

# **Luftföroreningar i Stockholms tunnelbana**

**Exponering för partiklar och kvävedioxid  
bland tunnelbanepersonal**

Nils Plato, Carolina Bigert, Britt-Marie Larsson,  
Magnus Svartengren, Per Gustavsson

**Exponering för partiklar och kvävedioxid bland  
personal i Stockholms tunnelbana**

Nils Plato, Carolina Bigert, Britt-Marie Larsson, Magnus Svartengren, Per Gustavsson

Arbets- och miljömedicin • Norrbacka • 171 76 Stockholm  
tel 08-517 730 56 • fax 08-33 43 33 • amm@smd.sll.se  
Rapporten finns även på vår webbplats, [www.sll.se/amm](http://www.sll.se/amm).

ISSN: 1651-0321

## Förord

Höga partikelnivåer i omgivningsluften är förenat med en ökad förekomst av både luftvägs- och hjärtsjukdomar. Tidigare undersökningar av partikelhalterna vid några av Stockholms tunnelbaneperronger under jord har visat mycket höga nivåer av partiklar. Uppgifter om i vilken utsträckning anställda vid Connex exponeras för partiklar under sin arbetstid saknas dock, och det är också okänt om det föreligger tecken till negativ hälsopåverkan hos de anställda. Forskningsrådet för Arbetsliv och Socialvetenskap, FAS, har anslagit medel för att undersöka detta inom ramen för projektet Partiklar i Stockholms tunnelbana (PIST), dnr 2003-0276. Projektet bedrivs i samarbete mellan Arbets- och Miljömedicin, Stockholm läns landsting och Yrkesmedicinska avdelningen, Institutionen för folkhälsovetenskap vid Karolinska Institutet.

Här redovisas den första delrapporten inom projektet, angående exponeringsförhållanden för personalen. Gruppen som genomfört detta delprojekt är docent och yrkeshygieniker Nils Plato (ansvarig för delprojektet), specialistläkare Carolina Bigert, Dr Med vet och yrkeshygieniker Britt-Marie Larsson, professor och överläkare Magnus Svartengren samt docent och överläkare Per Gustavsson som också är projektledare. Projektet har följts av en referensgrupp med representanter för arbetstagare och arbetsgivare inom Connex, företagshälsovården Feelgood, SL Infrateknik, och Stockholms miljöförvaltning.

Carola Lidén  
Avdelningschef, professor, överläkare

Arbets- och Miljömedicin,  
Centrum för folkhälsa inom Stockholms läns landsting

Stockholm i maj 2006



# Innehåll

SAMMANFATTNING .....	7
1. BAKGRUND OCH SYFTE.....	9
2. METODER OCH MÄTSTRATEGIER .....	10
2.1 Strategi .....	10
2.2 Material .....	10
2.3 Metod .....	11
3. RESULTAT .....	13
4. DISKUSSION.....	18
5. AVTACKNING .....	23
REFERENSER .....	24



## Sammanfattning

Här presenteras resultaten av en delstudie inom ett projekt som undersöker påverkan på cirkulationsorgan, luftvägar och exponeringsförhållanden hos personal i Stockholms tunnelbana (**Partiklar I Stockholms Tunnelbana, PIST**).

Projektet föranleddes av att man funnit mycket höga halter av partiklar på några underjordsperronger i Stockholms innerstad. Exponeringsstudien har genomförts under perioden 2004-2005.

Studien omfattade fyra yrkesgrupper i tunnelbanan. Vi undersökte 8 spår-expeditörer, 13 tunneltågförare, 12 färdbeviskontrollanter och 11 städare. Tunnelbanans gröna linje användes vid samtliga mätningar. För samtliga 44 anställda har personburen provtagning genomförts under vardera tre arbetsskift/arbetsdagar. Totalt genomfördes 132 heldagsmätningar. Vi har mätt nivån av partiklar av olika storleksfraktioner med personburen mätutrustning.

Partiklar med en diameter mindre än 1 mikrometer,  $PM_{1}$ , respektive  $PM_{2.5}$  mättes genom gravimetrisk provtagning dvs. samlat på filter. Partiklar i storleksintervall 0,1-10  $\mu m$  mättes med direktvisande instrument som visar partikelhaltens variation under mätdagarna. Valet av provtagare har begränsats av möjligheten att bära tillräckligt många instrument utan att arbetet störs och säkerheten äventyrats.

Vi mätte kväveoxid ( $NO_2$ ) med bärbara diffusionsprovtagare. Ultrafina partiklar, dvs. partiklar  $<1 \mu m$ , mättes inte systematiskt utan för att registrera förekomst av dessa i vissa speciella situationer. De ultrafina partiklarna mättes med hjälp av ett bärbart instrument, P-Trak.

$PM_{2.5}$ -halterna är bra för jämförelser, då denna storleksfraktion finns rapporterad i många andra sammanhang. Städarna var den grupp som hade högst medexponering för partiklar  $PM_{2.5}$  på  $79,4 \mu g/m^3$ . Färdbeviskontrollanterna, som också uppehåller sig tidvis på perrongerna, hade medexponeringen  $50,0 \mu g/m^3$  vilket var högre än tunneltågförarnas exponering på  $18,8 \mu g/m^3$ . Spår-expeditörernas genomsnittliga exponering för  $PM_{2.5}$  var  $10,1 \mu g/m^3$ .

De observerade partikelnivåerna var snarast lägre än väntat. Som jämförelse har vi tidigare uppmätt buss- och lastbilschaufförers exponering för  $PM_{2.5}$  i Storstockholm till  $15,7 \mu g/m^3$  (Lewné, 2004). Tunneltågförarna uppvisade 1,5-2 gånger högre partikelhalter än spår-expeditörerna som genomsnitt under tre dygn. Halterna stiger avsevärt, ca 4-5 gånger, och mycket snabbt när tågen far in i tunnelnarna men förarhytterna ventileras också snabbt ut efter utpassage ur tunnelnarna. De nya tågen har bättre filter än de gamla och mätningarna visar att partikelhalterna idag ger ca 35 % lägre personlig exponering än för åtta år sedan. Mätningarna visar att själva spårområdet är främsta källan till partikelgenereringen.

Färdbeviskontrollanter och städare har en längre vistelsetid på perrongerna och uppvisade också högre exponeringsnivåer än förarna. Förarna hade sex gånger högre halt av de fina partiklarna ( $PM_{10}$ ) än spärrexpeditörerna, nära åtta gånger högre halt av  $PM_{2.5}$  samt 20 gånger högre halt större partiklar mätt med det direktvisande instrumentet DataRAM. Städarna hade ytterligare högre nivåer. Vid en jämförelse med gällande yrkeshygieniskt gränsvärde får exponeringen ändå betecknas som låggradig för samtliga grupper och exponeringen för städarna ligger på endast ca 1/20 av det arbetshygieniska gränsvärdet för respirabelt oorganiskt damm.

Kvävedioxidhalten visade högst exponeringsnivåer för tunneltågförarna pga. att överjordstrafiken till stor del löper längst starkt trafikerade vägar och hållplatser för dieseldrivna bussar. Tunneltågförarnas exponering för de olika storleksfraktionerna av partiklar och kvävedioxidhalter ligger i nivå med vad som uppmätts för bussförare och lastbilschaufförer i Storstockholmsområdet.



# 1. Bakgrund och syfte

Undersökningar har visat höga halter av små partiklar vid perrongerna under jord i Stockholms tunnelbana. Mätningar av partikelhalter på perronger har skett vid flera mättillfällen sedan 1982 (Götbrant, 1983). De högsta partikelhalterna har uppmätts vid Mariatorgets tunnelbanestation (Johansson et al, 2001). Denna station har varit föremål för omfattande kartläggningar beträffande partikelstorleksfördelning och kvalitativa sammansättning i syfte att klargöra källorna till partiklarna (Johansson et al, 2003). Man har konstaterat att halten av större partiklar ( $PM_{10}$ ) vida överstiger den på Hornsgatan i Stockholm medan halten små partiklar ( $PM_{1}$ ) är väsentligt lägre nere på perrongen. Det har även genomförts mätningar av partikelhalt (med direktvisande instrument) inne i förarhytterna utefter den gröna, röda och blå linjen (Wisell, 2002).

Publicerade mätningar finns även från tunnelbanorna i New York (Chillrude et al, 2004), London (Adams et al, 2001), Helsingfors (Aarnio et al, 2005) och Rom (Ripanucci et al, 2006). Nyligen har en mycket omfattande kartläggning av partikelhalter i Londons tunnelbana och hälsoriskvärdering publicerats (Seaton et al, 2005). I Stockholms tunnelbana genomfördes nyligen en studie om den biologiska effekten på odlade celler av partiklar som samlats i luften vid en underjordisk perrong (Karlsson et al, 2005). Inga studier har dock ännu publicerats där man kartlägger både partikelexponeringen och hälsopåverkan genom medicinska undersökningar.

Vid Arbets- och miljömedicin i Stockholm genomförs en studie där vi studerar hälsopåverkan genom medicinska undersökningar och samtidigt genomför en karaktärisering av den personliga exponeringen. Denna rapport är den tekniskt/yrkeshygieniska delen av denna studie, och utgör den första rapporten från projektet Partiklar i Stockholms tunnelbana, PIST. Syftet är att på grupp- och individnivå bestämma exponeringen för partiklar av olika storleksfraktioner för olika personalgrupper i tunnelbanan. Syftet var också att studera de hastiga variationer i partikelhalt som uppstår när tunnelbanetågen kör in respektive ut ur tunnarna.

Studien har godkänts av Regionala etikprövningsnämnden i Stockholm, dnr 04/071-1.

## 2. Metoder och mätstrategier

### 2.1 Strategi

Strategin i undersökningen syftade till att erhålla en representativ exponering på yrkesgrupp-nivå liksom individuell bestämning för varje medverkande försöksperson.

Följande strategi följdes i detta arbete:

- Urval av grupper och personer
- Val av metoder, utrustning, tidsperioder för provtagning
- Genomförande av mätning/provsamling
- Analys
- Beräkningar av data
- Bearbetning av analysresultat
- Tolkning av resultat (mätdata)
- Dokumentation
- Överföring av denna information till referensgrupp
- Rapportering på individnivå och grupp-nivå
- Spridning av resultat; nationellt/internationellt

Dessa resultat skall användas i kombination med medicinska data för att undersöka om exponering samvarierar med observerade effekter på grupp-nivå. Detta kommer att redovisas senare.

### 2.2 Material

Totalt 44 personer valdes ut för exponeringskaraktärisering. Dessa fördelas på de fyra yrkeskategorier som genomgick de medicinska undersökningarna. Spärrexpeditörer utgjorde en intern referensgrupp då partikelexponeringen är lågradig för denna grupp. Tunneltågförarna intar en mellanställning då de är kortvarigt men höggradigt exponerade. Färdbeviskontrollanterna och städare är de yrkesgrupper som har längst vistelsetid på perrongerna. Vi undersökte 8 spärrexpeditörer, 13 tunneltågförare, 12 färdbeviskontrollanter och 11 städare. De flesta har arbetat förmiddagsskift men även dagskift och kvällsskift har förekommit bland de provtagna. De flesta av de 44 personerna har dessutom genomfört medicinska undersökningar under eller i nära anslutning till luftprovtagningdagarna. Mätningarna är genomförda under normala drifts-betingelser. Deltagandet har varit frivilligt och uttagningen av försökspersoner har skett i samråd med arbetsgivare och fack. Vi valde att mäta utefter den gröna linjen där det förekommer körning både ovan och under jord.

## 2.3 Metod

All provtagning har skett med hjälp av personburen utrustning. Provtagningen har skett under tre arbetsskift om vardera ca 8 timmar på varje individ enligt provtagningsschema i tabell 1. Schemat föranleddes av de begränsade möjligheterna att samtidigt bära mycket utrustning.

**Tabell 1. Schema för provtagning**

	Dag 1	Dag 2	Dag 3
DataRAM	X		X
PM <sub>1</sub>	X	X	
PM <sub>2,5</sub>		X	X
NO <sub>2</sub>	X	X	X
Urban bakgrund NO <sub>2</sub> *	X	X	X
Urban bakgrund PM <sub>2,5</sub> *		X	X
* = data från Stockholms miljöförvaltning			

Provtagningarna är genomförda december 2004-april 2005. De metoder som använts för mätningarna redovisas nedan:

### **Partiklar**

#### *Kvantitativ provtagning*

1. Gravimetrisk provtagning: PM<sub>2,5</sub> och PM<sub>1</sub>. Provtagning har skett med hjälp av cyklon av fabrikat GK2.05 (KTL) respirable/Thorac Cyclone (från BGI Incorporation) med flödet 4 l/min för PM<sub>2,5</sub> som mäter alla partiklar < 2.5 µm. För PM<sub>1</sub> användes SCC1.062 Triplex Cyclone (från BG I Incorporation) med luftflöde 3,5 l/min. Varje provtagningsskift har omfattat ca 8 timmar. Flödet kontrollerades före varje mätning med en DryCal DC-Lite från Bios International Corporation. Filtren som använts har varit 37 mm teflonfilter som vägdes med en balansvåg med känsligheten 0,001 mg i ett rum med konstant temperatur (20 °C) och 50 % relativ fuktighet. Innan vägning har filtren konditionerats i 24 timmar.
2. Direktvisande partikelmätningar har utförts med det personburna instrumentet dataRAM som mäter partikelstorlek 0,1 till 10 µm. DataRAM typ MIE pDR 1000 är ett ljusspridningsinstrument som använder en nefelometrisk metod och optimerar mätning av den respirabla fraktionen (mot-svarar PM<sub>4,5</sub>). Avläsningsområdet för instrumentet är 1 µg/m<sup>3</sup>– 4x10<sup>5</sup> µg/m<sup>3</sup>. Före varje dags mätning kalibrerades instrumentet och nollställdes mot ren luft på gastub. Instrumentet registrerar medelvärdet för varje minut

och lagrar det i en inbyggd datalogger. För en handfull tunneltågförare mättes värdena var tionde sekund för att studera hur snabbt partikelhalten steg inne i förarhytterna.

3. Ultrafina partiklar: Vi använde ett P-Trak Ultrafine Particle Counter instrument Model 8525 från TSI, ett ljusspridningsinstrument som räknar alla partiklar  $< 1 \mu\text{m}$  (20 – 1000 nm) i aerodynamisk diameter. Innan mätning kalibreras instrumentet med ett nollfilter. Instrumentet är inte personburet utan yrkeshygieniker (yh) eller mättekniker har burit instrumentet, gått bakom den person som mättes och försökt hålla instrumentet så nära andningszon som möjligt. Exempelvis har yh följt med inne i förarhytten och gått med ut på perrongen bakom föraren vid varje stationsstopp när tunnelbaneförarna undersöktes. Dessa mätningar med P-trak har inte genomförts under hela arbetspasset utan för att registrera förekomst av ultrafina partiklar i vissa speciella situationer.

#### *Kvalitativ analys*

1. Elementarpartikelanalys. Tjugo filter, tio av varje fraktion samt två blankprov analyserades med Inductively coupled plasma sector field mass spectrometry (ICP-SFMS) teknik. Analys har skett enligt EPA-metoder (modifierade) 200.7. (ICP-AES9 och 200.8 ICP-QMS). Analysen ger svar på 13 olika metaller. Analyserna har utförts av SGAB-Analytica, Luleå.
2. Kvartsanalys. Fyra filter, två av varje fraktion, analyserades med hjälp av Fourier Transformed Infrared Spectroscopy (FTIR) enligt NIOSH 7602. Analysen gjordes av SGAB-Analytica, Luleå.

#### *Gasformig substans*

3. Kvävedioxid ( $\text{NO}_2$ ) i arbetsmiljön mättes med bärbara diffusionsprovtagare utvecklade av IVL som också genomfört analyser av dem. Detektionsgränsen är ungefär  $4,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  för 8 timmars provtagning. Totalt 25 heldagsmätningar genomfördes på tunneltågförare, städare och spärrexpeditörer
4. Bakgrundsexponering i stadsmiljön för  $\text{NO}_2$  har registrerats under de aktuella mät dagarna och under de tidpunkter som de personburna  $\text{NO}_2$  mätningarna genomfördes. Dessa data erhöles från Stockholms miljöförvaltnings databas.

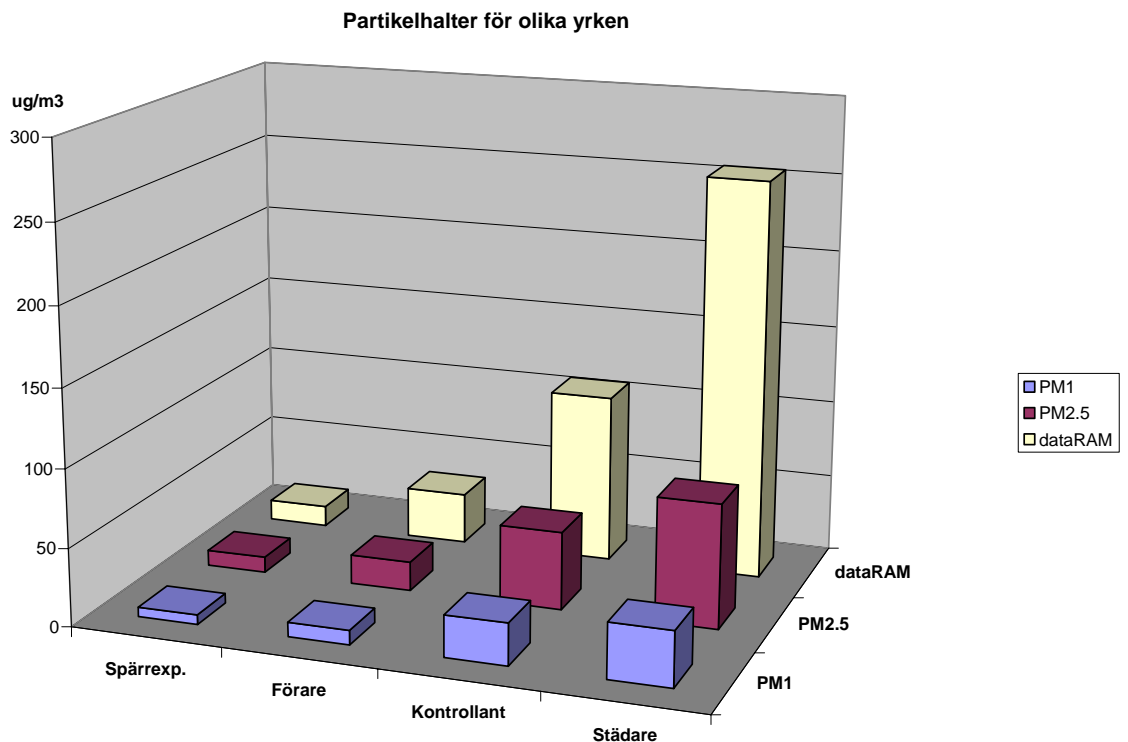
### 3. Resultat

De gravimetriska mätningarna och DataRAM-mätningarna gav följande resultat för de fyra yrkesgrupperna, tabell 2 och figur 1. Detta är medelvärdena för två hela arbetsskift för var och en av de 44 individerna, således motsvarande 132 mättdagar. De uppmätta halterna är uttryckta i  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

**Tabell 2. Uppmätta partikelhalter, medelvärden och standardavvikelser för 44 tunnelbaneanställda fördelade på yrke och partikelstorleksfraktion. Totalt 132 mättdagar.**

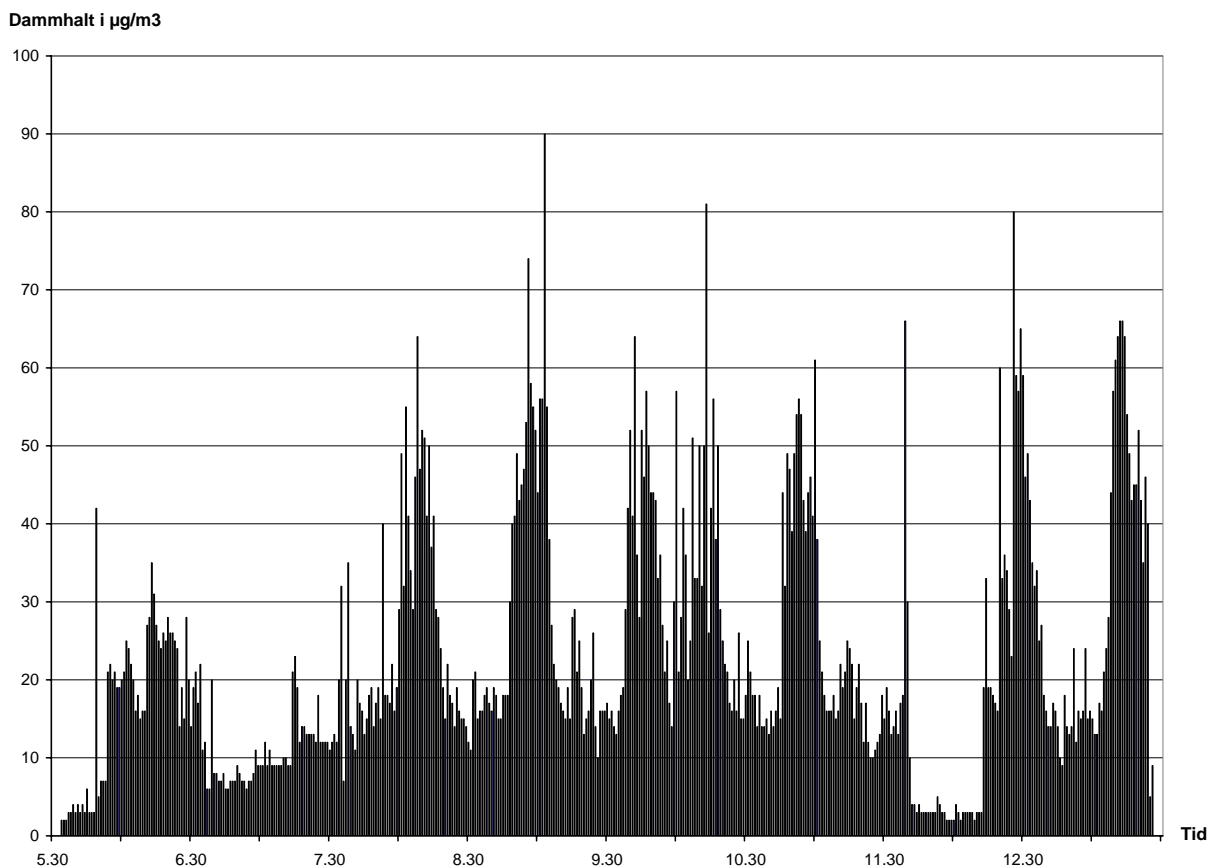
<b>Yrke (antal)</b>	<b>PM<sub>1.0</sub> (<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>)</b>	<b>PM<sub>2.5</sub> (<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>)</b>	<b>DataRAM PM<sub>0.1-10</sub> (<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>)</b>
<b>Spärrexpeditörer (n=8)</b>	6,1 ( $\pm$ 2,4)	10,1 ( $\pm$ 3,2)	13,2 ( $\pm$ 2,7)
<b>Tunneltågförare (n=13)</b>	9,1 ( $\pm$ 1,5)	18,8 ( $\pm$ 2,9)	32,6 ( $\pm$ 11,9)
<b>Färdbeviskontrollanter (n=12)</b>	26,7 ( $\pm$ 11,7)	50,0 ( $\pm$ 8,4)	108,3 ( $\pm$ 26,3)
<b>Städare (n=11)</b>	35,1 ( $\pm$ 12,8)	79,4 ( $\pm$ 17,1)	256,2 ( $\pm$ 97,2)

Partikelhalten var lägst för spärrexpeditörerna, både när det gäller PM<sub>1.0</sub>, PM<sub>2.5</sub> och DataRAM. Tunneltågförarna hade en något högre exponering, medan halterna var högst för de grupper som hade längst vistelsetid på perronger, färdbeviskontrollanter och städare.



**Figur 1. Mätdata ur tabell 1 redovisat grafiskt**

Figur 2 visar en typisk variation av partikelexponeringen för ett representativt arbetsskift för en tunnelstågförare. För tunnelstågförarna visar de höga staplarna när de befinner sig i tunnelsystemet under Stockholms innerstad. Det går lätt att urskilja när tåget kör in i tunneln vid Thorildsplan och ut igen vid Johannehovsbron. Vid inpassage stiger partikelhalten i genomsnitt från  $20\mu\text{g}/\text{m}^3$  till  $80\mu\text{g}/\text{m}^3$  dvs. ca fyra gånger. Skiftmedelvärdena ligger ca 30 % högre än de halter som förekommer vid ovanjordskörning utanför innerstan. Den fjärdedel av åktiden som sker i tunnlar (höga staplar) bidrar med det tillskottet. Vid rusningstid blir exponeringsnivåerna högre pga. längre uppehåll vid varje innerstadsstation när föraren stiger ut ur förarhytten och uppehåller sig längre tid på perrongerna.



**Figur 2. DataRAM-kurva från tunneltågförare utefter den gröna linjen. Kurvan visar medelvärdet för varje minut. Medelvärdet under provtagningsskiftet var  $19 \mu\text{g}/\text{m}^3$**

Mätningar av ultrafina partiklar visade omvända resultat mot de större partiklar som DataRAM mäter. Vi fann högre antal ultrafina partiklar utanför tullarna utefter de stora trafikerade vägarna. Förarna blir mest exponerade vid stationerna när dörrarna till förarhytterna öppnas och de stiger ur. De stationer som uppvisar de högsta halterna är Kristineberg, Alvik och Gullmarsplan där de två sistnämnda sannolikt får sin exponering från bussdepåerna som är belägna under perrongen respektive utanför ingångsdörrarna vid Gullmarsplan. Vid Kristineberg är det Tranebergsbron som bidrar. Ultrafina partiklar har som källa fordonsavgaser. Exponeringsnivån beror i stort på hur länge tågen stannar vid stationerna. Under färd kommer det inte in ultrafina partiklar. Några av innerstadsstationerna har halter av ultrafina partiklar i nivå med Alvik t.ex. Fridhemsplan, T-centralen och Slussen.

Den kvalitativa metallanalysen redovisas i tabell 3. Elementarpartikelanalysen visar att metallhalten ligger kring 20 % i partiklarna. Halten är lägre i PM<sub>1</sub>-fraktionen än PM<sub>2,5</sub>-fraktionen. Den övervägande delen är järn. Även koppar förekommer i nivåer kring 0,4 % medan övriga metaller förekommer i mycket liten mängd.

Yrke	PM <sub>1</sub>				PM <sub>2,5</sub>			
	% Fe	% Cu	% Mn	Totalt	% Fe	% Cu	% Mn	Totalt
Spärrexp.	3,4	0,40	0,06	4 %	9,5	0,36	0,10	10 %
Tunneltåg-förare	10,5	0,48	0,10	11 %	21,1	0,42	0,21	22 %
Färdbevis-kont.	20,6	0,38	0,19	21 %	30,5	0,45	0,29	31 %
Städare	21,3	0,38	0,29	22 %	24,1	0,33	0,24	25 %
Medelhalt	13,2	0,41	0,18	14 %	21,2	0,41	0,18	22 %

Tabell 3. Fördelning av metallhalten i den gravimetriska provtagningen fördelat på yrke och partikelfraktion.

Total metallhalt: < 19 % varav järn= 17,6%  
Fe= järn, Cu= koppar; Mn= mangan

Kvartshalten bestämdes endast för förarna. Halten kvarts (kristallin kisel-dioxid) var låg, endast 2,4 % i den större fraktionen PM<sub>2,5</sub> medan den finare fraktionen PM<sub>1</sub> ej innehöll detekterbara mängder (< 3 %).

Resultaten av kvävedioxidmätningarna visade låga halter. Tunneltåg-förarna uppvisade de högsta halterna. Såväl innerstads- som ytterstadsspärr-vaktshytter ingick i undersökningen. Variationerna är dock stora inom respektive grupp, se tabell 4.

Yrke	NO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	Range (µg/m <sup>3</sup> )
Spärrexpeditör	32,4	14,0 – 48,5
Tunneltågförare	67,0	41,8 – 107,3
Städare	47,1	19,7 – 90,3

Tabell 4. Uppmätta kvävedioxidmedelvärden (NO<sub>2</sub>) för tre yrkesgrupper.



Tabell 5 visar hur de olika yrkesgruppernas partikelhalter förhåller sig till varandra efter en relativ skala.

**Tabell 5. Relativ skala hur partikelhalterna förhåller sig till spärrexpeditörerna.**

yrke	PM <sub>1,0</sub>	PM <sub>2,5</sub>	dataRAM
Spärrexpeditörer	1,0	1,0	1,0
Tunneltågförare	1,5	1,8	2,3
Färdbeviskontrollanter	4,4	4,8	8,5
Städare	5,8	7,4	20,0

Bakgrundsvärdet registrerat ovan tak på Rosenlundsgatan togs från Stockholm Luft och Bullers (SLB) databas. Det tidsvägda medelvärdet under mätperioden (varje försökspersons aktuella arbetstid) var 25,2 µg/m<sup>3</sup>, en aning högre än en skattade årsmedelvärden från samma källa (SLB) år 2004 då den var 21,5 µg/m<sup>3</sup>.

## 4. Diskussion

### ***Fynd inom olika yrkesgrupper***

Partikelhalterna skiljde sig tydligt mellan de olika yrkesgrupperna. *Spärrexpeditörerna* hade de lägsta halterna för alla mätparametrar. Dessa visade genomgående relativt låga nivåer med små spridningar i resultaten. Nivåerna för partiklar PM<sub>2,5</sub> låg i nivå med vad vi har i våra bostäder medan NO<sub>2</sub>-halten var något högre än bakgrundsvärdena (32,4 µg/m<sup>3</sup> i spärhythmerna, 23 µg/m<sup>3</sup> i omgivningsmiljön). Variationen förefaller vara beroende av hur spärhythmerna ventileras, varifrån man tar tilluften och på vilket sätt tilluften renas. De innerstadshytter vi undersökte hade inte högre partikelhalt än ytterstadens hytter. Innerstadens spärhythm tar vanligtvis tilluften längre från spårområdet än ytterstadshytter. Andelen små partiklar (PM<sub>1</sub>) av fraktionen (PM<sub>2,5</sub>) var dock något högre för spärrexpeditörerna, ca 60 % jfr med 50 % andel för de övriga yrkesgrupperna. Detta beror sannolikt på att de har ett relativt sett större tillskott av partiklar från andra källor än tunneltågen, som t ex avgaser från intilliggande vägar. Eftersom vi fann 4 % (i PM<sub>1</sub>-fraktionen) respektive 10 % järn (i PM<sub>2,5</sub>-fraktionen) tyder detta dock på att en del av partiklarna som tas in i spärhythmerna kommer från tågsmiljön (hjul, räls, strömskena och bromsar). Nere på perrongerna ligger järnhalten på ca 60 % (Christensson et al, 2002). De högsta halterna i spärhythm observerades i ytterområden där vi kunde identifiera föroreningskällorna (genom mätning med P-Trak) som vedeldade villor och intensiv bussaktivitet med dieseldrivna bussar.

*Tågförarna* hade en partikelhalt av PM<sub>2,5</sub> som ligger i nivå med buss- och lastbilsförare i Storstockholmsområdet. Detta kan upplevas förvånande då det förekommer höga partikelhalter i tunnelarna. Vi kan utläsa från det direktvisande instrumentet DataRAM i figur 2 hur partikelhalten stiger 4-5 gånger när tåget kör i de långa tunnelarna under Stockholms innerstad. Förarhytterna på de nya C20 vagnarna är försedda med effektivare filter vilket förklarar de lägre halter vi fann i denna studie jämfört med en mätning vi gjorde i en förarhytt 1997 i den gamla CX33 vagnen. Vistelsetiden inne i tunnelarna är ca 20-25 % av arbetstiden beroende på vilka körpass man genomför. Man åker inte bara fram och tillbaka mellan t.ex. Farsta och Hässelby. Ett arbetspass kan börja på Gullmarsplan-Hagsätra-Odenplan (rast) tillbaka till Skarpnäck-Åkeshov-Farsta osv. med mellanliggande lunchrast.

*Färdbeviskontrollanterna* uppehåller sig på perrongerna och biljetthallar men färdas även mycket i tunnelbanetågen. Vi undersökte innan exponeringsmätningarna började om partikelhalterna skiljde sig på olika ställen i vagnarna. Med hjälp av DataRAM kunde vi konstatera att partikelhalten inte skiljde sig mellan den främsta och sista vagnen i samma tågset. DataRAM visade att färd-

beviskontrollanterna hade ca åtta gånger högre partikelhalt än spärrvakterna. Detta värde är inte helt korrekt då DataRAM är kalibrerad med Arizona road dust med densiteten  $2.54 \text{ kg/dm}^3$  medan de partiklar vi mäter innehåller upp till 60% järn i fraktionen  $\text{PM}_{10}$  (Christensson et al, 2002) och därmed har en högre densitet. De mindre fraktionerna visade lägre nivåer, 23 % vid  $\text{PM}_{2.5}$ . Om man tar hänsyn till järnets densitet ( $7,9 \text{ kg/dm}^3$ ) och extrapolerar till ett gravimetriskt mått stiger förhållandet till att färdbeviskontrollanterna har ca 13 gånger högre partikelhalt  $\text{PM}_{10}$ , dvs. DataRAM underskattar halterna.

*Städarna* hade de högsta partikelnivåerna för samtliga partikelstorlekar. Under mätdagarna har de haft arbetsuppgifter som inte enbart varit begränsade till perrongerna. Städarna rör sig mellan de olika stationerna och vistas därvid även ombord på tågen samt städar trappor och utrymmen i våningsplan ovanför perrongerna. Deras exponeringsnivåer ligger flera gånger lägre än vad som uppmätts på Mariatorgets tunnelbanestation som är den station där de högsta partikelhalterna uppmätts.

### **Val av metoder**

Många mätningar har utförts i storstädernas tunnelbanor (Chillrude et al, 2004; Adams et al, 2001; Aarnio et al, 2005; Ripanucci et al, 2006). Dessvärre har man använt olika metoder att mäta partiklar varför resultaten från olika mätningar inte är helt jämförbara. Det gäller även Stockholms tunnelbana. Vanligtvis har syftet varit att kartlägga halterna på en viss lokalisering t.ex. en perrong där allmänheten befinner sig. Långtidsmätningar har utförts med stationära instrument (bl.a. TEOM instrument). Några få mätningar har tidigare utförts för att kartlägga personalens exponering med hjälp av bärbara instrument (Wisell, 2004).

Olika instrument har använts som tillämpar olika mätprinciper. Arbetsmiljöverklarna föreskriver provtagning av respirabla fraktioner (motsvarande  $\text{PM}_{4.5}$ ) respektive inhalerbara fraktioner för att jämföra med gällande yrkeshygieniska gränsvärden. Många av dessa gränsvärden är satta utifrån industriella förhållanden och är inte relevanta för de förhållanden vi avsåg att studera i tunnelbanan i den redovisade studien. Eftersom vi avsåg att studera andra effekter som inte primärt är relaterade till dagens gränsvärden valde vi provtagningsmetoder som kan registrera sådana förändringar. Således var vi intresserade av att mäta och registrera snabba variationer i partikelhalten t.ex. när ett tunnelbanetåg kör in och ur en kraftigt förorenad tunnel varför direktvisande instrument användes för dessa ändamål. Vi ville kunna studera halten av små partiklar t.ex.  $\text{PM}_1$  samt ultrafina partiklar, dvs. partiklar med en aerodynamisk diameter mindre än  $1 \mu\text{m}$ . Dessa metoder och studerade fraktioner har vi tidigare undersökt och mätt på andra yrkesgrupper framför allt i miljöer där yrkesmässig exponering för motoravgaser och förbränningsprodukter förekommer.

I avsaknad av enhetliga metoder att karaktärisera och åskådliggöra mätdata gjorde vi också relativa jämförelser mellan olika yrkesgrupper. Mätningarna visar att tågförarna hade ca 1,5-2 gånger högre partikelexponeringshalt än spärrexpeditörerna. Detta kan förefalla vara en mindre skillnad än förväntat enär de befinner sig i tunnlarna ca 25 % av arbetstiden per arbetsskift. Förarna stiger ur förarhytterna vid stationerna men vistelsetiderna ute på perrongerna var bara omkring ½ minut vid varje station.

### ***Betydelse av vagnstyp och tidstrend i exponering***

Samtliga tåg var av typen C 20 (de nya långa vagnarna) och alla mätningar har utförts utefter den gröna linjen. Förarhytterna är separat ventilerade dvs. skilda från ventilationen i resterande delar av vagnarna. Mätningarna var ganska jämt fördelade mellan vagnar med, respektive utan luftkonditionering. Vi observerade heller inga skillnader mellan de två vagnstyperna i halten ultrafina partiklar inne i hytterna under färd. Medelhalten mätt med DataRAM visade 33  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  jämfört med 55  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  som vi uppmätte på en förare i förarhytten på en CX-vagn (vagn av äldre typ) på samma sträcka under ett arbetsskift 1997 (Lewné, 1997). De nya vagnarna vi nu mätte i har enligt Tågia bättre och effektivare filter. Exponeringsnivåerna blev högre under rusningstrafik för förarna vilket kan ses i figur 2. Detta beror på att förarna då uppehåller sig längre tid ute på de smutsiga perrongerna. Den gravimetriska provtagningen (filterprovtagningen) är en exakt metod. Dock fann vi betydligt lägre halter för  $\text{PM}_1$  bland förarna (9,1  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) än vad som uppmättes utefter samma bansträckning år 2001 (Wisell, 2002) då man uppmätte 59  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  på bansträckningen Farsta-Hässelby respektive 48  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  på sträckan Gullmarsplan-Hagsätra inne i förarhytten. Mätningarna år 2001 genomfördes med hjälp av ett direktvisande ljusspridningsinstrument typ Dust-Trak. Man fann samtidigt att  $\text{PM}_1$ -halten utgjorde 97 % respektive 81 % av  $\text{PM}_{10}$ -fraktionen, medan vi fann att  $\text{PM}_1$  endast utgjorde 48 % av  $\text{PM}_{2.5}$ .

$\text{PM}_{10}$ -halterna låg i samklang med vår tidigare uppmätta halt i förarhytten (55  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) mätt med ett ljusspridningsinstrument typ DataRAM som mäter partiklar  $< 10 \mu\text{m}$ . Det finns skäl att reproducera dessa mätningar igen och mäta med båda instrumenten samtidigt (dataRAM och Dust-Trak) för att utreda skillnader i de utförda mätningarna.

### ***Jämförelse med andra studier***

I Londons tunnelbana mätte man  $\text{PM}_{2.5}$ -halten gravimetriskt år 2001 i förarhytterna på Central line (130  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), Northern line (200  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) och Victoria line (180  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).  $\text{PM}_{2.5}$ -halterna på perrongplattformarna låg i intervallet 270-480  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  med gravimetrisk provtagning (Seaton et al, 2005). De fann 64-71 % järn i sina  $\text{PM}_{2.5}$  plattformsprovtagningar vilket är väsentligt högre än vi fann

för våra perrongsarbetare (städare och färdbeviskontrollanter) som uppvisade 25 % resp. 23 % järnhalt. Denna skillnad kan bero på att våra s.k. perrongarbetare i större utsträckning utförde arbetsmoment utanför plattformsområdet. PM<sub>10</sub>-halterna på Londons plattformsperronger under jord låg på 1000-1500 µg/m<sup>3</sup> (Seaton et al, 2004). PM<sub>2,5</sub>-halterna på perrongerna var 3-8 gånger högre än motsvarande fraktioner i gatunivån. Vid Mariatorgets perrong uppmättes år 2001 medelvärdet under dagtid kl. 07.00-19.00, PM<sub>1</sub> = 51 µg/m<sup>3</sup>, PM<sub>2,5</sub> = 256 µg/m<sup>3</sup> och PM<sub>10</sub> = 367 µg/m<sup>3</sup> (Johansson et al, 2001). PM<sub>1</sub> utgjorde 15 % av den totala PM<sub>10</sub>-massan medan PM<sub>1</sub> - PM<sub>2,5</sub>-massan utgjorde 50-60% av totala PM<sub>10</sub>-massan. Vi fann en större fraktion < PM<sub>1</sub> vilket förklaras av att PM<sub>1</sub> halten utgör en mycket större andel av massan under natten och vi utförde vanligtvis mätningarna på förarna i morgonskiftet kl. 04.30-14.00. Johansson. (2001) har också redovisat att partikelhalterna är betydligt lägre på nätterna och tidiga morgnar vilket delvis kan förklara att förarnas partikelhalter är förhållandevis låga. Samma fenomen inträffar för de sena kvällsskiftet då halten av partiklar kraftigt sjunker vid Mariatorgets perrong vid 19-tiden på kvällen (260 µg/m<sup>3</sup> kl. 19.00 respektive 110 µg/m<sup>3</sup> kl 21.00) (Norman et al, 2004). Förarna vi undersökte körde huvudsakligen morgonskift eller kvällsskift.

### **Metall- och kvartsinnehållet i partiklarna**

Järn är den enda metall som förekommer i större mängd i partiklarna med i genomsnitt 18 % innehåll (medelvärdet för PM<sub>1</sub> och PM<sub>2,5</sub> fraktionerna). Att vi inte fann högre järnhalt torde bero på att de flesta partiklar <1µm genereras från förbränning t.ex. gnisturladdning från strömskena vilket förefaller vara ett litet bidrag i sammanhanget. Slitagepartiklar är vanligtvis större vilket kan förklara tidigare observerade 60% järninnehåll i PM<sub>10</sub> där hjul, räls och bromsslitage kan vara källor (Christensson et al, 2002; Johansson et al, 2003).

Kopparhalten på 0,4 % kan ha sitt ursprung i motorlindningar och bromsar.

Kvartshalten uppmättes till 2,5 % i PM<sub>2,5</sub> resp. icke detekterbart i PM<sub>1</sub> fraktionen. Detta ligger i nivå med tidigare observerade analyser på 1-2% . Man kan ev. vänta sig högre halter av kvarts vid fraktionen PM<sub>10</sub> enär kvarts-partiklarna vanligtvis har en storleksförskjutning mot det högre intervallet inom PM<sub>10</sub>.

### **Kvävedioxidresultaten**

Kvävedioxidmätningarna (NO<sub>2</sub>) visar relativt stora spridningar mycket beroende på stora variationer i bakgrundsnivåer under de aktuella mätdagarna. Förarna hade de högsta värdena vilket förklaras av att en stor del av ovanjordstrafiken sker i nära anslutning till trafikerade leder samt perrongbesök och vid dieselbussintensiva stationer t.ex. Alvik, Gullmarsplan, Hökarängen och Kristineberg.

### **Jämförelse T-banan och andra förare**

Vi har använt samma mätpaket i denna studie som vi använt i en studie av motoravgasexponerade yrkesgrupper, (Lewné et al, 2004). Med de mätmetoder vi använt i denna studie kan vi konstatera att tunneltågsförarna i genomsnitt som grupp har i stort sett samma exponeringsnivåer för PM<sub>1</sub>, PM<sub>2,5</sub> och DataRAM som buss- och lastbilschaufförer som kör omkring i Storstockholm. NO<sub>2</sub> halterna för tunnelbaneförarna är till och med något högre för tunneltågsförarna än för lastbilsförare.

### **Bakgrundsnivåer**

Kvävedioxidhalten och partikelhalter blir aldrig noll i ett storstadsområde. Lokala utsläppskällor från trafik, industriutsläpp och andra förbränningskällor samt transport av långväga luftföroreningar skapar en bakgrundsexponering såväl utomhus som inomhus vars nivåer varierar under året och även under dygnet. Således varierade bakgrundsnivåerna under mätperioden såväl mellan olika dagar som mellan olika geografiska områden (innerstaden gentemot ytterstaden). Värdena togs från Stockholm Luft och Bullers' (SLB) databas som mäter nivåerna ovan tak i innerstaden.

Även för partiklar gäller samma resonemang. Bakgrundsnivåerna dagtid ovan tak som årstidsmedelvärde i hela Storstockholmsområdet för PM<sub>2,5</sub> var 9,8 µg/m<sup>3</sup> (SLB). Nivåerna i gatunivå var betydligt högre. Bakgrundsnivåerna påverkar inte bara exponeringen utomhus. I såväl bostäder, arbetsplatser och offentliga inomhusmiljöer tas luften in utifrån. Halten PM<sub>2,5</sub> i svenska bostäder ligger runt 10 µg/m<sup>3</sup> (Johannesson et al, 2003; Molnár et al, 2004). Halten inomhus versus utomhus är i stort sett lika i Storstockholmsområdet (Bellander, 2006) för såväl NO<sub>2</sub> som PM<sub>2,5</sub>.

### **Tolkning – jämförelse med gällande gränsvärde**

Jämfört med de hygieniska gränsvärdena i ASF 2005:17 (Arbetsmiljöverket, 2005) ligger halterna för NO<sub>2</sub> på 1/15 av gällande gränsvärde för tunneltågsförarna som var den grupp som hade högst exponering för NO<sub>2</sub>. De högst partikelexponerade, städarna, exponeras endast för 1/20 av det hygieniska gränsvärdet för oorganiska respirabla partiklar (motsvarar PM<sub>5</sub>).

## 5. Avtackning

Vi vill tacka alla försökspersoner som har medverkat och burit provtagningsutrustning under flera dagar. Vi vill även tacka mättekniker Eva Lenell som genomfört de flesta av mätningarna, yrkeshygieniker Marie Lewné som genomfört vägningarna av alla filter, samt statistiker Magnus Alderling för beräkning av standardavvikelser. Ett tack även till ansvariga inom Connex, arbetsledning och fack, som har hjälpt till att rekrytera studiepersonerna.

## Referenser

1. Aarnio P, Yli-Tuomi T, Kousa A, Mäkelä T, Hirsikko A, Hämeri K, Räisänen M, Hillamo R, Koskentalo T, Jantunen M (2005). The concentration and composition of and exposure to fine particles (PM 2.5) in the Helsinki subway system. *Atmospheric Environment* 39 (2005) 5059-5066.
2. Adams H, Nieuwenhuijsen M, Colvile R, Mc Mullen M, Khandelwal P (2001). Fine particles (PM2.5) personal exposure levels in transport microenvironments, London, UK. *The Science of the Total Environment* 279, 29-44.
3. Arbetsmiljöverket (2005). Hygieniska gränsvärden, AFS 2005:17, Arbetsmiljöverket, Solna.
4. Axelsson G (1997) Mätning av damm i tunnelbanan. Arbetsmiljögruppen i Stockholm, Rapport 97-2. Lilla Nygatan 13, 111 28 Stockholm.
5. Axelsson G (1995). Mätning av damm i förarhytt till tunnelbanetåg. Arbetsmiljögruppen i Stockholm. Rapport 95-26. Lilla Nygatan 13, 111 28 Stockholm.
6. Bellander T (2006). Personal Communications
7. Chillrud S, Epstein D, Ross J, Sax S, Pederson J, Spenglar J, Kinney P (2004). Elevated airborne exposures of teenagers to manganese, chromium, and iron from steel dust and New York City's subway system. *Environmental Science and Technology* 38, 732-737.
8. Christensson B, Sternbeck J. & Ancker K (2002). Luftburna partiklar - partikelhalter, elementsammansättning och emissionskällor. IVL-rapport A22147. Stockholm. Rapport på uppdrag av SL Infrateknik AB.
9. Götbrant U (1993). Delredovisning av luftföroreningsundersökningar i Stockholms Tunnelbana, Tekniska avdelningen, Miljö- och hälsoskyddsförvaltningen, Stockholms kommun
10. Hurley, F., J. Cherrie, K. Donaldson, A. Seaton, & L. Tran (2004). Assessment of health effects of long-term occupational exposure to tunnel dust in the london underground, Research report TM/02/04, Institute of Occupational Health, university of Edinburgh, Scotland.
11. Johansson, C. and Johansson, P.Å (2003). Particulate matter in the underground of Stockholm. *Atmospheric Environment*, 37, 3-9.
12. Johannesson S et al.(2003). Personal exposure to fine particles in Gothenburg. In abstract book of 13<sup>th</sup> Annual Conferens International Society of Exposure Analysis. Stresa, Italy
13. Johansson, C., Johansson, P.Å. & Sjövall, B (2001). Partikelhalter i Stockholms tunnelbana. SLB rapport 2:2001. Miljöförvaltningen, Box 38 024, 100 64 Stockholm.
14. Karlsson H, Nilsson L, Möller L (2005). Subway particles are more genotoxic than street particles and induce oxidative stress in cultured human cells. *Chem. Res. Toxicol.*, 18(1) 19-23
15. Lewné M, Gustavsson P, Lenell E, Plato N (2004). Measuring and characterisation motor exhaust exposure in Sweden – Development of a job-exposure matrix. Abstract vid 26<sup>th</sup> ICOH Congress, Melbourne, okt 2004.
16. Lewné M (1998). Personburen dammätning på tunneltågsförare. Yrkesmedicinska enheten, Karolinska sjukhuset, Stockholms läns landsting, 171 76 Stockholm (1998-01-16).



17. Molnár P. et al (2004). Indoor and outdoor PM<sub>2,5</sub> trace element and black smoke in a residential woodburning area. *Journal of Aerosol Science*. 35(Supplement 1):p.567-8.
18. Norman, M., & Johansson, C (2004). Karakterisering av partikelförekomsten vid Mariatorgets tunnelbanestation. SLB-analys, Miljöförvaltningen, Box 38 024, 100 64 Stockholm.
19. Ripanucci G, Grana M, Vicentini L, Magrini A, Bergamaschi A (2006). Dust in the underground railway tunnels of an Italian town . *J of Occup and Environ Hyg*, 3: 16-25.
20. Seaton A, Cherrie J, Dennekamp M, Donaldson K, Hurlley J, Tran C (2005). The London underground: dust and hazards to health. *Occup Environ Med* 2005;65:355-362.
21. Wisell T (2002). Halter av partiklar i Stockholms tunnelbaneluft – Mätning av PM<sub>10</sub> och PM<sub>1</sub>. Banavdelningen, Allmänna gruppen, SL Infrateknik AB, Stockholm
22. Wisell, T (2002). Halter av partiklar i Stockholms tunnelbaneluft. SL Infrateknik AB.