

Bussförarens exponering för avgaser före och under Stockholmsförsöket

Nils Plato, Annika Carlsson, Magnus Alderling, Per Gustavsson

Rapport från Arbets- och miljömedicin • 2006:6

Centrum för folkhälsa

Busströres exponering för avgaser före och under Stockholmsförsöket

Nils Plato, Annika Carlsson, Magnus Alderling, Per Gustavsson

Arbets- och miljömedicin • Norrbacka • 171 76 Stockholm
tel 08-737 37 00 • fax 08-33 43 33 • amm@sll.se

Rapporten finns även på vår webbplats, www.folkhalsoguiden.se

ISSN: 1651-0321



Förord

Många yrkesgrupper i Stockholms län är utsatta för motoravgaser i arbetet, inte minst olika grupper av yrkesförare. Stockholms innerstad intar en särställning när det gäller en koncentration av många fordon på en liten yta. Arbets- och miljömedicin har i en serie undersökningar studerat exponeringen för luftföroreningar och hälsoutfall i olika grupper av yrkesförare. Syftet med den studie som rapporteras här var att undersöka om exponeringen för motoravgaser bland bussförare påverkades under försöket med trängselskatt i Stockholm under våren 2006. Undersökningen har utförts som ett led i vår ordinarie verksamhet.

Rapporten vänder sig i första hand till beslutsfattare och arbetsmiljöintresserade inom trafikområdet. Vi hoppas att resultaten kommer att bidra till kunskapsunderlaget rörande arbetsmiljöeffekter av trafiken i storstadsområden.

Gruppen som genomfört projektet är docent och yrkeshygieniker Nils Plato (projektledare), yrkeshygieniker Annika Carlsson, statistiker Magnus Alderling och docent och överläkare Per Gustavsson, alla från Yrkesmedicinska enheten, Arbets- och miljömedicin, Centrum för folkhälsa, Stockholms läns landsting. Studien genomfördes i samarbete med arbetsledare och arbetstagare vid Connex bussgarage i Solna (Råstagaraget) samt Busslinks garage på Södermalm (Söderhallsgaraget). Arbetet har förankrats hos skyddskommittéerna vid de båda arbetsplatserna.

Carola Lidén
Avdelningschef, professor, överläkare

Arbets- och miljömedicin,
Centrum för folkhälsa i Stockholms läns landsting

Stockholm i oktober 2006

Innehåll

FÖRORD.....	3
SAMMANFATTNING.....	7
1. BAKGRUND OCH SYFTE.....	9
2 METODER OCH MÄTSTRATEGIER	10
2.1 Material	10
2.2 Metod	10
2.3 Statistiska metoder	11
3. RESULTAT	12
3.1 Uppmätta kvävedioxidnivåer för bussförarna.....	12
3.2 Fördelning av mätvärden	14
3.3 Kvävedioxidnivåer rapporterade av SLB- analys	16
3.4 Trafikflöden.....	17
4. DISKUSSION.....	17
4.1 Slutsatser.....	19
4.2 Tack.....	19
5. REFERENSER	20
1. BILAGA	21

Sammanfattning

Trängselskatt infördes på försök i Stockholms innerstad första halvåret 2006 i syfte att minska trafiken samt förbättra miljön och hälsan för befolkningen. I Stockholm minskade trafiken över tullarna med 20–25 procent under vardagsdygnet. Miljöförvaltningen har undersökt hur avgasrelaterade luftföroreningar i den allmänna miljön i innerstaden påverkades av försöket, men inga undersökningar av den personliga exponeringen för yrkesmässigt exponerade har planerats. Syftet med denna studie var att undersöka hur bussförarens personliga exponering för motoravgaser påverkades av försöket, både i innerstaden och direkt utanför området med biltullar. Kvävedioxid (NO_2) är en väletablerad indikator för motoravgasexponering (särskilt dieseldrivna exponering) och användes som mått på avgasexponeringen i denna studie.

Kvävedioxidexponeringen mättes med personburen provtagare under tio dagar på tio bussförare som körde i innerstaden under en tvåveckorsperiod före trängselskattens införande i december 2005. Mätningarna upprepades sedan på liknande körsträckor två veckor under pågående försök i mars och april 2006. Motsvarande provtagning genomfördes på tio förare under tio dagar i området utanför tullarna i Solna och Sundbyberg. Totalt togs 404 heldagsprov med passiva diffusionsprovtagare specifika för NO_2 . Provtagarna levererades från och analyserades av IVL Svenska Miljöinstitutet AB.

Mätningarna visade att bussförarnas medelxponering för NO_2 under ett arbetspass i Solna och Sundbyberg under vardagar var högre under försöket ($105 \mu\text{g}/\text{m}^3$ $\text{sd}=41$) än före ($84 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $\text{sd}=33$). Även för innerstadsförarna var exponeringen för NO_2 under vardagar högre under försöket ($78 \mu\text{g}/\text{m}^3$ $\text{sd}=19$) än före ($67 \mu\text{g}/\text{m}^3$ $\text{sd}=23$), trots att man konstaterat en trafikminskning. På helgerna var medelxponeringen för NO_2 för båda grupperna något lägre under försöket än före.

Undersökningen visade att bussförarnas exponering för NO_2 var högre under Stockholmsförsöket än under referensperioden i december 2005, både i innerstaden och i Solna och Sundbyberg. Det var stora spridningar i de uppmätta halterna, både före och under försöket, både i innerstaden och utanför. Halten NO_2 i gatunivån påverkas förutom av utsläpp från fordon även av väderförhållandena. Miljöförvaltningens mätningar visar att halterna NO_2 i gatumiljön på två högratifierade innerstadsgator de senaste fem åren var högre i mars och april än i december, vilket sannolikt har bidragit till våra resultat. Den personliga dagliga exponeringen för förarna kan också påverkas av trafiksituationen och andra oidentifierade faktorer som varierar över tid. Den sammantagna effekten av sådana faktorer har påverkat förarnas exponering för NO_2 mer än själva Stockholmsförsöket. Bussförarna i Solna och Sundbyberg hade en högre kvävedioxidexponering än förarna i innerstaden, både före och under försöket. Detta kan sammanhålla med att bussarna i Solna och Sundbyberg är dieseldrivna medan de i innerstaden drivs med etanol, vilket ger ett lägre utsläpp av NO_2 .

1. Bakgrund och syfte

Trängselskatt infördes på försök i Stockholms innerstad första halvåret 2006 i syfte att minska trafiken samt förbättra miljön och hälsan för befolkningen. Liknande åtgärder har tidigare införts i flera utländska städer som Trondheim, Rom, Singapore och London. Metoderna för att minska trafiken i städernas citykärnor skiljer sig åt men reglerad trafik har systematiskt reducerat antalet fordon i städernas kärnor. I Rom sjönk antalet bilar med 25 procent. Kolmonoxidhalten sjönk med 65 procent 1993 medan partikelhalten var oförändrad⁽¹⁾. I Singapore minskade antalet bilar i citysnittet efter den senaste trafikregleringen 1998 men uppgifter om hur luftföroreningsnivåerna har påverkats saknas⁽²⁾. I London minskade antalet bilar med cirka 20 procent sedan 2003. Flera luftföroreningsparametrar som luftburna partiklar (PM₁₀) och kolmonoxid (CO) har minskat, men halten kvävedioxid minskade inte⁽³⁾. I London konstaterade man att nivåerna av NO₂ steg efter trängselskatternas införande år 2003⁽¹⁾. Några förklaringar anges inte. I Stockholm minskade trafiken som passerade biltullarna med 20 till 25 procent (genomsnittlig trafikminskning per vardagsdygn) vid Stockholmsförsöket under första halvåret 2006. I själva innerstaden minskade trafiken med tio procent medan trafiken i den närmaste omgivningen minskade med fem procent. Miljöförvaltningen har beräknat hur avgasrelaterade luftföroreningar i innerstaden skulle påverkas av försöket⁽⁴⁾. Stockholms Luft och Buller (SLB-analys), en enhet inom Miljöförvaltningen, har två stationära mätstationer utplacerade i gaturummet 2,5 meter ovanför gatunivån på Hornsgatan och Sveavägen. Sedan 1992 mäts kontinuerligt luftföroreningsparametrar som partiklar (PM_{2.5} och PM₁₀) och gaser som koloxid (CO), kvävedioxid (NO₂), summa kväveoxider (NO_x) med flera. Miljöförvaltningen mäter också samma parametrar på taket på Södermalm (Rosenlundsgatan). Inga mätningar av personlig exponering har dock redovisats.

Motoravgaser har en komplex sammansättning och innehåller många kemiska ämnen. Flera olika ämnen eller partiklar har använts som indikatorer på exponeringen. Bland partiklar i olika storleksfraktioner har man bland annat använt ultrafina partiklar då dieselavgaser genereras i dessa storleksfraktioner (<0.1 µm aerodynamisk diameter). Personburen utrustning för sådana mätningar saknas dock. Personburen mätutrustning för partiklar som är mindre än 1µm finns och är ett bra komplement, men den skulle ge svårtolkade resultat vid den planerade studien då luftburna slitagepartiklar från vägbanorna är mycket årstidsberoende. Kväveoxider (NO_x) är en bra indikator på utsläpp (emission) av motoravgaser, framför allt från dieseldrivna fordon. Den oftast använda indikatorn är dock kvävedioxid (NO₂). Personburen mätutrustning för NO₂ finns som ger ett tidsvägt medelvärde under ett arbetspass. Vi har vid denna undersökning valt att använda NO₂ som indikator på avgasexponeringen. Det hygieniska gränsvärdet för avgaser mätt som kvävedioxid är 2000 µg/m³ ⁽⁵⁾.

Det finns många yrkesgrupper som exponeras för motoravgaser i Stockholms län. En sådan yrkesgrupp är bussförare som befinner sig i gaturummet en stor del av sina arbetsskift. Syftet med denna undersökning var att undersöka hur bussförarens personliga exponering för motoravgaser påverkades av försöket med trängselskatt och om påverkan var olika i innerstad och i närförort.

2 Metoder och mätstrategier

2.1 Material

För att representera förare som kör i innerstaden undersöktes bussförare från Söderhallsgaraget. Förarna är anställda av Busslink och kör etanoldrivna och biogasdrivna bussar i Stockholms innerstad. Förarnas arbetspass växlar mellan olika busslinjer, vilket betyder att man kör en busslinje fram till paus, fortsätter med en annan linje till lunch för att sedan köra ytterligare en annan linje efter lunch. Varje pass kan således omfatta många olika innerstadslinjer. Tio förare provtogs per dag och totalt togs prover under 97 arbetspass före Stockholmsförsöket och 104 under försöket. Samma förare har deltagit vid flera provtagningstillfällen.

Den andra gruppen bestod av förare stationerade vid Råstagaraget i Solna och som kör bussar i Solna och Sundbyberg. De är anställda av Connex och bussarna är dieseldrivna. Vi syftade att ta prover på huvudsakligen busslinjerna 506, 509 och 540 som till stor del trafikerar de stora trafiklederna i Solna och viss mån Sundbyberg. Passen omfattar dock körning även på andra busslinjer. Tio förare provtogs per dag och totalt genomfördes 101 provtagningar före försöket och 117 under försöket. Samma förare har deltagit vid flera provtagningstillfällen.

En loggbok användes där föraren antecknade raster, körsträckor och speciella händelser under arbetspasset som till exempel kraftig köbildning eller driftstörningar på bussen.

Försökuppläggningsen skedde i samråd med representanter för bussförare och arbetsledning vid de båda garagen.

2.2 Metod

Personburen avgasexponering avseende kvävedioxid (NO_2) mättes under en tvåveckors period före trängselskattens införande (december 2005). Mätningarna upprepades sedan under två veckor under pågående försök (mars och april 2006). En förare i innerstaden genomförde sju mät dagar i maj 2006.

Kvävedioxid (NO_2) mättes dagvis (åtta timmar) i bussförarnas andningszon med bärbar diffusionsprovtagare utvecklad av IVL, som även analyserade proverna på laboratoriet i Göteborg. Provsamlaren som är cylindrisk med en diameter på 2,5 centimeter och en tjocklek på en centimeter fästes nedanför vänster krage på föraren under provtagningen. Detektionsgränsen är ungefär $4.5 \mu\text{g NO}_2/\text{m}^3$ vid 8 timmars provtagning.

Förarna uppmanades att normalt ha mätarna på under raster och att dokumentera om de stängdes av. Mätarna stängdes av under raster i 46 prov, något fler under försöket än före i innerstaden och fler före försöket än under i Solna. Eftersom NO_2 halten är lägre under rasterna blir konsekvenserna av detta en underskattning på 0,5 procent av värdena i Solna under försöket och en överskattning på innerstadsvärden under försöken.

Försökspersonerna uppmanades att inte uppehålla sig i utrymmen med tobaksrök då detta stör mätresultaten. Totalt nio prover uteslöts på grund av sådana händelser.

Uppgifter om halten NO_2 i gaturummen på Hornsgatan, Sveavägen och ovanpå tak på Rosenlundsgatan, samlas rutinmässigt in från stationära mätstationer av Stockholms Luft och Bulleranalys (SLB-analys) vid Miljöförvaltningen i Stockholm, och publiceras på deras hemsida. Dessa mätdata sammanställdes för de tidsperioder

vi utförde mätningarna på bussförarna. Från samma källa fick vi även data över medelhalten av NO₂ i olika tidsperioder vid dessa mätstationer under de senaste fem åren.

2.3 Statistiska metoder

Vi använde SPSS 13.0 för Windows för all statistisk bearbetning. Mann-Whitney's t-test användes för att jämföra exponeringsnivån mellan innerstaden och Solna och Sundbyberg före respektive under försöket, samt exponeringsnivån mellan de bägge tillfällena för innerstad respektive Solna och Sundbyberg. Korrelation mellan de uppmätta exponeringsnivåerna hos förarna och den allmänna nivån i stadsmiljön (i taknivå) undersöktes med Pearson's korrelationskoefficient.

Mann-Whitney's t-test är tillämpligt under förutsättning att de två grupper man jämför är oberoende av varandra. Då mätningar genomfördes på samma personer flera gånger under varje provtagningsperiod är detta kriterium inte självklart uppfyllt, om exponeringsnivån är beroende av individfaktorer som körstil etcetera. Emellertid var det en mycket stor variabilitet i mätresultaten och det gällde även för mätningar som genomförts på samma individ. Då individfaktorn synes ha haft ett litet inflytande på exponeringen har vi i den statistiska analysen betraktat mätresultaten som oberoende av varandra.

3. Resultat

3.1 Uppmätta kvävedioxidnivåer för bussförarna

Total 404 personburna heldagsmätningar av NO₂ genomfördes, varav 361 på vardagar och 43 under helger, se tabell 2 i appendix. Utöver dessa genomfördes 15 mätningar som uteslutits av följande skäl: Nio mätvärden har tagits bort för att föraren angivit att de utsatts för tobaksrök. Tre mätvärden har tagits bort för att de körts under mycket kort tid (< 4 timmar). Tre mätvärden har tagits bort eftersom diffusionsprovtagarna inte stängts av efter arbetspassets slut.

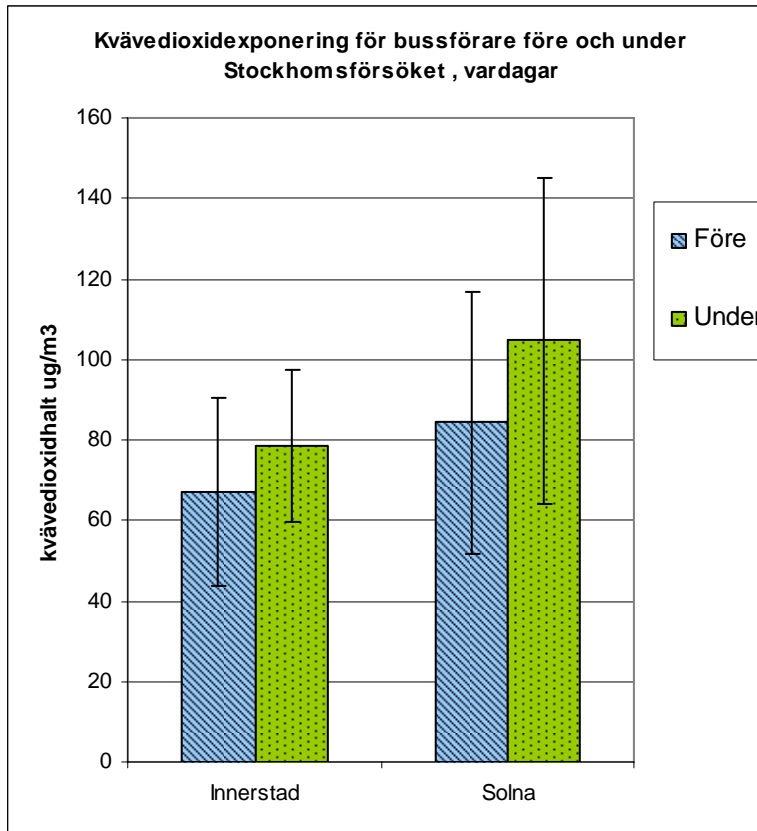
Medelexponeringen under vardagar för innerstadsförarna var 67,1 µg/m³ före försöket och 78,4 µg/m³ under försöket, motsvarande 16,8 procents förändring. För förarna i Solna och Sundbyberg var exponeringen 84,3 µg/m³ före försöket och 104,8 µg/m³ under försöket, motsvarande 24,3 procents förändring. NO₂-halten var signifikant högre under försöket än före, både i innerstaden och i Solna och Sundbyberg. Förarna i Solna och Sundbyberg hade dessutom en statistiskt signifikant högre exponering än innerstadsförarna såväl före som under försöket under vardagar (tabell 1 och figur 1).

Tabell 1. Exponering för NO₂ under vardagar hos bussförare före respektive under trängselskatteförsöket, i Stockholms innerstad respektive Solna och Sundbyberg. Medelvärde och standardavvikelse (sd) anges i µg/m³.

	Innerstaden			Solna och Sundbyberg		
	antal (n)	medelvärde	sd	antal (n)	medelvärde	sd
Före försöket	90	67,1	23,4	80	84,3	32,6
Under försöket	95	78,4	18,9	96	104,8	40,5

n= antalet provtagningsdagar
medelvärde= aritmetiska medelvärdet
sd= standardavvikelsen

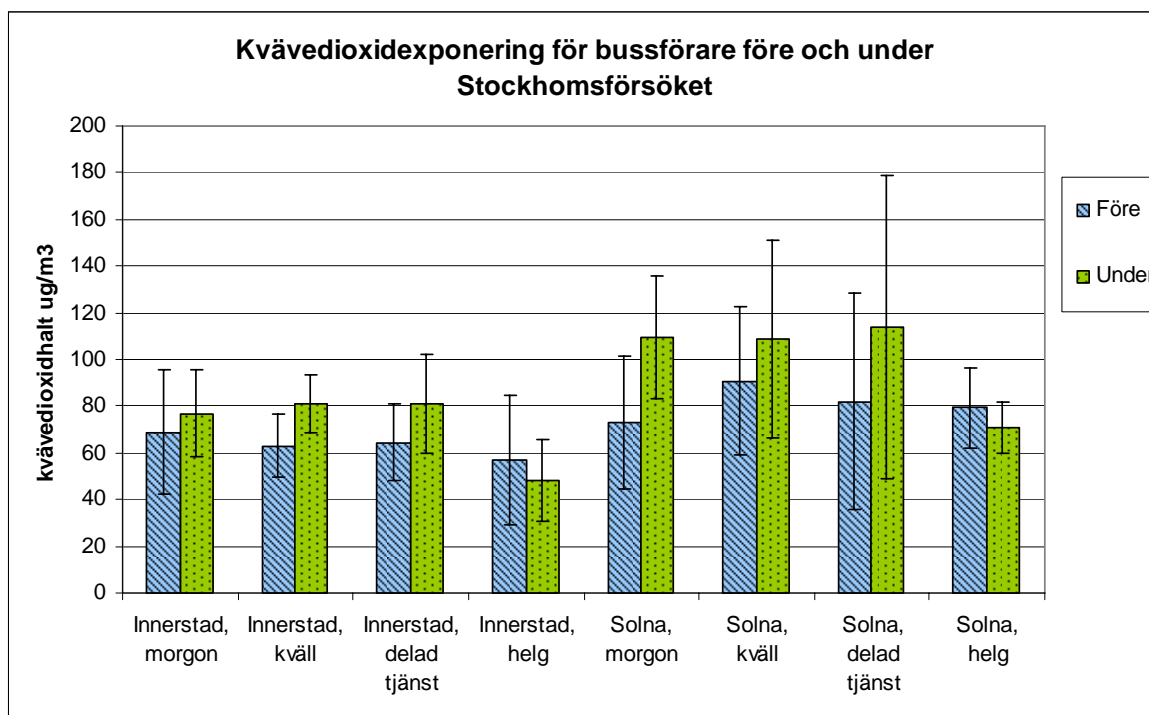
Figur 1. Exponering för NO₂ under vardagar hos bussförare före respektive under träningskatteförsöket i Stockholms innerstad respektive Solna och Sundbyberg. Medelvärde (tjocka staplar) och standardavvikelse (tunna linjer) anges i µg/m³. Signifikantstest visade en statistiskt signifikant skillnad mellan exponeringen före och under försöket, både i innerstaden och i Solna och Sundbyberg.



Däremot fann vi under helger en tendens till lägre halter under försöket än innan för både innerstadsförarna (56,9 ug/m³ före mot 48,3 ug/m³ under försöket) och ytterstadsförarna (79,4 ug/m³ före mot 70,8 ug/m³ under försöket), se figur 2. Vi genomförde endast fyra heldagsmätningar på helger i innerstaden före försöken mot 15 i Solna och Sundbyberg.

Vi undersökte också om resultaten skilde sig mellan förare som kör morgonpass, kvällspass eller har tjänst med delade pass. Typen av pass föreföll dock inte påverka resultaten (figur 2 och tabell 2 i appendix). Förändringen av NO₂-halten under försöket var nära nog identisk mellan de olika typerna av pass även om absolutnivåerna skiljde sig något mellan de olika skiften. Nivån i innerstaden var jämnare både före och under försöken än i Solna. De flesta körde morgonskift. De enskilda typerna av skift är inte signifikanttestade.

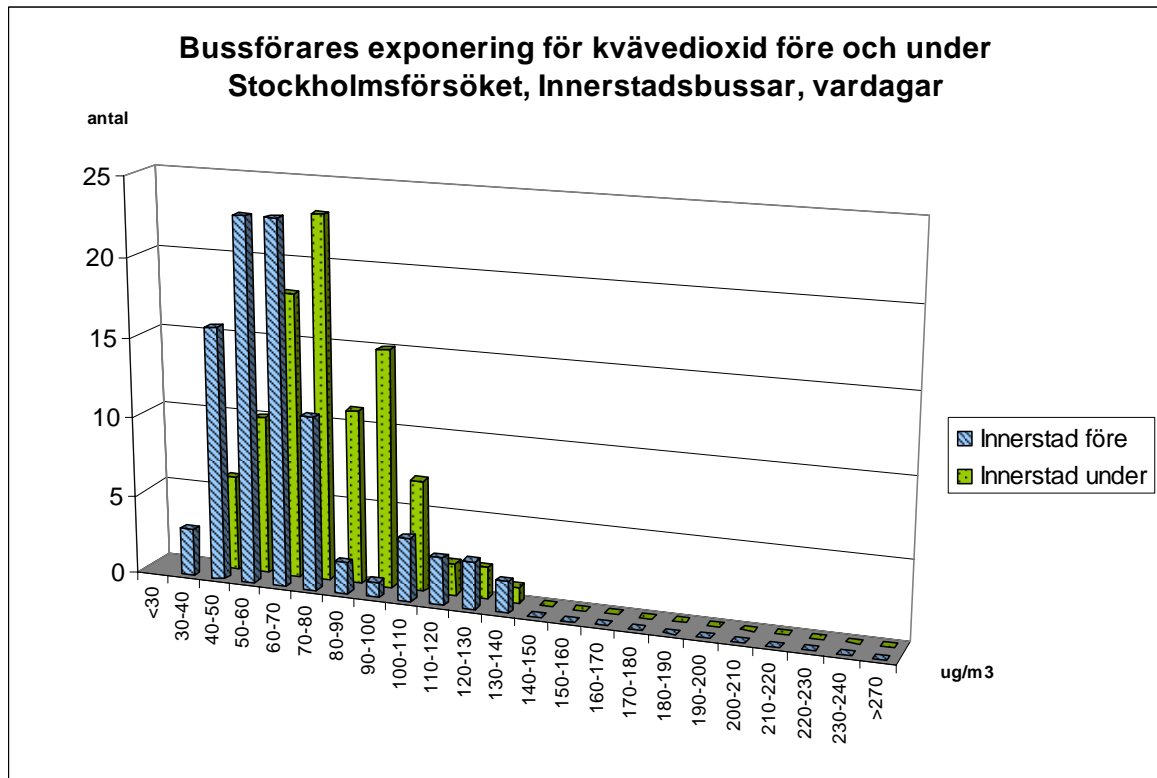
Figur 2. Kvävedioxidexponering för bussförare före och under trängselskatteförsöket för olika arbetsskift. Tjocka staplar anger medelvärdet och linjerna anger standardavvikelsen.



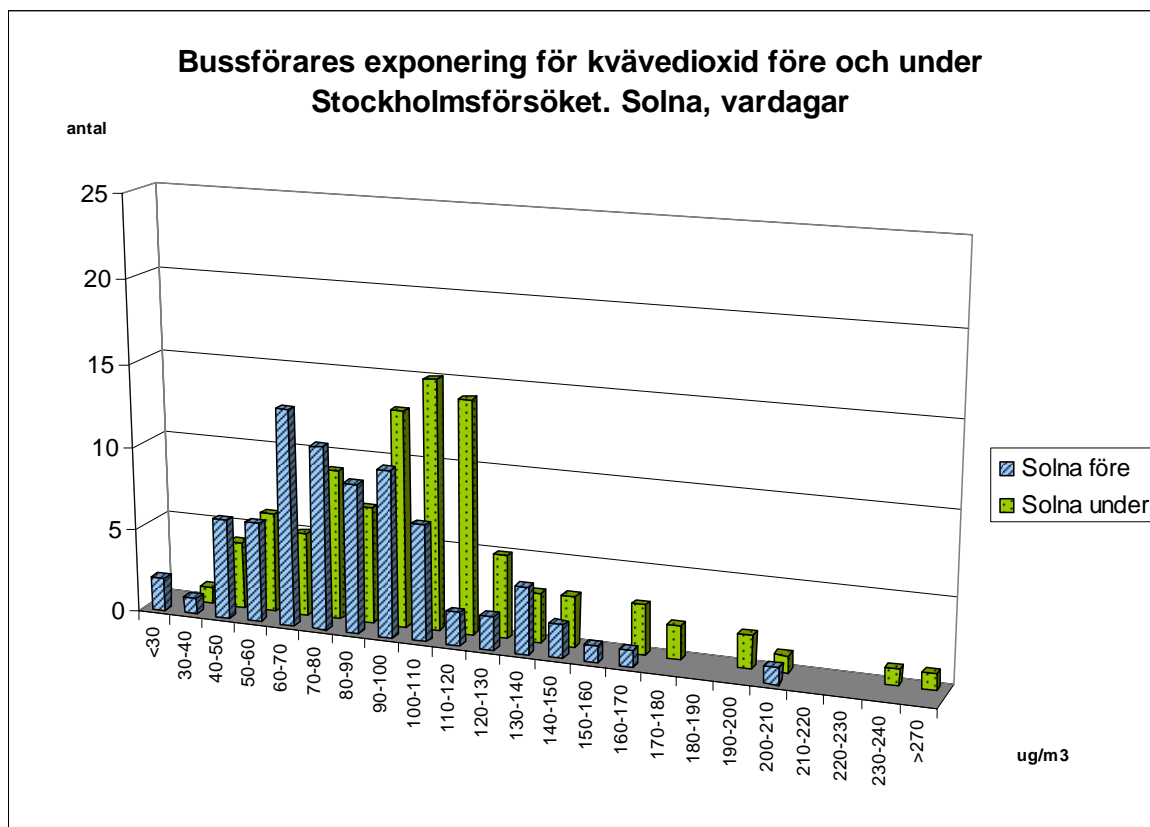
3.2 Fördelning av mätvärden

Fördelningen av de 361 vardagsmedelvärdena för innerstaden respektive Solna och Sundbyberg redovisas i figur 3 respektive 4. Mätvärdena är log-normalfördelade. Figurerna 3 och 4 visar att det var fler antal mätdagar med högre NO₂-halt i Solna och Sundbyberg än i innerstaden. I respektive figur syns även att det var en större andel mätdagar med höga NO₂-halter under försöket (gröna staplar) än innan försöket (blå staplar).

Figur 3. Fördelning av de 185 mätningarna av NO₂-halter före och efter trängselskatteförsöket i innerstaden.



Figur 4. Fördelning av de 176 mätningarna av NO₂-halter före och efter trängselskatteförsöken i Solna och Sundbyberg.



3.3 Kvävedioxidnivåer rapporterade av SLB-analys

Data om omgivningens halter av NO₂ samlades in för att få en uppfattning om i hur hög grad bussförarnas NO₂-exponering påverkades av andra källor än bussarna själva. NO₂ i allmänna miljön härstammar huvudsakligen från trafik men även andra förbränningskällor och långväga transport bidrar (se tabell 3a och 3b i appendix).

Halten NO₂ ovan tak dygnet runt under mät dagarna under försöket i mars och april var 16,3 µg/m³ vilket är nära medelvärdet 16,2 µg/m³ för samma tidsperiod de senaste fem åren. På samma sätt var dygnetrunnmedelvärdet för ovantakmätningarna under mät dagarna i december före försöket 19,4 µg/m³ nära de senaste fem årens medelvärde 19,5 µg/m³ för motsvarande dagar (tabell 3b). Ovantakhalterna av NO₂ förefaller alltså inte ha påverkats av försöket med trängselskatt i sig, och brukar i genomsnitt vara cirka 16 procent lägre under mars och april än i december.

SLB-analys mätningar i gaturummet visade dock en annan bild. Den halt NO₂ som uppmättes på Hornsgatan och Sveavägen under de dagar våra mätningar genomfördes under pågående trängselskatteförsök var något högre, 48,5 µg/m³, än medelvärdet de senaste fem åren på 46,4 µg/m³. Däremot var

NO₂-halten i gaturummet under vår mätperiod före försöket lägre, 40,7 µg/m³, och låg nära de senaste årens medelvärde på 39,7 µg/m³ (tabell 3b). Således förelåg det under de senaste fem åren cirka 19 procent högre NO₂ halter i gaturummet i mars och april än i perioden i december.

Vi undersökte också i vilken grad som bussförarnas exponering samvarierade med halten av kvävedioxid ovan tak på Rosenlundsgatan (mätta av SLB-analys, Miljöförvaltningen, Stockholm) under samma tid som respektive förarmätning. Vi fann endast en låg korrelation ($r^2 = 0,46$) mellan ovantak-nivåer och innerstadsbussförarnas exponering. För ytterstadsförarna var korrelationen som väntat ännu lägre, då dessa förare har sina körsträckor längre från den fasta mätstationen på Södermalm.

3.4 Trafikflöden

Trafikmängden genom betalstationerna sjönk med cirka 20 procent gentemot motsvarande period tidigare år⁽⁶⁾. Trafiken på Sveavägen sjönk från 24 131 fordon per dag i april 2005 till 22 596 fordon per dag i april 2006 (6,4 procent) medan den i december 2005 var 33 569 fordon per dag⁽⁷⁾. Således var det 28,1 procent färre bilar i april 2006 då vi genomförde mätperiod 2, än vid mätperiod 1 i december 2005.

Vi har inga data på hur trafikflödet förändrades under försöket på de gatusträckningar som de undersökta busslinjerna trafikerar.

4. Diskussion

Resultaten visar att kvävedioxidexponeringen för bussförarna i Solna och Sundbyberg var statistiskt signifikant högre än för innerstadsförarna, såväl före som under pågående trängselskattförsök på de busslinjer vi mätte. Vi kunde även konstatera att kvävedioxidhalterna var signifikant högre både på innerstadslinjerna och i Solna- och Sundbybergslinjerna under försöket än före. Ökningen tenderade dessutom att vara större i Solna och Sundbyberg, men inte heller denna skillnad var statistiskt signifikant.

Vi hade snarast förväntat oss att exponeringen för innerstadsförarna skulle vara lägre under försöket än innan. Det kan finnas flera förklaringar till de oväntade resultaten.

Generellt har det under de senaste åren varit högre NO₂ halter i gaturummet i innerstaden (Hornsgatan och Sveavägen) i mars och april än i december, vilket även var fallet år 2006. De senaste fyra åren före trängselskatten var det 16 procent högre NO₂-halter i april än i december. I april 2006 var det 19 procent högre de dagar som vi utförde våra mätningar än i december 2005. Denna årstidsvariation utgör sannolikt en delförklaring till resultaten.

Miljöförvaltningen har analyserat NO₂-halterna på Hornsgatan och Sveavägen under årets första månader (januari till april) under flera år och kommit fram till att om man bara tittar på de mätvärden som är utförda de dagar

ingen utvädring sker i gaturummet, det vill säga vid nordlig vind på Hornsgatan och öst- eller västlig vind på Sveavägen, så blev det lägre halter av NO₂ under Stockholmsförsöket⁽⁴⁾. De bussar vi studerade körde i alla riktningar i staden och det går inte att avgöra i vilken mån bussförarnas exponering påverkats av försöket i sig. Vi hade ingen möjlighet att mäta bussförarnas exponering i april 2005, vilket givetvis hade underlättat tolkningen. Men mycket tyder på att fluktuationerna i väderförhållanden och andra yttre faktorer spelar en större roll för NO₂-halten än trafikmängden.

Bussförarnas exponering för NO₂ varierade kraftigt både från dag till dag och mellan förarna vilket är mycket vanligt i arbetsmiljösammanhang. Det är betydligt

fler faktorer som påverkar förarnas exponering under ett visst arbetspass än vad som registreras ovan tak på Södermalm.

I innerstaden genomfördes för få mätningar under helger före försöket för att kunna dra några säkra slutsatser om skillnaden i exponering före och under försöket. I Solna och Sundbyberg observerade vi emellertid lägre NO₂-exponering för förarna under försöket än innan, trots att storstadsnivåerna ovan tak var högre än före försöket. Helgtrafiken väntades öka under försöket men även i innerstaden fanns en tendens till lägre NO₂-exponeringar. Förklaringen till detta är oklar, men slumpfaktorer kan spela en roll.

Ett fordon – särskilt dieselfordon – avger betydligt mer NO₂ vid belastning än vid tomgång. NO₂-emmissionerna ökar sedan exponentiellt vid belastning. Tyngre fordon står för 70 procent av avgasrelaterade NO₂-utsläpp⁽⁸⁾ men de 200 dieseldrivna direktbussarna som kom till inför försöket har inte bidragit till den ökade NO₂-exponeringen för våra förare eftersom dessa bussar redan fanns vid vårt mättillfälle före försöken. Minskningen av inpassage av företrädesvis bensindrivna personbilar genom betalstationerna kan ha resulterat i en proportionellt större andel dieseldrivna nyttofordon i innerstaden under försöken. I innerstaden minskade köerna vilket sannolikt ledde till mindre tomgångskörning och högre hastigheter, som i sin tur belastar motorerna mer. Detta skulle till viss del kunna förklara de högre NO₂-nivåerna i mars och april 2006.

Att Solna och Sundbyberg redan innan försöken hade en högre exponering för sina bussförare kan hänga samman med att man använder dieseldrivna bussar, till skillnad från bussarna i Stockholms innerstad som drivs med etanol eller biogas. En dieseldriven buss släpper ut cirka 50 procent mer NO₂ än en etanolbuss från sent 1990-tal och cirka tre gånger mer än en ny etanoldriven buss⁽⁶⁾. Vår uppfattning och erfarenhet från tidigare förarstudier talar inte för att förarna blir exponerade från det egna fordonet i särskilt hög utsträckning utan att huvuddelen av exponeringen härstammar från andra fordon i trafiken. Det egna körsättet har således betydelse för exponeringen, till exempel hur länge man står bakom andra bussar vid hållplatser eller kör nära andra fordon. Vi kunde observera stora olikheter mellan olika förare. NO₂-källan för bussförarnas exponering är inte helt kartlagd. En stor del kommer från trafiken men även från den egna bussen när dörrarna öppnas. En av bussarna i Solna läckte in avgaser och felanmälades efter fem dagsprovtagningar i mars 2006. Samma busstyp används i Solna och Sundbyberg. Vi har inga uppgifter om eventuellt avgasinläckage på andra bussar i Solna eller på innerstadsbussarna som är av annat fabrikat.

Det finns få studier som har undersökt förarens exponering från det egna fordonet. År 1983 gjorde miljö- och hälsoskyddsförvaltningen i Stockholm en noggrann mätning inne i ett flertal innerstadsbussar som då var dieseldrivna.

En inte oväsentlig del av NO₂-halterna i bussarna bestod i avgaser som trängde in genom dörrarna när de stod öppna vid busshållplatserna⁽⁹⁾. Medelxponeringsnivåerna för NO₂ år 1983 (september) var 96 µg/m³ jämfört med 67 µg/m³ (december 2005) respektive 78 µg/m³ (april 2006).

Att mycket av NO₂-exponeringen härstammar från gaturummet bekräftas i en dansk studie av bussförare i Köpenhamn. Man mätte NO₂-halten utanför bussarna och inne vid förarplatserna under 42 heldagar och fann en hög korrelation. Medelhalten inne var 56 µg/m³, motsvarande 97 procent av halten utanför bussarna⁽¹⁰⁾.

Mätningar av bussförarens exponering i Stockholm 1998 genomfördes med samma metod som i denna studie⁽¹¹⁾. 21 innerstadsförare hade en medelxponering för NO₂ på 72 µg/m³, det vill säga i god överensstämmelse med resultaten i denna

studie, medan 21 ytterstadsförare hade en väsentligt lägre exponering, 47 µg/m³. De förortslinjer man då undersökte var mer lågtrafikerade linjer i ytterstaden, vilket sannolikt förklarar den lägre nivån.

Vi kontrollerade takvärdena mätt ovan tak på Rosenlundsgatan under exakt samma tid som vi genomförde exponeringsmätningarna för var och en av studiepersonerna. Vi fann endast en svag korrelation mellan taknivån i innerstaden och bussförarnas exponering i innerstaden. Korrelationen var ännu lägre för förarna i Solna och Sundbyberg eftersom vi saknar lokala gatunivåvärden från Solna. De spridningsmodeller som SLB-analys och Miljöförvaltningen använder för Storstockholmsregionen visar att NO₂-halterna i Solna och Sundbyberg ligger obetydligt lägre i gatunivåerna än på Södermalm, där det dock finns några högtrafikerade gator såsom Hornsgatan som har höga NO₂-halter. Likaså har ett antal av de högtrafikerade genomfartslederna i Solna och Sundbyberg relativt höga NO₂-halter som någon av de studerade busslinjerna trafikerade. Dessa halter bygger på modelleringar och anger NO₂-halten och dess variation över tiden i bestämda geografiska punkter. Detta är inte direkt jämförbart med exponeringsmätningar som följer en person och registrerar dennes exponering.

4.1 Slutsatser

Bussförarna i Solna och Sundbyberg tenderade att ha en högre exponering för NO₂ än förarna i innerstaden. I Solna och Sundbyberg drivs bussarna med dieselbränsle medan bussarna i innerstaden drivs med etanol eller biogas, och detta kan ha bidragit till skillnaden. NO₂-exponeringen var högre under Stockholmsförsöket än före, både i innerstaden och i Solna och Sundbyberg. Förarnas exponering för NO₂ påverkas av en rad faktorer som väderleksförhållanden och lokala faktorer. Den minskade trafiken under försöket har sannolikt lett till ett minskat utsläpp av kväveoxider i innerstaden. Bildningen av NO₂ från NO_x påverkas av en rad faktorer. Vi kan konstatera att den sammantagna effekten av faktorer som påverkar NO₂-exponeringen för förarna, utöver försöket med trängselskatt, har varit starkare än själva försöket. I vilken mån de ökade halter som sågs bland förarna i Solna och Sundbyberg under försöket jämfört med innan hänger samman med en eventuellt ökad trafik går inte att avgöra.

4.2 Tack

Vi tackar alla bussförare som medverkat i denna studie vid Connex bussgarage i Solna (Råstagaraget) samt vid Busslinks bussgarage på Södermalm (Söderhallarna). Vi vill också tacka garagecheferna vid de båda garagen samt andra arbetsledare och övriga som medverkat till att denna studie kunnat genomföras.

5. Referenser

1. Livingstone K (2003), Congestion charges. *The Economist*. Feb 13th.
2. Menon G (2000), *Electronic Road Pricing (ERP) in Singapore – a perspective one year on*. Traffic Engineering and Control. Feb 2000:40-46.
3. Central London Congestion Charging Scheme. *Impacts Monitoring*. Summary Review: January 2005. Transport for London 2005.
4. *Stockholmsförsöket – Effekter på luftkvalitet och hälsa*. Stockholm, SLB-analys.. SLB 2:2006.
5. *Hygieniska gränsvärden och åtgärder mot luftföroreningar* (2006). Solna, Arbetsmiljöverkets författningssamling. AFS 2005:6.
6. *Utvärdering av Stockholmsförsökets effekter på biltrafiken*. Rapport juni 2006. Stockholm, Stockholms Stads Trafikkontor..
7. *Utvärdering av Stockholmsförsökets effekter på biltrafiken samt datalister från Utvärderingskansliet* (2006). Stockholm.
8. Lindqvist E (2005) *Samhällsnytta av förnybara drivmedel i Stockholms busstrafik*. Stockholm, Transek AB.
9. Westerlund K-G (1984) *Luftföroreningar i bussar som trafikerar Stockholms gator*. Miljö och hälsoskyddsförvaltningen, Stockholms kommun, Stockholm. Dnr 316/2299-84.
10. Wilhart P, Breum N, Hansen Å, Hartel O, Knudsen L (1996) *Eksponering for luftforurening i transportsektorn*. Arbetstilsynet, Köpenhamn. AMI Rapport nr 46.
11. Lewné M, Nise G, Lind M-L, Gustavsson P (2006) *Exposure to nitrogen dioxide and particles among taxi, bus and lorry drivers*. Int Arch Occup Environ Health.;79:220-6.

1. Bilaga

Detaljerade data om hur de uppmätta NO₂-halterna från bussförarnas exponeringsmätningar fördelar sig över skift.

Tabell 2. Detaljfördelning av uppmätta exponeringshalter av NO₂ före respektive under pågående trängselskattförsök i Stockholms innerstad respektive Solna och Sundbyberg under vardagar och helger (µg/m³).

		Innerstaden			Solna och Sundbyberg		
		Antal	Medelhalt	sd	Antal	Medelhalt	sd
Före							
Vardag	Morgon	59	68,9	26,8	31	73,3	28,5
	Kväll	7	63,0	13,3	39	90,8	31,6
	Delad tj	21	64,4	16,4	8	82,1	46,5
Helg	Totalt	4	56,9	28,0	15	79,4	17,1
Under							
Vardag	Morgon	70	77,0	18,3	35	109,3	26,4
	Kväll	5	80,9	12,5	50	108,9	42,4
	Delad tj	19	80,6	21,0	10	113,8***	64,8
Helg	Totalt	9	48,3	17,5	15	70,8	17,1

*** Anmälda läckage in i bussen från eget fordon (n=3)

n=antal tagna 8-timmarsprov; **Medelhalt**=aritmetriska medelvärder i µg/m³;

Sd=Standardavvikelse uttryckt i µg/mg³

Tabell 3a. Dygnsmedelvärden av kvävedioxid 1/1–30/6 under olika år i gatu- respektive taknivå, erhållna från SLB-analys.

År	Hornsgatan	Sveavägen	Medelvärde Hornsgatan- Sveavägen	Taknivå innerstad
2006	46,6	38,2	42,5	17,4
2005	44,8	38,6	41,7	16,2
2004	49,7	40,1	44,7	17,9
2003	49,5	38,3	43,4	16,9
2002	51,0	38,9	44,8	17,2
2001				17,7

Tabell 3b. Dygnsmedelvärden av kvävedioxid i gatu- och taknivå under de tidsperioder bussförarnas exponering undersöktes (från SLB-analys).

År	Medelvärde Hornsgatan-Sveavägen		Taknivå innerstad	
	4/12–22/12	27/3–13/5	4/12–22/12	27/3–13/5
2006		48,5		16,3
2005	40,7	46,0	19,4	15,9
2004	36,6	47,2	17,6	18,7
2003	39,8	42,6	17,6	12,9
2002	44,3	47,9	22,9	17,3
2001	37,3	44,5	20,1	15,3