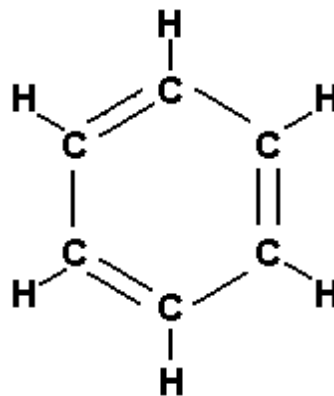


Uppskattning av emissionsfaktor för bensen



av
Gunnel Omstedt (SMHI, Norrköping) &
Christer Johansson (SLB, Miljöförvaltningen,
Stockholm)

Innehållsförteckning

Förord	3
Sammanfattning.....	4
Inledning.....	4
Metod.....	5
Data.....	6
Resultat.....	7
Spridningsberäkningar	10
Diskussion – emissionsfaktor för Stockholms vägtrafik.....	13
Referenser.....	13

Förord

I förordningen (SFS [2001:527](#)) om miljö kvalitetsnormer för utomhusluft, 8a §, ingår en miljö kvalitetsnorm för bensen. Normen är 5 µg/m³ som årsmedelvärde och får inte överskridas efter den 31 december 2009. I syfte att kartlägga halterna av bensen i Stockholms och Uppsala län behövs noggranna emissionsfaktorer för vägtrafiken.

I denna rapport har Gunnar Omstedt (SMHI, Norrköping) och Christer Johansson (SLB) använt mätdata från Stockholm och modellberäkningar för att komma fram till en genomsnittlig emissionsfaktor. Projektet är finansierat av SLB-analys.

Stockholm i mars 2004



Miljöförvaltningen i Stockholm
Box 38024
100 64 Stockholm
www.slb.nu

Sammanfattning

Emissionsfaktorer av bensen har uppskattats med hjälp av data från Hornsgatan i Stockholm. En emissionsfaktor för Hornsgatan i Stockholm har erhållits genom att analysera halter av bensen och NO_x (den så kallade spårämnesmetoden). Denna emissionsfaktor har sedan applicerats i en spridningsmodell för gaturum (den så kallade OSPM modellen). Resultaten kan sammanfattas på följande sätt:

- Ingen signifikant minskning av halterna av bensen har skett under åren 2001-2003 vid Hornsgatan i Stockholm.
- Via spårämnesmetoden har en genomsnittlig emissionsfaktor för

Hornsgatan år 2003 uppskattats till 35 mg/fkm.

- En genomsnittlig emissionsfaktor för hela Stockholmsregionen förväntas ligga 20% till 40% lägre, dvs mellan 20 och 30 mg/fkm, på de speciella trafikförhållandena vid mätplatsen på Hornsgatan.
- Spridningsberäkningar för Hornsgatan för år 2003 visar på en god samvariation med uppmätta timmedelvärden. Modellen underskattar halterna något, i genomsnitt med ca 15%, men detta ligger inom de totala osäkerheterna i beräkningarna och mätningarna.

Inledning

I denna rapport görs en analys av mätdata vid Hornsgatan i Stockholm för att uppskatta emissionsfaktorer för bensen. Bakgrunden är att emissionerna måste kunna beräknas eftersom det nu finns en miljö kvalitetsnormen för bensen (SFS 2001:527). Normen avser årsmedel och är 5 µg/m³. Detta värde får inte överskridas från och med år 2010. Samma värde finns sedan tidigare som EU direktiv.

Bensen släpps ut vid förbränning av t.ex. bensen, diesel, oljeeldning och vedeldning. Det råder betydande osäkerhet om storleken på dessa källor. Bedömningen är att utsläppen från bilarna utgör det avgörande problemet eftersom de högsta halterna uppmäts i gaturum. Utsläppen från trafiken beror bl.a. på om bilen har katalysator eller skydd för avdunstning. En betydande del av utsläppen från nya fordon med katalysator sker under kallstartsfasen. Denna del kommer att bli ännu mer betydelsefull i framtiden då personbilar utan katalysator försvinner ur

fordonsparken. Bensenhalten i bensen har gradvis minskat, miljöklass 3 innehöll mindre än 5% bensen och miljöklass 2 innehöll mindre än 3% bensen. Miljöklass 1 från 1 januari 2000 innehåller max 1% bensen (Hunhammar et al., 2002). Bensenutsläppen från vägtrafiken i tätort uppskattas ha minskat med ca 60 % mellan 1990 och 2000 (Hunhammar et al., 2002). Minskningen från mitten av 1990-talet är dels ett resultat av att fordon med bättre reningsutrustning ersatt äldre fordon och dels ett resultat av att bensenhalten i bensen minskat.

Eftersom livstiden i luften är 1-2 veckor transporteras bensen över långa sträckor. Bensenhalterna i Sverige uppkommer därför även på grund av utsläpp utanför Sverige.

Redan idag ligger troligen halterna på de flesta platser i Sverige under 5 µg/m³ som årsmedelvärde (Hunhammar et al., 2002; Johansson et al., 2004).

Metod

Två olika metoder används, dels görs beräkningar med den så kallade spårämnesmetoden där NO_x har använts som spårämne för avgasemissionerna, dels görs beräkningar med hjälp av en spridningsmodellen, OSPM (Berkowicz et al., 1996). Spårämnesmetoden har först använts för att uppskatta emissionsfaktorer för bensen. Resultaterande emissionsfaktorer har därefter testats med hjälp av en spridningsmodell. För att erhålla så aktuella data som möjligt görs beräkningarna för år 2003.

Utgångspunkten för spårämnesmetoden är ett kvotresonemang där man med kännedom emissionerna från ett ämne, i detta fall NO_x, kan beräkna emissionsfaktorer för andra ämnen, som ej är så väl kända. Enligt metoden kan emissionsfaktorer för bensen beräknas på följande sätt:

$$e_f^{bensen} = e_f^{NO_x} \left(\frac{C_{bensen}^{gata} - C_{bensen}^{tak}}{C_{NO_x}^{gata} - C_{NO_x}^{tak}} \right) \quad (1)$$

Det finns två svårigheter här, dels att bestämma emissionsfaktorn för NO_x, dels att det saknas takmätningar av bensen för år 2003.

Emissionsfaktorn för NO_x har tidigare uppskattats för år 2000 till 1.4 g/f km (ref.2). Det värdet har tidigare testats med hjälp av OSPM modellen med gott resultat (Gidhagen et al., 2004). För att säkerställa emissionsfaktorn av NO_x för år 2003 har nya beräkningar med OSPM gjorts med ett något lägre värde. Resultaten redovisas nedan.

Haltdata av bensen i taknivå beräknas med hjälp av en utspädningsfunktion, F , baserad på mätdata av NO_x.

Låt oss börja med några beteckningar:

C anger koncentrationen av vilket ämne som helst som släpps ut via avgaser, N anger NO_x halt, B Bensenhalt, t taknivå, g gatunivå och b bakgrundshalt.

Vi antar att det går att beskriva en generell utspädningsfaktor som relaterar avgasutsläpp på en gata till halterna i taknivå på följande sätt:

$$F = (C_t - C_b) / (C_g - C_b) \quad (2)$$

Observera att taknivåshalten, C_t , inte är den totala halt som uppkommer på grund av alla lokala källor utan enbart vägtrafikens bidrag. Om ekvation (2) tillämpas på bensen och NO_x och man antar att utspädningsfaktorn blir densamma för dessa ämnen fås:

$$(B_t - B_b) / (B_g - B_b) = (N_t - N_b) / (N_g - N_b) \quad (3)$$

Men återigen är takhalterna alltså endast lokala vägtrafikens bidrag.

Ur detta erhålls:

$$B_t = B_b + (B_g - B_b) * (N_t - N_b) / (N_g - N_b) \quad (4)$$

Om man nu antar att bakgrundshalterna för bensen är mycket mindre än halterna i taknivå fås slutligen:

$$B_t = B_g * (N_t - N_b) / (N_g - N_b) \quad (5)$$

Vi mäter inte takhalten av NO_x, som enbart beror på vägtrafikens bidrag (dvs N_t) utan det vi mäter är totala takhalten som beror på alla källors bidrag. Därför antar vi att övriga lokala NO_x källor är försumbara i förhållande till vägtrafiken. Då kan ekvation (5) användas för att beräkna bensenhalterna i taknivå som uppkommer på g a den lokala vägtrafikens bidrag.

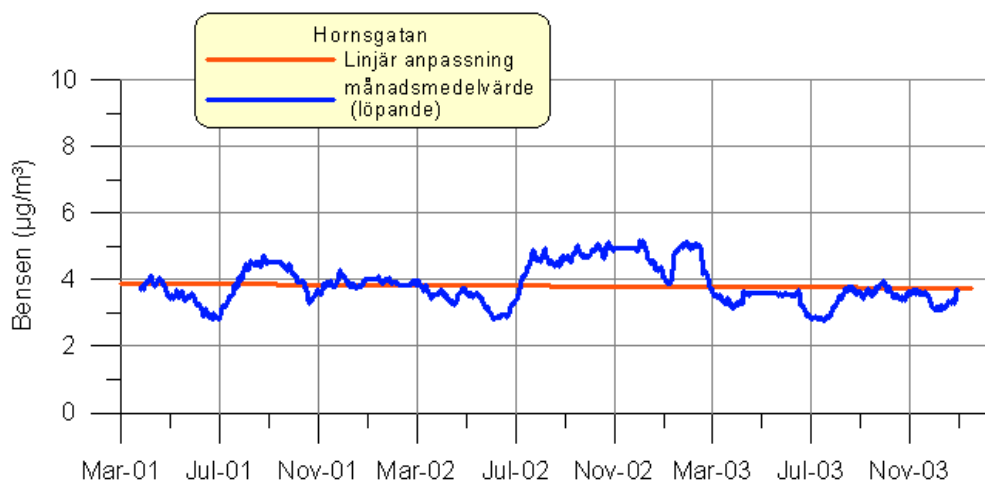
Data

I tabell 1 görs en sammanställning av de data som använts i arbetet.

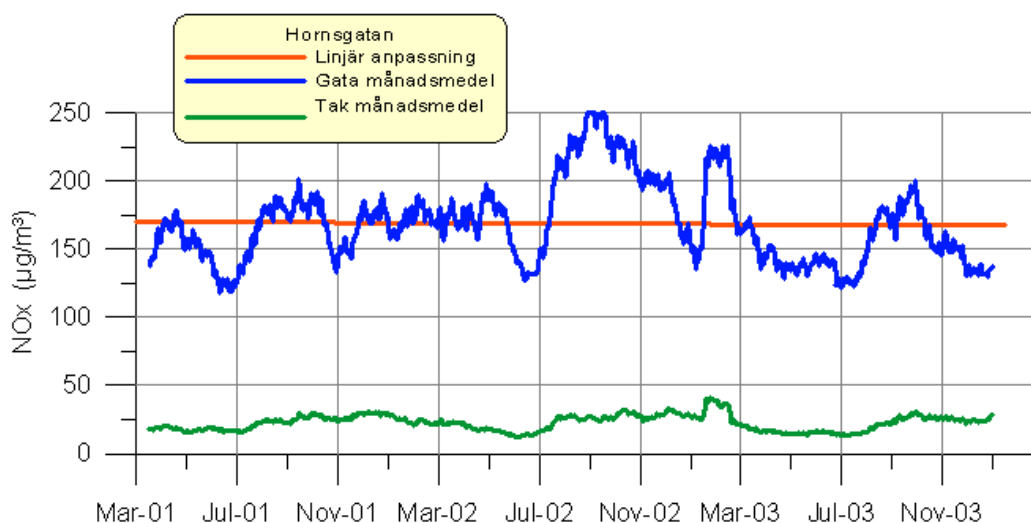
Tabell 1.

Datotyp	Källa
NOx gata	Hornsgatan norra sida
Bensen gata	Hornsgatan norra sida
NOx tak	Torkel Knutsson
NOx bakgrund	Norra Malma
Meteorologi	Maria P
Trafik	Hornsgatan (databortfall från den sydligaste filen har korrigerats med en faktor 4)

I figurerna 1 och 2 presenteras uppmätta halter av bensen och NOx för tidsperioden 2001-03 till 2003-12. Data har också anpassats genom linjär regression (heldragen linje). Ingen signifikant trend i data kan beräknas, vilket är något förvånande då man via emissionsmodeller tidigare har förvänta sig en nedåtgående trend (Hunhammar et al., 2002). Detta diskuteras mer nedan. Medelvärdena för bensen (gatunivå, Hornsgatan) åren 2001, 2002 och 2003 är 3.7, 4.0 respektive 3.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.



Figur 1. Löpande månadsmedelhalter av bensen ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) för perioden 2001-03 till 2003-12.



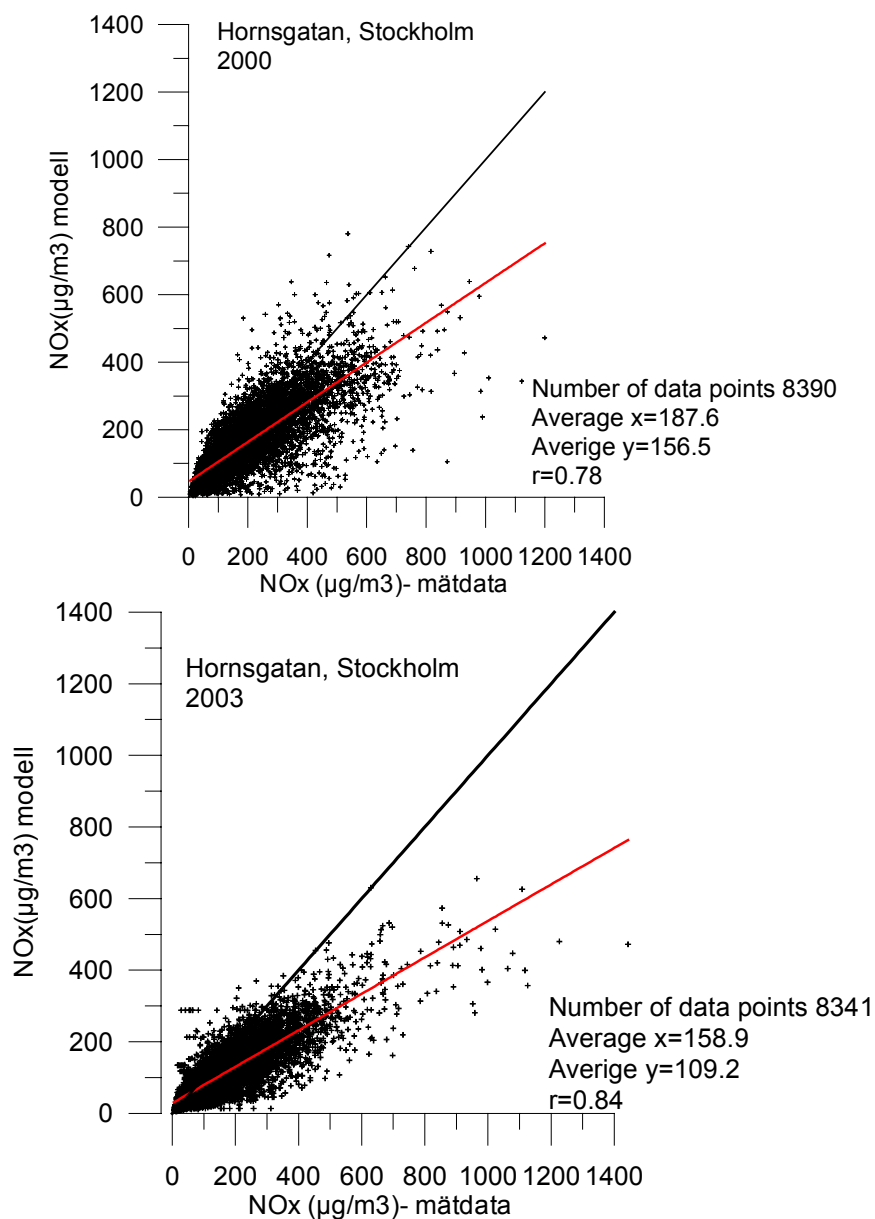
Figur 2. Löpande månadsmedelhalter av NOx ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) för perioden 2001-03 till 2003-12.

Resultat

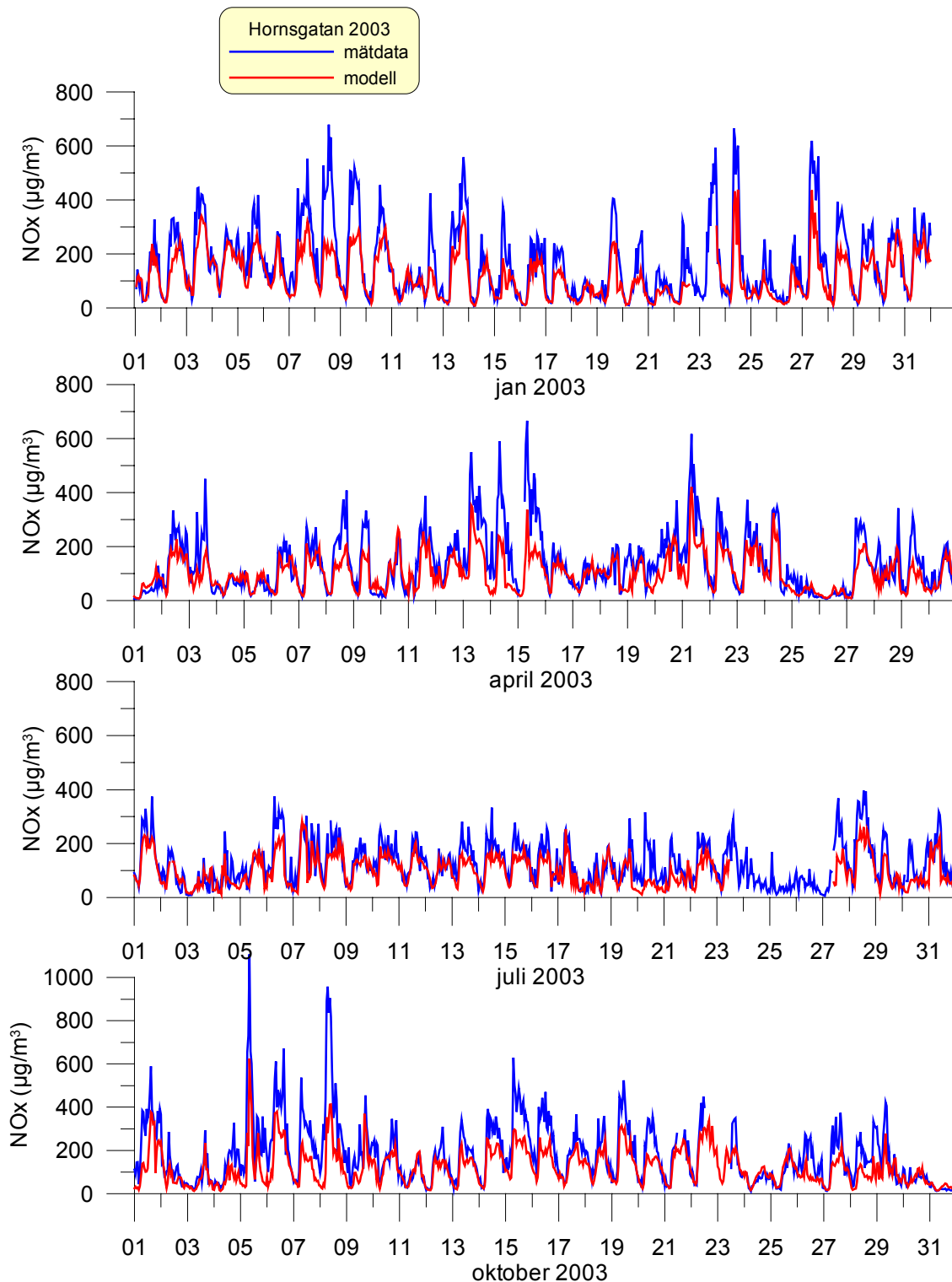
Spårämnesmetoden

Emissionsfaktorn för NO_x vid Hornsgatan har för år 2000 uppskattats till 1.4 g/fkm. Detta värde har testats med hjälp av OSPM modellen och givit bra resultat (Gidhagen et al., 2004). Nya beräkningar har gjorts för år 2003 med ett något lägre värde om 1.2 g/fkm. I figur 3 jämförs beräkningsresultaten och i figur 4 visas

uppmätta och beräknade NO_x-halter för 2003. Som framgår av figurerna fås för 2003 en god överensstämmelse mellan mätta och beräknade NO_x halter. Korrelationen för 2003 är något bättre än för 2000. Medelvärdena avviker dock något mera.



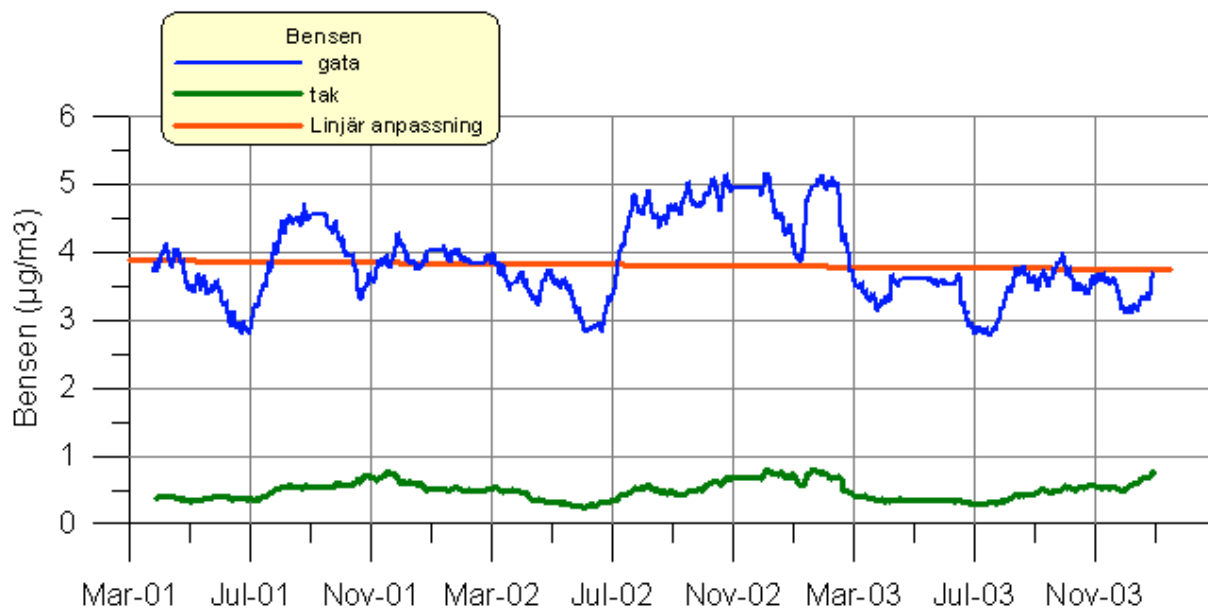
Figur 3. Jämförelse mellan mätta och beräknade halter av NO_x vid Hornsgatan för åren 2000 och 2003.



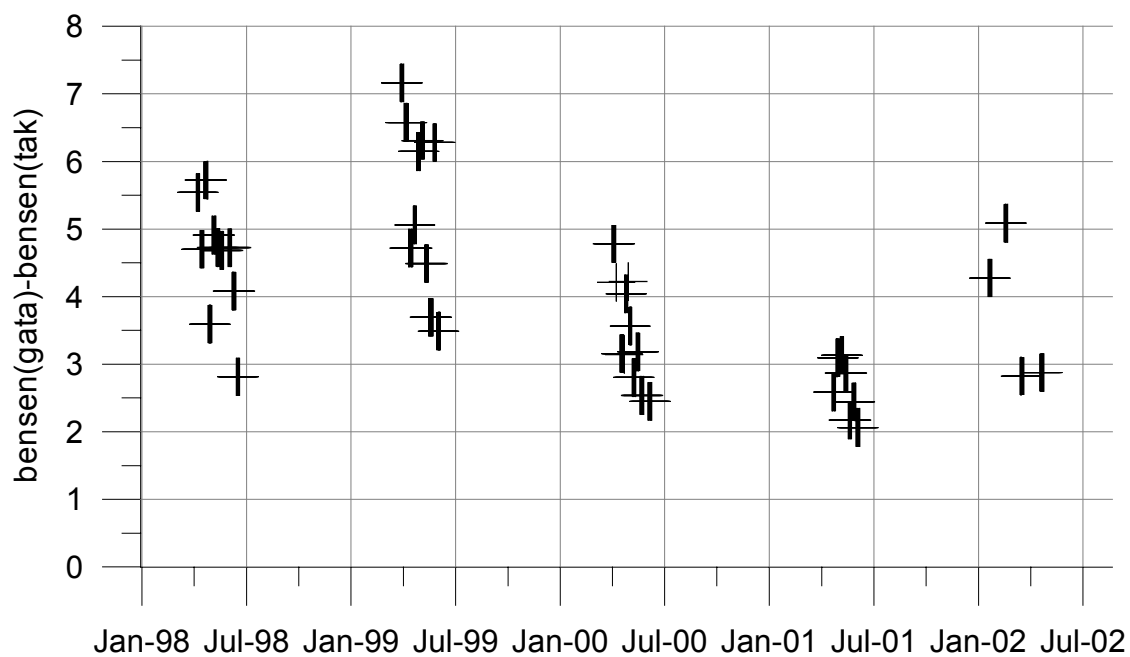
Figur 4. Jämförelse mellan mätta och beräknade halter av NOx vid Hornsgatan år 2003.

Nästa steg är att beräkna bensenhalten i taknivå i enlighet med ekvation 5 ovan. Resultaten av beräkningarna visas i figur 5. Det finns inga signifikanta trender i dessa data. Halterna i taknivå är i genomsnitt ca 13 % av halterna i gatunivå. Skillnaderna i halter mellan gatunivå och tak är i

genomsnitt $3.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$, vilket är jämförbart med data från en tidigare period då mätningar samtidigt gjordes i gatu- och taknivå, se figur 6. Överensstämmelsen gäller den senare delen av perioden.



Figur 5. Jämförelse mellan mätta halter av bensen ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) i gatunivå och beräknade i taknivå vid Torkel Kn. Figuren presenterar löpande månadsmedelvärden.

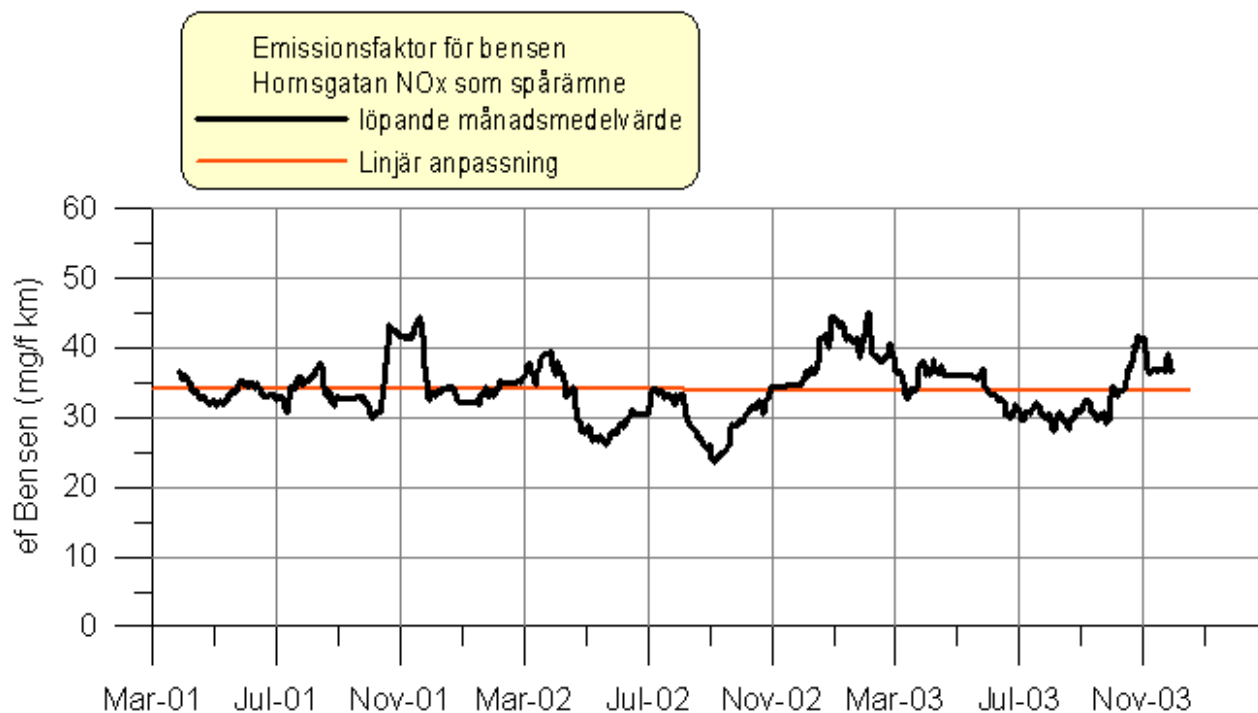


Figur 6. Skillnad i halt mellan tak och gaturum av bensen ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) för åren 1998-2002.

Spridningsberäkningar

Med hjälp av spårämnesmetoden har emissionsfaktorer för bensen beräknats för perioden 2001-03 till 2003-12. Resultaten visas i figur 7. Som framgår av figuren

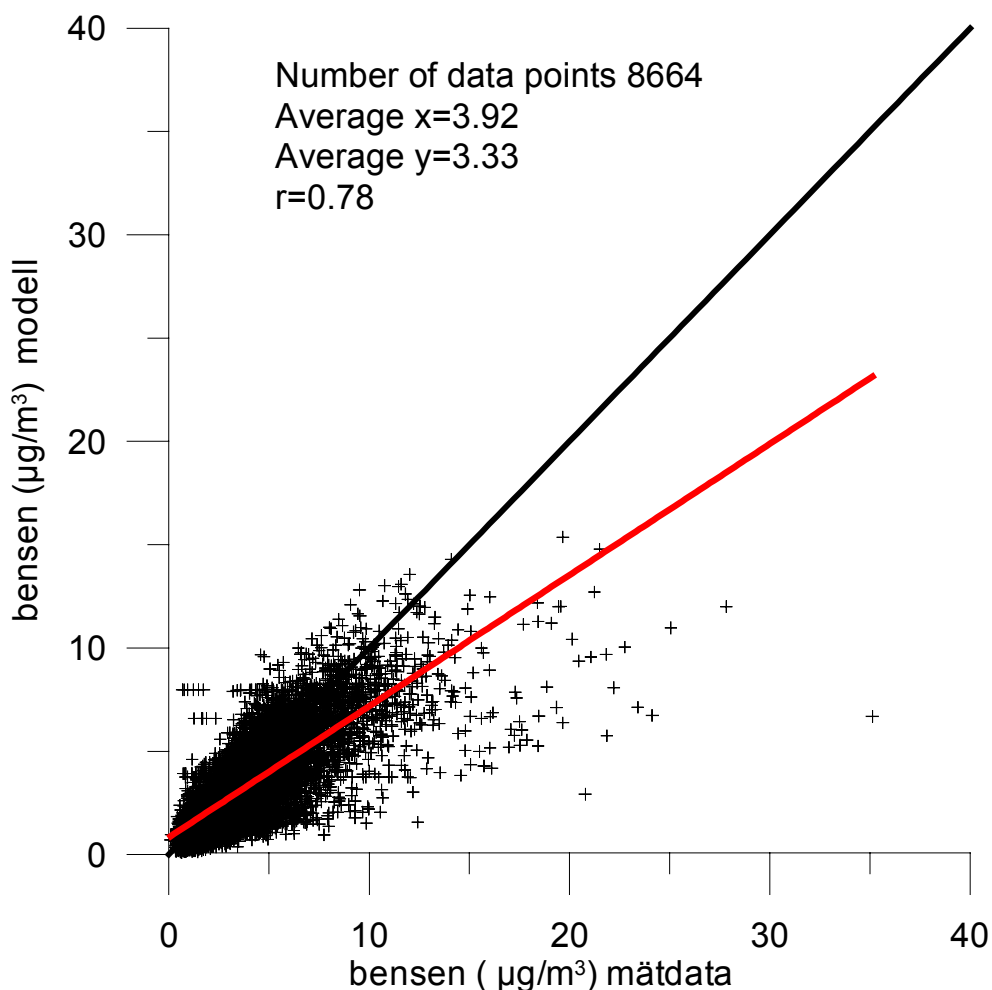
finns ingen signifikant trend. Medelvärdena för 2001, 2002 och 2003 är 35.3, 31.5 respektive 35.3 mg/fkm.



Figur 7. Beräknade emissionsfaktorer för bensen (mg/fkm) för tidsperioden 2001-03-2003-12. Medelvärdet för hela perioden 34.3 mg/fkm.

Med hjälp av den uppskattade emissionsfaktorn för bensen för år 2003 görs spridningsberäkningar med hjälp av OSPM modellen. Resultaten visas i figur 8 och 9. Överensstämmelsen mellan mätta och beräknade bensenhalter är god. Korrelationen, r , är 0.78. Modellen tenderar dock att underskatta de högsta halterna. Årsmedelvärdet underskattas med ca 15 %. Orsakerna till det kan vara flera:

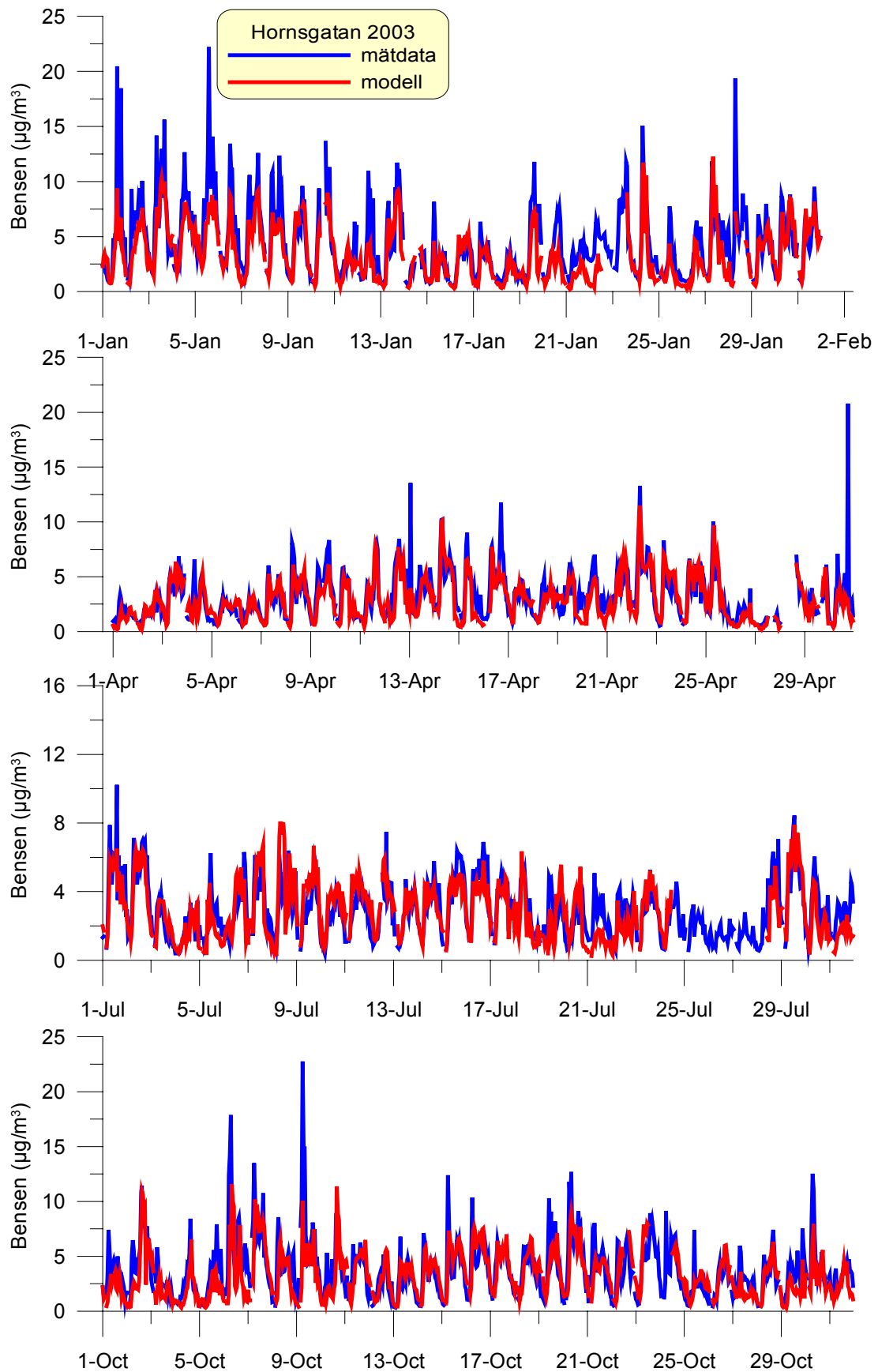
För att anpassa beräknade och mätta halter bör en något högre emissionsfaktor användas, om ca 42 mg/f km. En medelemissionsfaktor över hela året används. I verkligheten varierar emissionsfaktorn beroende på bl.a. variationer i körrytm och fordonssammansättningen under enskilda timmar. En statistisk sammanställning av resultatet visas i tabell 2.



Figur 8. Jämförelse mellan mätta och beräknade halter av bensen ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) vid Hornsgatan år 2003, då emissionsfaktorn 35.3 mg/fkm använts.

Tabell 2. Statistisk jämförelse mellan beräknade(MOD) och mätta(OBS) bensenhalter vid Hornsgatan 2003

	MOD	OBS
<i>N antal observationer giltiga</i>	8664	8664
<i>Saknas</i>	2772	2772
<i>Medel</i>	3.328	3.924
<i>Median</i>	2.860	3.340
<i>Standard avvikelse</i>	2.262	2.773
<i>Min</i>	0.11	0.09
<i>Max</i>	15.37	35.12
<i>Percentiler</i>		
25	1.46	1.87
50	2.86	3.34
75	4.77	5.26



Figur 9. Jämförelse mellan mätta och beräknade halter av bensen ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) vid Hornsgatan för år 2003. Emissionsfaktorn för bensen är $35.3 \text{ mg}/\text{fkm}$.

Diskussion – emissionsfaktor för Stockholms vägtrafik

Medelvärde av emissionsfaktorn för bensen (35 mg/fkm) som erhållits med hjälp av uppmätta NO_x halter och ”känd” NO_x emissionsfaktor är representativ för Hornsgatan. Det är viktigt att påpeka att trafikförhållandena på Hornsgatan inte är representativa för hela Storstockholm. Hastigheten förbi mätplatsen är förhållandevis låg, fordonen accelererar efter den signalreglerade korsningen vid Ringvägen i en svag uppförslutning (2.4%) på norra sidan förbi mätplatsen. Detta ger upphov till förhöjda emissioner. För NO_x kan det betyda 20% till 40% högre emissioner jämfört med samma trafikflöde vid jämnt flytande trafik.

Därför bör en mer representativ emissionsfaktor för bensen avseende hela Storstockholm ligga väsentligt lägre än de 35 mg/fkm som erhållits på Hornsgatan. Motsvarande reduktion som för NO_x på 20% till 40% skulle betyda ca 20 till 30 mg/fkm.

Detta kan jämföras med mätningar i Söderledstunneln 1999 som indikerade en emissionsfaktor på 17.3 mg/fkm (Kristensson et al., 2004), dvs. 50% lägre än spårgasmetoden på Hornsgatan för år 2000.

Referenser

1. Hunhammar et al., 2002. Förslag till miljö kvalitetsnorm för bensen och koloxid. Redovisning av ett regeringsuppdrag. Naturvårdsverket rapport 5208.
2. Johansson, C. et al., 2004. Mätningar och beräkningar av vedeldningens påverkan på luftföroreningshalter. Del I. Lycksele. Delredovisning av resultat från programmet Biobränsle hälsa och miljö. ITM rapport 124. ITM Stockholms universitet, 106 91 Stockholm, Sweden. ISSN 1103-341X.
3. Berkowicz R., Palmgren, F., Hertel, O., & Vignati, E., 1996. Using measurements of air pollution in streets for evaluation of urban air quality – meteorological analysis and model calculations. *The Sci of the Total Environ*, 189/190, 259-265.
4. Gidhagen, L., Johansson, C., Langner, J., Olivares, G., 2004. Simulations of NO_x and ultrafine particles in a street canyon in Stockholm, Sweden. *Atmospheric Environment*, *in press*.
5. Kristensson, A., Johansson, C., Westerholm, R., Swietlicki, E., Gidhagen, L., Wideqvist, U. and Vesely, V., 2004. Real-World Traffic Emission Factors of Gases and Particles Measured in a Road Tunnel in Stockholm, Sweden. *Atmospheric Environment*, 38, 657-673.



är en enhet vid Miljöförvaltningen i Stockholm som

- utreder
- mäter
- beräknar
- informerar

avseende kvalitet på utomhusluft. SLB-analys genomför även externa uppdrag vad gäller luftkvalitet.

ISSN 1400-0806

SLB-analys
Miljöförvaltningen i Stockholm
Rosenlundsgatan 60. Box 380 24, 100 64 Stockholm
Tel 08-508 28 800, dir. SLB-analys 08-508 28 880
URL: <http://www.slb.nu>