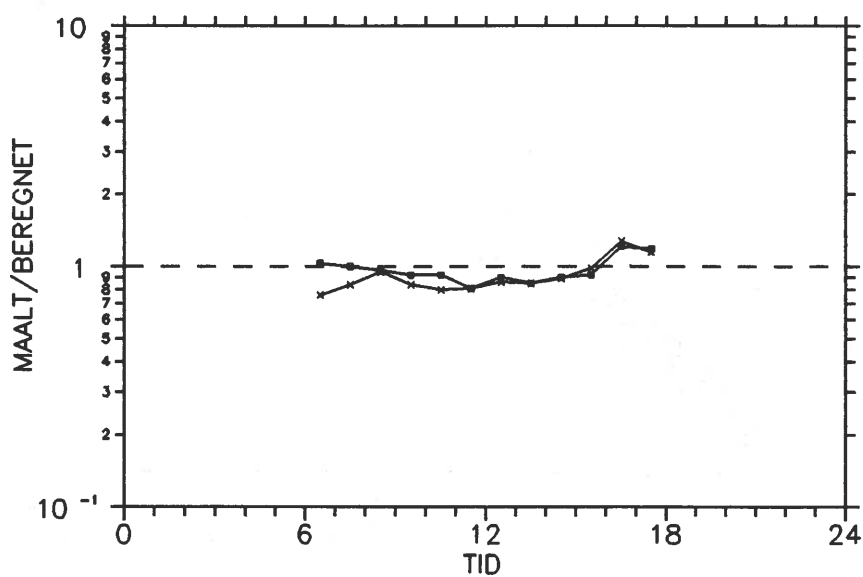
Det ses, at den gennemsnitlige variation er meget lig den for de målte koncentrationer i luften. Dette kan betragtes som et indicium for, at de estimerede emissionsfaktorer for trafikken i Bredgade er korrekte.

Forholdet mellem de målte og med OSPM beregnede koncentrationer af henholdsvis CO og NO<sub>x</sub>, er afbildet i *figur 8*. Denne figur underbygger resultaterne vist i *figur 7*. Det ses, at afvigelserne mellem de beregnede og målte middelværdier af koncentrationer er generelt små. Den største afvigelse er på ca. 30%, både for NO<sub>x</sub> og for CO.

Det kan forventes, at modelresultaterne ville kunne forbedres hvis måleprogrammet havde indeholdt kontinuerte målinger af baggrundskoncentrationer samt kontinuerte trafiktællinger.



Figur 7. Middel døgnvariation af forholdet mellem målte koncentrationer af CO og NO<sub>x</sub> og forholdet mellem de estimerede emissioner. -■- forholdet mellem emissioner; -x- forholdet mellem koncentrationer.

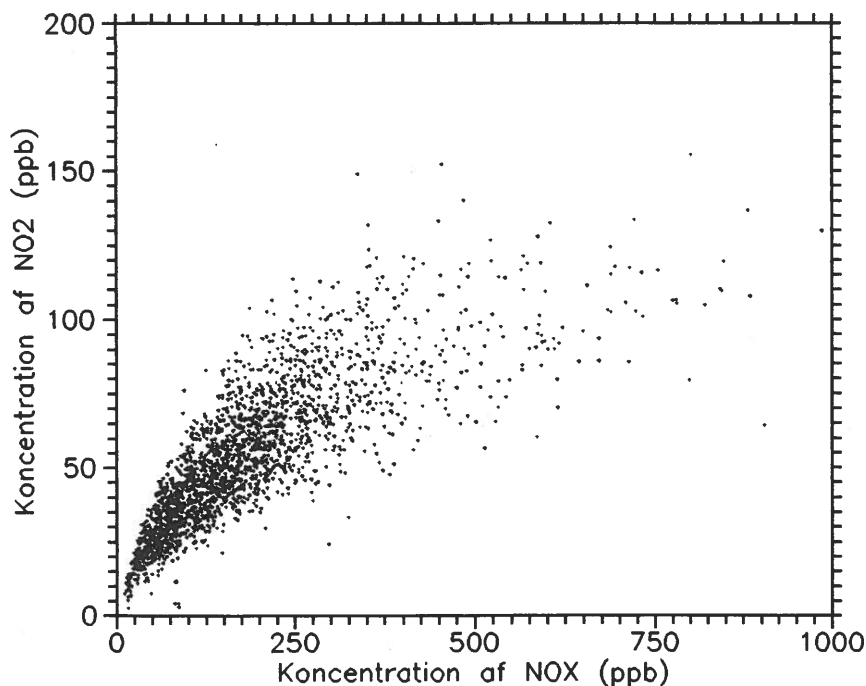


Figur 8. Middel døgnvariation af forholdet mellem målte og beregnede koncentrationer. -■- NO<sub>x</sub>; -x- CO.

## 7. VURDERING AF DE FREMTIDIGE ÆNDRINGER I NO<sub>2</sub>-KONCENTRATIONER

Som tidligere nævnt, kunne beregninger af NO<sub>2</sub>-koncentrationer ikke gennemføres pga. manglende data af baggrundskoncentrationer af O<sub>3</sub> og NO<sub>2</sub>. Vi forsøger her at give en kvalitativ vurdering af de fremtidige ændringer i NO<sub>2</sub>-niveauet på baggrund af de foreliggende målinger fra Bredgade.

*Figur 9* viser samtidige timemiddelværdier af de målte NO<sub>x</sub>- og NO<sub>2</sub>-koncentrationer. Det ses, at NO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub> forholdet er stærkt ulineært. Ved høje NO<sub>x</sub>-koncentrationer stiger NO<sub>2</sub>-koncentrationerne meget mindre end NO<sub>x</sub>. Et sådant forløb har været observeret tidligere og er typisk for gadeluften (*Hertel og Berkowicz, 1989b; Bendtsen et al, 1991*). Forklaringen ligger i, at NO<sub>2</sub> kun i mindre grad bliver direkte emitteret. Det meste dannes i luften pga. en kemisk reaktion mellem NO og O<sub>3</sub>. Ved høje koncentrationer af NO<sub>x</sub> (og dermed NO) er der ikke nok ozon i luften til at danne mere NO<sub>2</sub>, og derfor modsvares en stigning i NO<sub>x</sub>-koncentrationer ikke af tilsvarende stigning i NO<sub>2</sub>.



*Figur 9.* Målt koncentration af NO<sub>2</sub> i Bredgade som funktion af den samtidigt målte koncentration af NO<sub>x</sub>.



Med udgangspunkt i resultaterne vist i *tabel 2* og *5* kan man konkludere, at med den fremtidige køretøjspark, og forudsat at der ikke sker ændringer i trafikmængden, vil koncentrationerne i luften af  $\text{NO}_x$  blive reduceret ca. 2,4 gange i forhold til den nuværende situation.

På baggrund af *figur 9* og under forudsætning af, at forholdet mellem  $\text{NO}_2$  og  $\text{NO}_x$  i den fremtidige situation vil være den samme som den nuværende kan man konkludere, at den forudsagte reduktion af  $\text{NO}_x$ -koncentrationerne ikke vil føre til en væsentlig reduktion af de højeste  $\text{NO}_2$ -koncentrationer.

En større reduktion kan forventes for de lavere fraktilværdier og for langtidsmiddelværdier. Disse er bestemt af de mange, hyppigt forekommende lave  $\text{NO}_x$ -koncentrationer. Ved lave  $\text{NO}_x$ -koncentrationer er relationen  $\text{NO}_2/\text{NO}_x$  nær lineær og reduktionen i  $\text{NO}_2$ -koncentrationer vil svare til reduktionen i  $\text{NO}_x$ -koncentrationer.

Hvorvidt den fremtidige  $\text{NO}_2/\text{NO}_x$  relation vil være den samme som i den nuværende situation afhænger af eventuelle ændringer i  $\text{O}_3$ -niveauet. Det vides, at produktionen af  $\text{O}_3$  i de nederste luftlag afhænger stærkt af tilstedeværelsen af  $\text{NO}$  og kulbrinter i luften. En fremtidig reduktion af  $\text{NO}$ - og kulbrinteemissioner vil være en medvirkende faktor til reduktion i  $\text{O}_3$ -koncentrationerne. Disse ændringer skal dog foregå på en global skala for at give mærkbare effekter. De beslutninger, som er truffet inden for EF og i EFTA-landene om at alle nye personbiler senest fra 1993 skal være forsynet med katalysatorer, vil formentligt resultere i sådanne ændringer.

## 8. SAMMENFATNING OG KONKLUSIONER

I rapporten beskrives resultaterne af beregningerne med OSPM-modellen af de trafikale luftforureningskoncentrationer i Bredgade. Emissionerne fra trafikken er beregnet på baggrund af emissionsfaktorer estimeret i projektet om "Luftforurening fra kollektiv og individuel trafik" (*Miljøstyrelsen*, 1991). Luftforureningsberegninger er kun gennemført for  $\text{NO}_x$  og  $\text{CO}$ .

De beregnede koncentrationer er sammenlignet med målingerne. Der er konstateret en rimelig overensstemmelse mellem de målte og de beregnede koncentrationer, både for  $\text{NO}_x$  og for  $\text{CO}$ . De fleste beregnede koncentrationer ligger indenfor faktor 2 fra de målte. Afvigelserne mellem

de målte og de beregnede timemiddelværdier af koncentrationer skyldes tilskrives usikkerheder i bestemmelsen af baggrundsbidraget og mangel på aktuelle trafikdata.

Baggrundskoncentrationer er blevet bestemt ved hjælp af en simpel model udviklet til beregning af  $\text{NO}_x$ -baggrund i Københavns centrum. Ifølge beregningerne, udgør baggrund omkring 30% af de totale koncentrationer i gaden. Usikkerheden på de beregnede baggrundskoncentrationer er dog ret væsentlig.

Trafikmængden og dens sammensætning er bestemt ud fra kun een-dags trafiktællinger. Afvigelser mellem de anvendte og de aktuelle trafikdata bidrager til usikkerheden af de beregnede luftforureningskoncentrationer.

Den konstaterede overensstemmelse mellem de målte og de beregnede koncentrationer, taget de nævnte usikkerheder i betragtning, viser bl.a., at der må være god overensstemmelse mellem de estimerede og faktiske emissioner.

En mere detaljeret vurdering af emissionsbestemmelsen viser, at de estimerede emissionsfaktorer svarer ganske nøje til det målte forhold mellem  $\text{CO}$ - og  $\text{NO}_x$ -koncentrationer.

Afvigelserne mellem de målte og de beregnede middelværdier for både  $\text{NO}_x$ - og  $\text{CO}$ -koncentrationer er mindre end 30%.

Med udgangspunkt i emissionsfaktorer for den fremtidige situation, hvor der bl.a. er forudsat katalysatorer på alle personbiler, er der gennemført beregninger af den fremtidige luftforurening i Bredgade. De trafikale forhold er antaget at være uændret.

Beregningerne viser, at koncentrationer af både  $\text{NO}_x$  og  $\text{CO}$  vil blive reduceret med en faktor ca. 2,3 - 2,4, hvad ganske nøje svarer til den forventede reduktion af emissioner.

Det var ikke muligt at gennemføre beregninger for  $\text{NO}_2$ , da de nødvendige informationer om  $\text{NO}_2$ 's og ozons baggrundskoncentrationer ikke er til stede. En kvalitativ vurdering, gennemført ved hjælp af den observerede relation mellem  $\text{NO}_2$ - og  $\text{NO}_x$ -koncentrationer, viser, at den forventede reduktion alene i  $\text{NO}_x$ -koncentrationer ikke vil føre til en tilsvarende reduktion af de højeste  $\text{NO}_2$ -koncentrationer. En væsentlig reduktion i  $\text{NO}_2$ -niveauet kan kun forventes hvis der samtidigt sker en reduktion i niveauet af ozon. Koncentrationer af ozon kan kun forventes at

blive reduceret såfremt en reduktion i NO<sub>x</sub>- og kulbrinteemissioner gennemføres på en mere global skala.

Gennemførelsen af projektet var mulig takket være tilstedeværelsen af højkvalitetsmåledata fra Bredgade. Udbyttet af projektet ville dog her have været større, hvis måleprogrammet havde indeholdt kontinuerte målinger af baggrundskoncentrationer samt kontinuerte trafiktællinger.

## REFERENCER

*Bendtsen, H.*, 1989. Luftforurening fra vejtrafik. 2 eksempler fra Lyngby og Ålborg. Vejdirektoratet, Vejdatalaboratoriet rapport 79.

*Bendtsen, H., Madsen, J.L., Hertel, O., og Berkowicz, R.*, 1991. Japanske erfaringer med anvendelse af katalysatorer. Dansk Vejtidskrift (i trykken)

*Hertel, O. og Berkowicz, R.*, 1989a. Modelling pollution from traffic in a street canyon. Evaluation of data and model development. DMU Luft A-129.

*Hertel, O. og Berkowicz, R.*, 1989b. Modelling NO<sub>2</sub> in a street canyon. DMU Luft A-131.

*Hertel, O. og Berkowicz, R.*, 1989c. Operational Street Pollution Model (OSPM). Evaluation of the model on data from St. Olavs street in Oslo. DMU Luft A-135.

*Hertel, O. og Berkowicz, R.*, 1990a. Vurdering af spredningsmodellen i den Nordiske Beregningsmetode for Bilavgasser. Sammenfattende rapport. DMU Luft A-136.

*Hertel, O. og Berkowicz, R.*, 1990b. Beregning af NO<sub>2</sub>-koncentrationer i byområder i forbindelse med varsling af forureningsepisoder. DMU Luft A-139.

*Miljøkontrollen*, 1986. Gadeluftforurening i Københavns Kommune. Målinger af gadeluftforurening i København 1985. Miljøkontrollens skriftserie nr. 2/1986.

*Miljøstyrelsen*, 1991. Luftforurening fra kollektiv og individuel trafik.

*Olesen, H. og Brown, N.*, 1988. The OML Meteorological Preprocessor. MST Luft A-122.

*Rokkjær, J.*, 1986. Vurdering af baggrundskoncentrationen af NO<sub>2</sub> i LMP-byerne. MST Luft A-111.

DANMARKS MILJØUNDERSØGELSERDirektionenSekretariatetForsknings- og Udviklingssekretariatet

Danmarks Miljøundersøgelser

Thoravej 8, 2400 København NV

Tlf.: 31 19 77 44. Fax.: 38 33 26 44

Afd. for Forureningskilder og Luftforurening

Frederiksborgvej 399, 4000 Roskilde

Tlf.: 46 30 12 00. Fax.: 46 30 11 14

Afd. for Miljøkemi

Mørkhøj Bygade 26, 2860 Søborg

Tlf.: 31 69 70 88. Fax.: 31 69 88 07

Afd. for Havmiljø og Mikrobiologi

Jægersborg Allé 1B, 2920 Charlottenlund

Tlf.: 31 61 14 00. Fax.: 89 81 49 90

Afd. for Ferskvandsøkologi

Lysbrogade 52, 8600 Silkeborg

Tlf.: 86 20 14 00. Fax.: 89 20 14 14

Afd. for Terrestrisk Økologi

Vejlsøvej 11, 8600 Silkeborg

Tlf.: 86 81 60 99. Fax.: 86 81 49 90

Afd. for Flora- og Faunaøkologi

Kalø, 8410 Rønne

Tlf.: 89 20 14 00. Fax.: 89 20 15 14

Afd. for Systemanalyse

Thoravej 8, 2400 København NV

Tlf.: 31 19 77 44. Fax.: 38 33 26 44

Publikationer

DMU udgiver: faglige rapporter, tekniske anvisninger, særtryk af videnskabelige og faglige artikler, danske vildtundersøgelser og Danish Review of Game Biology samt årsberetninger.

I årsberetningen findes en oversigt over det pågældende års publikationer. Årsberetning samt en opdateret oversigt over årets publikationer kan fås ved henvendelse til telefon: 31 19 77 44, lok 54.