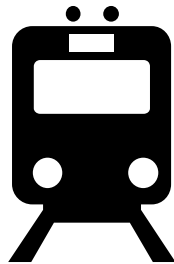


# *Partikelhalter i Stockholms tunnelbana*



## **Förord**

Detta projekt är utfört på uppdrag av Stockholms Miljöförvaltning, Plan och Trafik avdelningen. Mätningarnas syfte var att karakterisera partikelförekomsten i tunnelbanan i Stockholm med avseende på massan fina och grova partiklar. Miljöförvaltningen har låtit bekosta större delen av undersökningen. SL har medverkat och delvis finansierat installationen av utrustningen i tunnelbanan.

Undersökningen kan betraktas som en första kartläggning för jämförelse med tillståndet i andra miljöer. Avsikten var också att bedöma om situationen föranleder krav på vidare undersökningar av SL som ansvarig för verksamheten i tunnelbanan. En mer omfattande studie behövs för att ge ett säkert svar på partiklarnas ursprung, vilket i sin tur kan vara nödvändigt för att vidta rätt åtgärder för att minska partikelhalterna i tunnelbanan.

Rapporten är sammanställd av Christer Johansson. Mätningarna har utförts av Per-Åke Johansson och Billy Sjövall.

Stockholm i april 2001

Christer Johansson

## **SLB·analys**

**Stockholms Luft- och Bulleranalys**

Miljöförvaltningen i Stockholm

Rosenlundsgatan 60. Box 380 24, 100 64 Stockholm

Tel 08-508 28 800, direkt SLB-analys 08-508 28 880

<http://www.slb.mf.stockholm.se/miljo>

# Innehåll

Sammanfattning.....	1
Partiklar i luften — ett angeläget problem .....	1
Tidigare studier i tunnelbanemiljö .....	2
1. London.....	2
2. Stockholm .....	2
2.1 Miljöförvaltningens mätningar 1982 och 1983 .....	2
2.2 "Tunnlar och hälsorisker" (Arbete, Människa, Miljö & nordisk Ergonomi).....	3
2.3 "Personburen dammätning på tunneltågsförare" (Yrkesmedicinska enheten, KI, 1998).....	3
2.4 "Mätning av damm i tunnelbanan" (AMG rapport 97-2) .....	3
2.5 "Mätning av damm i förarhytt till tunnelbanetåg" (AMG 95-26).....	4
3. Sammanfattning av tidigare studier i tunnelbanan .....	4
Syfte med mätningarna.....	5
Genomförande och mätmetoder .....	5
Resultat.....	7
PM <sub>10</sub> halterna.....	7
PM <sub>2,5</sub> halterna .....	9
Varifrån kommer partiklarna?.....	11
Vad betyder resultaten? .....	11
Förslag till fortsatt arbete för att öka kunskapen .....	12
Litteraturreferenser .....	12

## Sammanfattning

Halterna av PM<sub>10</sub> och PM<sub>2.5</sub> på tunnelbaneperrongen vid Mariatorget är kraftigt förhöjda jämfört med motsvarande halter på hårt trafikerade gator i Stockholms innerstad. Under vardagar mellan kl. 7 och 19 uppmättes genomsnitt 470 µg/m<sup>3</sup> PM<sub>10</sub> och 260 µg/m<sup>3</sup> PM<sub>2.5</sub>. Dessa värden är en faktor 5 respektive 10 högre än motsvarande värden i gatumiljö på Hornsgatan på Södermalm i Stockholm.

Några gränsvärden för halterna i tunnelbanan till skydd för trafikanter finns inte, men de nu uppmätta nivåerna på tunnelbaneperrongen vid Mariatorget överskrider kraftigt de EU-gränsvärden som gäller från 2005 för PM<sub>10</sub> i omgivningsluft<sup>1</sup> (utomhus) och även de bedömningsgrunder som finns i Sverige idag för utomhusmiljö.

Tidigare undersökningar visar på att partiklarnas kemiska sammansättning, form och storleksfördelning i tunnelbanan skiljer sig från partiklar i gatumiljö. Detta är något som bör utredas vidare och som gör att eventuell hälsopåverkan av partiklar i tunnelbanan inte är jämförbar med den hälsopåverkan som partiklar i trafikmiljö kan ha.

## Partiklar i luften — ett angeläget problem

Synen på de luftburna partiklarnas effekter på människors hälsa har svängt markant under de senaste åren. Hälsoeffekter har påvisats vid betydligt lägre halter än vad som framkommit av tidigare studier. I USA och inom EU har detta föranlett skärpningar av gränsvärdena. Den nya synen har också lett till att kostnaderna för samhället p g a partikelutsläpp från vägtrafiken värderas högre. Om man jämför samhällskostnaderna av olika luftföroreningsutsläpp så tyder studier på att livslängdsförkortning p g a exponering för partiklar är en dominerande faktor (Leksell, 1999).

Men det finns fortfarande stora osäkerheter när det gäller effekterna på människors hälsa. Effekterna av partiklarna i sig, respektive effekterna av ämnen bundna till partiklarna, kan ej särskiljas. Tolkningen av epidemiologiska studier försvåras av att luftföroreningar är en blandning av partiklar och gaser. Partiklarna i sig är en komplicerad blandning av lösliga och olösliga, organiska och oorganiska föreningar fördelade på olika typer av partiklar som förändras relativt snabbt under transporten i luften. Kännedom om förekomsten av partiklar i olika miljöer är nödvändig för att bedöma effektiviteten i åtgärder som syftar till att minska befolkningens exponering för partiklar. Idag pågår flera projekt för att kartlägga halterna och den kemiska sammansättningen av partiklar i städer där antingen vägtrafik eller vedeldning är betydande källor. Mycket få studier i Sverige har genomförts för att beskriva halterna inomhus och i andra miljöer där folk normalt vistas.

---

<sup>1</sup> EU beslöt 1998 att införa riktvärden för partiklar i utomhusluften. I ett första steg som skall gälla från 2005 införs ett dygnsmedelvärde för PM<sub>10</sub> på 50 µg/m<sup>3</sup> som inte får överskridas fler än 35 gånger per år (vilket ungefär motsvarar 90-percentilen). I ett andra steg, som skall gälla från 2010 införs ett preliminärt ett helårsmedelvärde på 20 µg/m<sup>3</sup>, medan dygnsmedelvärdet skärps; riktvärdet 50 µg/m<sup>3</sup> får högst överskridas sju gånger per år (98-percentil). Under året (2001) kommer gränsvärden att fastläggas.

## Tidigare studier i tunnelbanemiljö

### 1. London

Ett par studier har visat att halterna av svävande partiklar i Londons tunnelbana är kraftigt förhöjda jämfört med normalt förekommande halter i många andra miljöer. Pfeifer m flera (1999) jämförde exponeringen för mangan hos taxichaufförer och kontorspersonal i syfte att se om MMT (metylcyklopentadienyl mangan trikarbonyl) i fordonsbränsle orsakade förhöjd exponering. Något förvånande fann man att kontorspersonalen hade högsta exponeringen och närmare undersökning visade att detta berodde på att många i denna grupp pendlade med tunnelbana till arbetet. Den genomsnittliga exponeringshalten av mangan för taxichaufförerna var  $20 \text{ ng/m}^3$  och för kontorspersonal som pendlade med tunnelbana var halten  $137 \text{ ng/m}^3$ , ca 7 gånger högre exponering. Även beträffande den totala mängden suspenderade partiklar (TSP) var exponeringen kraftigt förhöjd bland pendlande kontorspersonal –  $54 \text{ } \mu\text{g/m}^3$  för taxichaufförer och ca  $74 \text{ } \mu\text{g/m}^3$  för kontorspersonal. Ytterligare mätningar visade att halterna av fina partiklar ( $<2.5 \text{ } \mu\text{m}$  diameter) och den totala mängden suspenderade partiklar var ca 8 respektive 12 gånger högre i tunnelbanan jämfört med taxichaufförernas medelxponeringshalt.

Pfeiffer m flera (1999) anger tre möjliga källor till mangan och partiklar:

1. slitage av stål genom friktionen mellan hjul och räls
2. bromsslitage
3. förångning av metaller vid gnistbildning

De förhöjda manganhalterna skulle kunna bero på att stålet som används innehåller stora mängder mangan. Liknande resultat erhöles i en annan studie av Sitzmann m fl (1999). Halterna av  $\text{PM}_5$  (partiklar mindre än  $5 \text{ } \mu\text{m}$  i diameter) i tunnelbanan var mer än 10 gånger högre jämfört medelxponeringshalten hos pendlande cyklister. Sitzmann's studie visade också på stora skillnader både vad gäller storleksfördelningen och den kemiska sammansättningen av partiklarna i tunnelbanan respektive partiklar i trafikmiljö där cyklisterna färdades. De flesta partiklar i trafikmiljön var små ( $<0.2 \text{ } \mu\text{m}$ ). I tunnelbanan däremot var antalet partiklar mer jämnt fördelat över alla storlekar. Massmässigt dominerade de stora ( $>1 \text{ } \mu\text{m}$ ) i tunnelbanan, vilket är typiskt för partiklar som genereras vid slitage. Partiklarna i tunnelbanemiljön var också mer spetsiga än partiklarna i trafikmiljön, vilket ytterligare styrker antagandet att de härrör från slitage av olika material. Avgaspartiklar består till stor del av elementärt och organiskt kol i form av agglomerat av många kolkedjor på vilka olika organiska ämnen absorberats. De är ofta porösa och mer eller mindre runda i sin form.

### 2. Stockholm

#### 2.1 Miljöförvaltningens mätningar 1982 och 1983

Miljöförvaltningen genomförde mätningar av kolmonoxid, sot några grundämnen (främst metaller) vid några olika T-banestationer hösten 1982. Syftet var att ta fram underlag för ett körschema för ventilationsfläktar S:t Eriksplan/Odenplan, Rådmanngatan/Hötorget och Hötorget/T-centralen. Under 1983 provtogs dessutom 16 st. polycykliska aromatiska kolväten (PAH) på några platser och total stoft. Mätningar av kolmonoxid visade att fordonsavgaser kan påverka luftföroreningshalterna i tunnelbanan. Därvid har fläktförhållandena stor betydelse för vilka halter som erhålls, beroende på var tilluften till ventilationen tas. För flera ämnen konstaterades att halterna är högre i tunnelbaneluften (perronger) jämfört med utomhusmiljön. Detta gäller partiklar och partikelbundna ämnen såsom sot, järn (100 gånger

högre) och koppar. Även när det gäller halterna av vissa PAH uppmättes förhöjda värden på vissa tunnelbaneperronger.

**Tabell 1. Exempel på resultat från Miljöförvaltningens mätningar 1982 och 1983**

Ämne	T-bana Mariatorget	T-bana Rådhuset	T-bana Odenplan	T-bana Hötorget	T-bana S:t Eriksplan	T-bana Ö. Malmstorg	Omgivn.- luft <sup>1)</sup>
Sot (1980), $\mu\text{g}/\text{m}^3$	98			74			5 – 20
Sot (1982), $\mu\text{g}/\text{m}^3$	82 – 93			58 – 70	56 – 74	58 – 70	5 – 20
Stoft (1983), $\mu\text{g}/\text{m}^3$	463	122	272				46 – 606 <sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Torkel Knutssonsgatan och Värtan (mätningar 1980 – 1981).

<sup>2)</sup> Lägst på Arbetargatan (2 100 fo/dygn), högst på S:t Eriksgatan (39 000 fo/dygn)

### 2.2 "Tunnlar och hälsorisker" (Arbete, Människa, Miljö & nordisk Ergonomi)

I en artikel i *Arbete, Människa, Miljö & nordisk Ergonomi* (1997) diskuterar Lars Olander (professor vid Arbetslivsinstitutet) och Anders Jansson (Teknisk doktor vid Arbetslivsinstitutet) mätningar av luftkvalitet i vägtrafiktunnlar och tunnelbana. En jämförelse mellan dammhalter uppmätta i olika miljöer visar att halterna är förhöjda på tunnelbaneperronger och i tunnelbanevagnar jämfört med "Citygator" i Stockholm och ett "parkområde" i Solna. De relativa dammhalterna i tunnelbanan varierade mellan 6 och 15 medan halterna på "Citygator" varierade mellan 1 och 4, dvs 3 till 6 gånger högre värden i tunnelbanan. Jämfört med parkområdet var halterna 20 till 30 gånger högre i tunnelbanan. En jämförelse mellan gamla och nya vagnar visar på relativt små skillnader i dammhalterna.

Författarna efterlyser mera information om halterna i tunnelbanan, speciellt partikelstorleksfördelningen och halter av gasformiga ämnen.

### 2.3 "Personburen dammätning på tunneltågsförare" (Yrkesmedicinska enheten, KI, 1998)

Yrkesmedicinska enheten vid Karolinska institutet genomförde 1997 en exponeringsstudie av en tunnelbaneförare. Partiklar med en diameter mellan 0.1 och 10  $\mu\text{m}$  registrerades varje minut under 8 timmar i andningszonen. Resultaten visar att dammhalterna var högst vid färd i tunnlar (ca 100  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Lägsta halterna noterades vid körning utanför tunnlar och i samband med raster. Den genomsnittliga halten var 55  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Det yrkesmedicinska gränsvärdet för respirabelt järndamm ligger betydligt högre (3 500  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), men författaren utesluter dock inte att personer med känsliga slemhinnor kan uppleva besvär. Enligt Li *et al.* (1997), Gilmour *et al.* (1997) och Donaldson *et al.* (1997) kan järn på ytan av  $\text{PM}_{10}$  partiklar ge upphov till inflammatoriska reaktioner. Många spårmetaller är biologiskt aktiva och om de deponeras i lungan kan de därför påverka biologiska cellprocesser.

### 2.4 "Mätning av damm i tunnelbanan" (AMG rapport 97-2)

Dammhalt och metallinnehåll vid tre tunnelbanestationer (Medborgarplatsen, Mariatorget och V:a Skogen) samt i två tunneltåg studerades under totalt 6 dygn. Resultaten framgår av Tabell 2.

Ytterligare 11 metaller mättes men halterna låg under analysmetodens detektionsgräns (2  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Författaren konstaterar att uppmätta halter är betydligt högre än i utomhusluften. Järnhalterna är 100 till 300 gånger högre än i "ren" utomhusmiljö. Jämfört med mätningarna 1983 var järnhalterna högre på Mariatorget som då även ingick i den studien. Dock baseras jämförelsen på endast ett prov under 4 timmar.

**Tabell 2. Mätningar av damm och metaller i tunnelbanan. Enheten är  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (värden inom parentes är andelen av totala dammhalten i procent).**

Plats	Total dammhalt	Järn	Kalcium	Mangan
Mariatorget	250 – 440	284 (65%)	118 (27%)	2
Medborgarplatsen	220 – 240	128 (53%)	12 (5%)	2
Västra skogen	< 200	42	4	2
Tåg (TUB 2)	< 200	33	2	2
Tåg (TUB 3)	< 200	17	2	2

**2.5 "Mätning av damm i förarhytt till tunnelbanetåg" (AMG 95-26)**

Under fyra timmar insamlades damm på två prover i förarhytten till en tunnelbanevagn (TUB 3). Mätningarna genomfördes under juni 1995. Totaldammhalten låg på ca  $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$  och partiklarna bestod huvudsakligen av järn (80% - 90%). I ett av proverna uppskattades antalet partiklar större och mindre än  $1 \mu\text{m}$ . Ca 12 miljoner partiklar per  $\text{m}^3$  var större än  $1 \mu\text{m}$  och 50 miljoner per  $\text{m}^3$  var mindre än  $1 \mu\text{m}$ . Som jämförelse angavs referensvärden för lokaler utan problem där antalet partiklar större än  $1 \mu\text{m}$  ligger på 0.2 till 0.7 miljoner per  $\text{m}^3$  och 10 till 40 miljoner per  $\text{m}^3$  för partiklar mindre än  $1 \mu\text{m}$ .

Man konstaterade att filtren som används i förarhytter inte förmår filtrera bort de små partiklar som det är fråga om i detta fall.

**3. Sammanfattning av tidigare studier i tunnelbanan**

Ett flertal mätningar har genomförts i tunnelbanan (perronger, förarhytter och vagnar) och i huvudsak visar rapporterna att luften i Stockholms tunnelbana är mera förorenad med partiklar och vissa partikelbundna ämnen jämfört med omgivningsluft i gatunivå. Två till 10 gånger högre halter av  $\text{PM}_{10}$  kan förekomma i tunnelbanan. Resultaten visar på stora skillnader i föroreningshalterna mellan olika T-banestationer. Orsakerna till detta är inte klarlagda.

Mätningarna avser troligen främst fina partiklar mindre än ca  $2 \mu\text{m}$  i diameter. För gränsvärden i omgivningsluft är det partiklar med en diameter upp till  $10 \mu\text{m}$  som diskuteras (s k inhalerbara partiklar). Det är oklart om tidigare mätningar av stoft inkluderar de grova partiklarna ( $>2 \mu\text{m}$ ), som kan vara svåra att samla in med hög effektivitet. Endast för ett prov i en förarhytt har partikelstorleksfördelningen studerats (antalet partiklar större eller mindre än  $1 \mu\text{m}$ ). Eftersom en stor del av partikelmassan förväntas ligga mellan  $2 \mu\text{m}$  och  $10 \mu\text{m}$  bör dessa studier kompletteras.

Partiklarna verkar huvudsakligen bestå av järn. Förhöjda halter jämfört med omgivningsluft har konstaterats för t ex sot, järn och koppar. Mätmetoderna har i vissa fall inte varit tillräckligt känsliga för att detektera de ämnen som kan finnas på partiklarna. Även när det gäller de partikelbundna polycykliska aromatiska kolvätena har förhöjda halter jämfört med gatunivå uppmätts. Den totala PAH halten är okänd eftersom gasformiga PAH inte har mätts. Varifrån uppmätt PAH i tunnelbanan kan komma är svårt att förstå.

Miljöförvaltningens studie visar att luften i tunnelbanan påverkas av trafikavgaser. Det är dock svårt att dra några kvantitativa slutsatser om olika källors bidrag till partikelhalten.

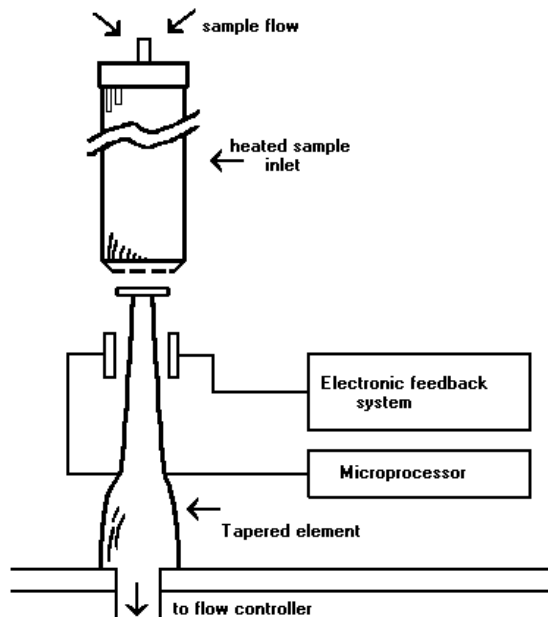
Förhöjda järnhalter kan hänga samman med dels uppvirvlade jordpartiklar från banvallar, dels partiklar från slitage av bromsar, hjul och räls. Sedan 1982 har förändringar av bromssystemen skett. Det är oklart om ventilationen är densamma och i vilken omfattning som fläktstationerna används idag.

## Syfte med mätningarna

Mätningarnas syfte var att karakterisera partikelförekomsten i tunnelbanan i Stockholm med avseende på massan fina och grova partiklar ( $PM_{2.5}$  och  $PM_{10}$ - $PM_{2.5}$ ). Miljöförvaltningen har låtit bekosta större delen av undersökningen eftersom den kan betraktas som en kartläggning att jämföra med förvaltningens kartläggning av tillståndet i andra miljöer. Avsikten var också att bedöma om situationen föranleder krav på vidare undersökningar av SL som ansvarig för verksamheten i tunnelbanan. En mer omfattande studie behövs för att ge ett säkert svar på partiklarnas ursprung, vilket i sin tur kan vara nödvändigt för att vidta rätt åtgärder för att minska partikelhalterna i tunnelbanan. Flera källor är möjliga; slitage av bromsar/ hjul, uppvirvlade partiklar från banvallar eller insug av partiklar utifrån via ventilationsluft.

## Genomförande och mätmetoder

Stockholms luft och bulleranalys har varit huvudansvarig för mätningarna och utvärderingen av resultaten. Mätningarna genomfördes på Mariatorgets tunnelbanestation. Ett sk TEOM instrument (Tapered Element Oscillating Microbalance) registrerade timmedelvärden av halterna av  $PM_{10}$  och  $PM_{2.5}$ .



Partiklarna avskiljs på ett filter placerat på toppen av en oscillerande glaskropp. Provlufte värms och temperaturen över filtret hålls konstant vid 50 °C för att undvika variationer på grund av varierande vatteninnehåll. Frekvensen hos den ihåliga glaskroppen förändras proportionellt med massförändringen på filtret. Ändringen i frekvens över en given tid kan omräknas till partikelhalt (massa per volymenhet). Tekniken möjliggör mätningar av relativt små massförändringar på kort tid.

Dessutom mättes kolmonoxid kontinuerligt. Kolmonoxidmätningarna används för att ”spåra” trafikavgaser. Mätningarna av kolmonoxid (CO) baseras på kolmonoxidens

absorption av infrarött ljus. Luften suges med hjälp av en pump kontinuerligt genom en mätkyvetta som genomlysas med infrarött ljus. Ljuset som passerar kyvetten absorberas på grund av CO-molekylernas förmåga att absorbera vissa våglängder. En fotodetektor mäter hur mycket ljus - av den våglängd som är specifik för CO - som absorberas i kyvetten. Ljusminskningen omvandlas till en elektrisk signal. Med icke-dispersiv IR-teknik (NDIR), mäts ljusabsorptionen inom en smal del av IR-spektrat.

Figur 1 visar instrumentens lokalisering vid Mariatorgets tunnelbanestation. Mätpunkten var lokaliserad på plattformen för norrgående tåg. Instrumentet placerades i en gallerbur av



metall. Installation och tillverkning av buren betalades av SL. Övriga delar har finansierats av Miljöförvaltningen i Stockholm.

Mätningarna genomfördes från den 19 januari till den 23 februari.



**Figur 1. Bild över mätinstrumentet på Mariatorgets tunnelbanestation (plattformen för norrgående tåg).**

Resultaten från mätningarna jämförs med mätningar av  $PM_{10}$  och  $PM_{2.5}$  vid Hornsgatan på Södermalm. Placeringen av mätvagnen på Hornsgatan framgår av Figur 2 nedan. Mätinstrumentet vid Hornsgatan var av samma typ som användes i tunnelbanan. Mätplatsen är en av de mest föroreningsbelastade i Stockholm.



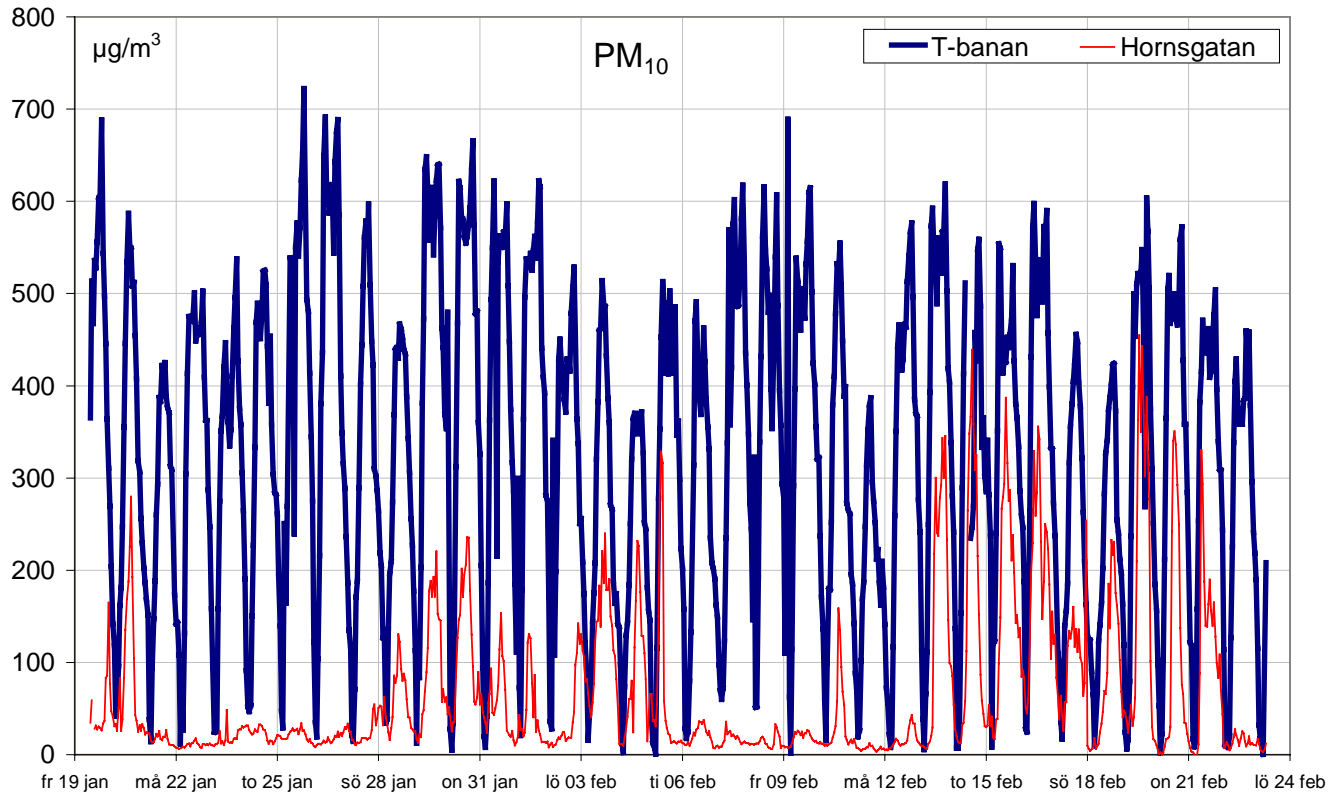
Figur 2. Mätvagnen på norra sidan av Hornsgatan (blå vagnen).

## Resultat

### PM<sub>10</sub> halterna

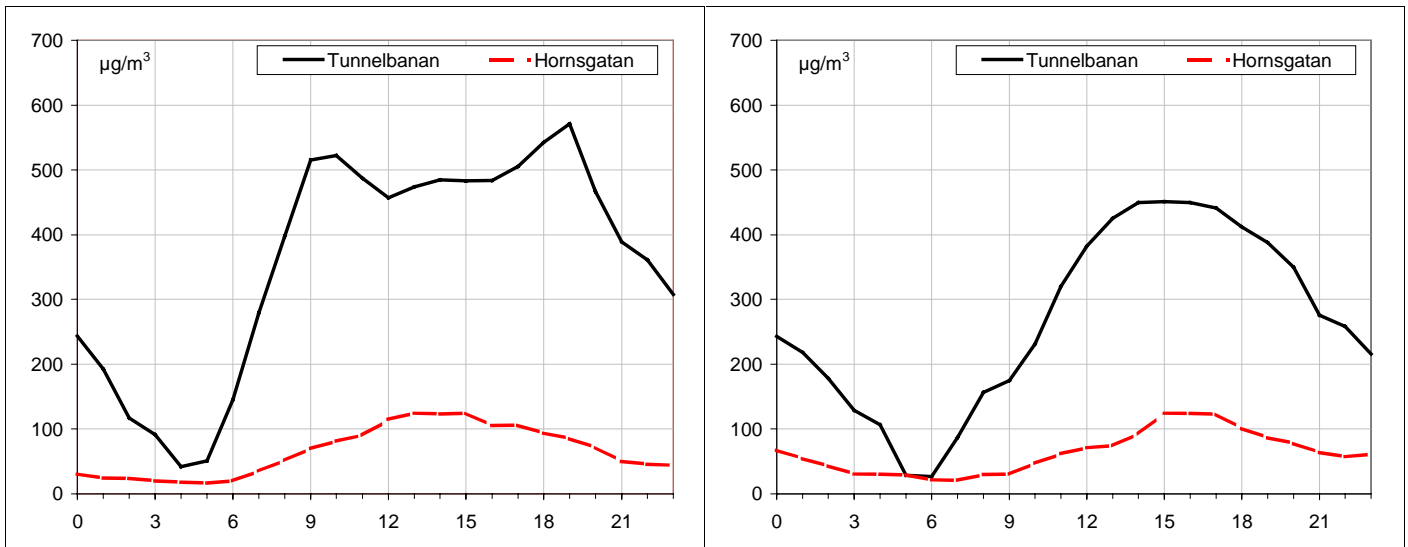
Figur 3 nedan visar variationerna av PM<sub>10</sub> halterna på Mariatorgets perrong. För jämförelse visas även PM<sub>10</sub> halterna vid Hornsgatan under samma mätperiod. Halterna på tunnelbaneperrongen uppvisar en mycket regelbunden variation med de lägsta halterna tidigt på morgonen (kl. 4-5) och de högsta halterna sent på eftermiddagen, omkring kl. 18 till 19. Under dagtid på vardagar ligger halterna på omkring 500 µg/m<sup>3</sup>. Halterna är något lägre under lördagar och söndagar.

På Hornsgatan är halterna väsentligt lägre och variationen i halterna från en dag till en annan är betydligt större jämfört med variationerna i tunnelbanan. Denna variation hänger samman med meteorologiska faktorer. Vägbanans fuktighet, vindhastigheten och vindriktningen har troligen stor betydelse men under likartade meteorologiska förhållanden styrs variationerna givetvis av trafikintensiteten.



Figur 3. Halterna av PM<sub>10</sub> på tunnelbaneperrongen vid Mariatorget (blå linje) samt halterna i gatunivå på Hornsgatan (röd linje) för samma period. Värdena är timmedelvärden.

Den genomsnittliga dygnsvariationen i halterna av PM<sub>10</sub> under vardagar respektive helger framgår av Figur 4. Under vardagar syns två toppar i halterna på morgonen och på eftermiddagen, medan helgdagarna har endast ett maximum. Under hela dygnet utom tidigt på morgonen, är halterna på tunnelbaneperrongen högre än halterna på Hornsgatan.



Figur 4. Genomsnittlig variation av PM<sub>10</sub> halterna under ett dygn på tunnelbaneperrongen och på Hornsgatan. Vänstra figuren visar måndagar – fredagar och högra visar lördagar och söndagar.

De genomsnittliga PM<sub>10</sub> halterna samt maximala och minimala värdena för hela mätperioden framgår av Tabell 3. Under vardagar och söndagar mellan kl. 7 och 19 är halterna på tunnelbaneperrongen nästan 5 gånger så höga som halterna på Hornsgatan för samma tidsperiod. På lördagar är halterna ca 4 gånger högre. Skillnaderna kan förväntas vara ännu högre under andra delar av året eftersom PM<sub>10</sub> halterna på Hornsgatan är som högst under senvintern och våren. Halterna i tunnelbanan förefaller vara mycket likartade från dygn till dygn, endast beroende av tågtrafiken.

Värdena kan jämföras med från år 2005 gällande riktvärden för PM<sub>10</sub> för omgivningsluft<sup>2</sup> som idag ligger på 50 µg/m<sup>3</sup>, dvs. betydligt lägre än de värden som observeras på tunnelbaneperrongen. Huruvida riktvärdet är applicerbart i tunnelbanan är dock oklart.

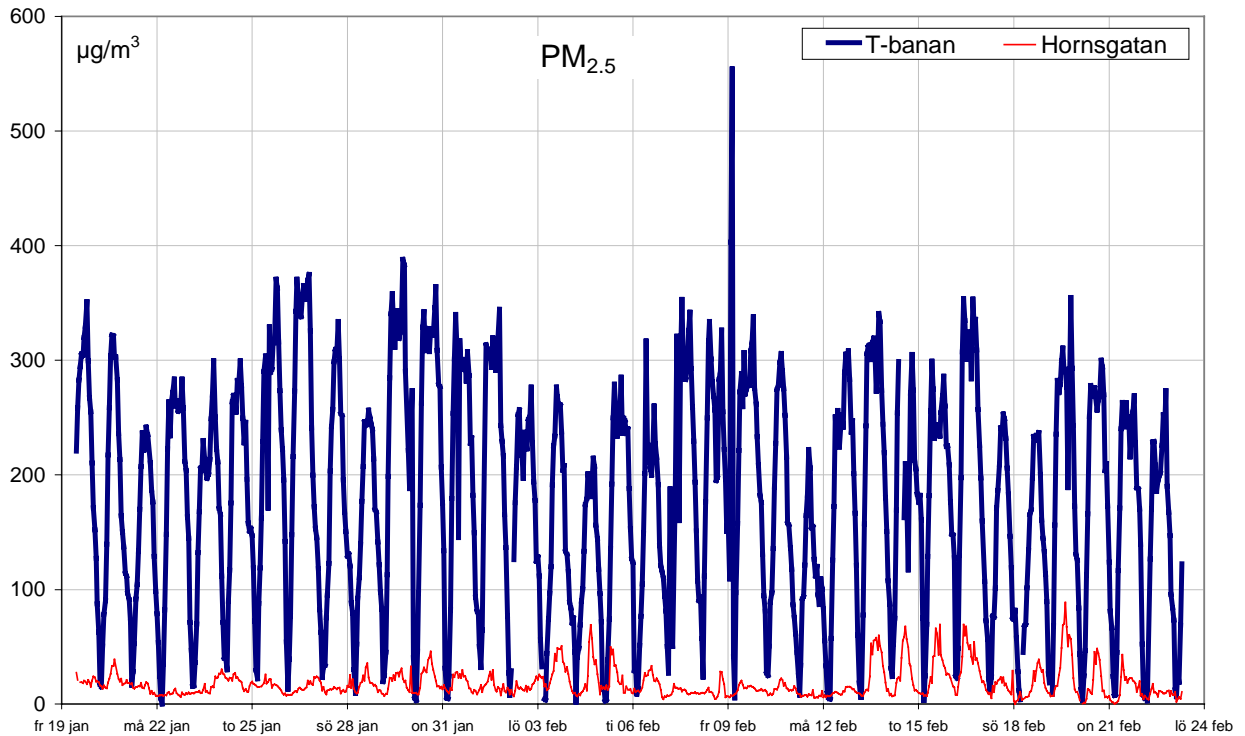
**Tabell 3. Sammanfattning av PM<sub>10</sub> halterna i tunnelbanan. Värdena är timmedelvärden i µg/m<sup>3</sup>.**

	Mätplats	Medel	Min	Max	Totala Antalet timmar
<b>Vardag kl 07-19</b>	Mariatorget	469	212	722	257
	Hornsgatan	98	6,4	454	260
<b>Lördag kl 07-19</b>	Mariatorget	370	59,1	597	65
	Hornsgatan	90	9,9	280	65
<b>Söndag kl 07-19</b>	Mariatorget	302	66,8	467	65
	Hornsgatan	62	3,5	233	65

### PM<sub>2.5</sub> halterna

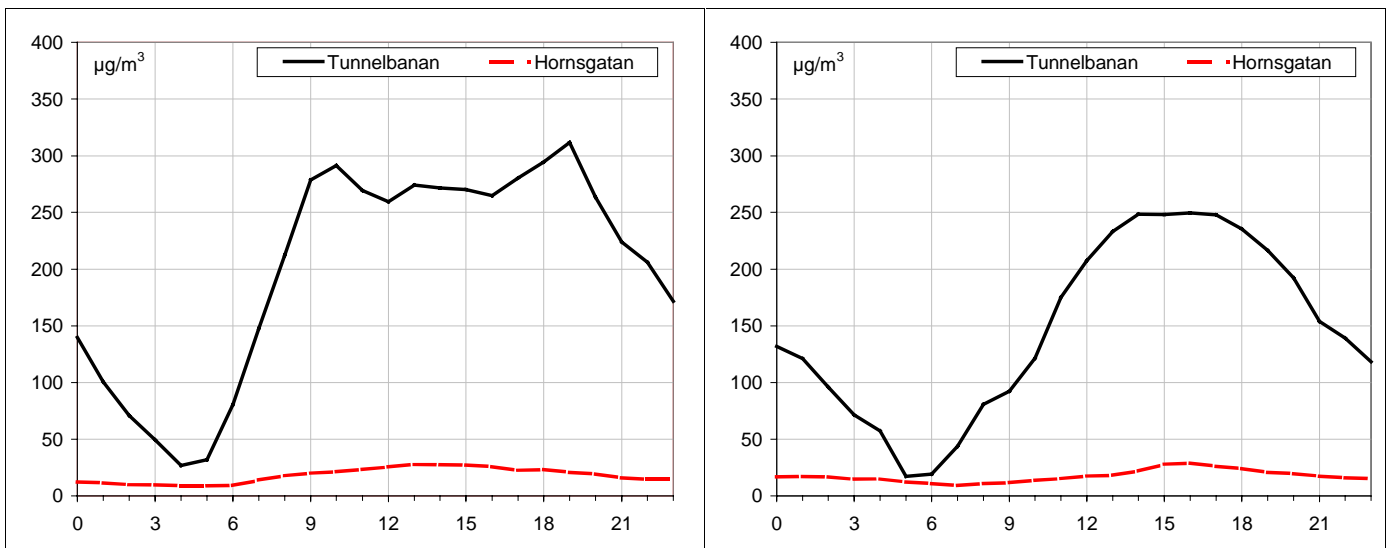
Även PM<sub>2.5</sub> halterna är anmärkningsvärt höga och varierar på samma regelbundna sätt som för PM<sub>10</sub> halterna (Figur 5). Korrelationen mellan PM<sub>10</sub> och PM<sub>2.5</sub> i tunnelbanan är mycket hög (0.95) och PM<sub>2.5</sub> utgör ca 55% av PM<sub>10</sub>. Denna höga andel är kanske något oväntad mot bakgrund av att partiklarna huvudsakligen förväntas komma från slitage och uppvirvlat damm.

<sup>2</sup> EU beslöt 1998 att införa riktvärden för partiklar i utomhusluften. I ett första steg som skall gälla från 2005 införs ett dygnsmedelvärde för PM<sub>10</sub> på 50 µg/m<sup>3</sup> som inte får överskridas fler än 35 gånger per år (vilket ungefär motsvarar 90-percentilen). I ett andra steg, som skall gälla från 2010 införs ett preliminärt ett helårsmedelvärde på 20 µg/m<sup>3</sup>, medan dygnsmedelvärdet skärps; riktvärdet 50 µg/m<sup>3</sup> får högst överskridas sju gånger per år (98-percentil).



**Figur 5. Halterna av PM<sub>2.5</sub> på tunnelbaneperrongen vid Mariatorget samt halterna i gatunivå på Hornsgatan för samma period. Värdena är timmedelvärden.**

När det gäller dygnsvariationerna av PM<sub>2.5</sub> halterna är de mycket likartade som för PM<sub>10</sub> och de högsta och lägsta halterna sammanfaller med PM<sub>10</sub> halternas variation. Halterna är hela tiden väsentligt högre än i gatunivå på Hornsgatan, utom möjligen tidigt på morgonen mellan 4 och 5, då de ligger på ungefär samma nivå.



**Figur 6. Genomsnittlig variation av PM<sub>2.5</sub> halterna under ett dygn på tunnelbaneperrongen och på Hornsgatan. Vänstra figuren visar måndagar – fredagar och högra visar lördagar och söndagar.**

I Tabell 4 sammanfattas mätningarna av PM<sub>2.5</sub> Medelvärdena för perioden är 10 gånger högre än motsvarande värden på Hornsgatan. Ungefär samma förhållande erhöles för vardagar och helgdagar.

**Tabell 4. Sammanfattning av PM<sub>2.5</sub> halterna i tunnelbanan. Värdena är timmedelvärden under dagtid (7 – 19) i µg/m<sup>3</sup>.**

	<b>Mätplats</b>	<b>Medel</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>	<b>Ant</b>
<b>Vardag kl 07-19</b>	Mariatorget	258	105	388	257
	<i>Hornsgatan</i>	<i>23,1</i>	<i>2,6</i>	<i>88,5</i>	<i>260</i>
<b>Lördag kl 07-19</b>	Mariatorget	204	23,9	334	65
	<i>Hornsgatan</i>	<i>20,3</i>	<i>5,2</i>	<i>50,7</i>	<i>65</i>
<b>Söndag kl 07-19</b>	Mariatorget	165	33,7	256	65
	<i>Hornsgatan</i>	<i>17,5</i>	<i>4,4</i>	<i>69,1</i>	<i>65</i>

## Varifrån kommer partiklarna?

Mätningarna kan inte ge några definitiva svar på varifrån partiklarna kommer. Att det i huvudsak inte kan vara trafikavgaser som kommit in via ventilation är dock helt klart eftersom halterna är mångfalt högre än de halter som förekommer i trafikmiljön. Det fanns ingen korrelation mellan kolmonoxidhalterna och partikelhalterna. Däremot är samvarierar partikelhalterna mycket väl med antalet tågpassager. Det faktum att 45% av massan av partiklarna med diametrar mindre än 10 µm (PM<sub>10</sub>) är större än 2.5 µm tyder på att de kommer från uppvirvlat damm och/eller från slitage av bromsar, hjul och spår. En annan möjlig källa som föreslagits ge visst bidrag till partikelmassan är kondensation på befintliga partiklar av förångad metall som bildas vid gnisturladdningar.

## Vad betyder resultaten?

En viktig fråga är givetvis hur dessa partiklar kan påverka människors hälsa. Halterna av PM<sub>10</sub> är mycket högre än kommande gränsvärden för omgivningsluft. Dessa gränsvärden baseras bl a på uppskattade hälsoeffekter vid olika haltnivåer som mätts upp centralt i utomhusluft i olika städer.

Det finns idag inga normer för luften tunnelbanan då det gäller icke yrkesverksamma. Härvid kan det vara väsentligt att beakta att de flesta personer vistas relativt kort tid i tunnelbanan men eftersom halten är så hög kan bidraget till den dagliga dosen vara väsentligt. Men det är också viktigt att påpeka att mätningarna genomförts på en enda plats i tunnelbanan. Tidigare studier som beskrivits ovan tyder på stora variationer i halter mellan olika tunnelbanestationer.

Storleken och den kemiska sammansättning av partiklarna kan också ha stor betydelse för eventuell hälsopåverkan. Troligen utgörs massan PM<sub>10</sub> huvudsakligen av partiklar som är större än 1 µm i diameter. Dessa partiklar fastnar till stor del i de övre luftvägarna. Kemiska analyser av partiklarna i tunnelbanan har visat att de till stor del består av järn (AMG, 97-2).

## Förslag till fortsatt arbete för att öka kunskapen

Eventuella fortsatta mätningarna bör inriktas på att ytterligare undersöka:

- halterna på andra platser i tunnelbanan
- partikelstorleksfördelningen
- partiklarnas huvudsakliga källor
- partiklarnas kemiska sammansättning

Genom att jämföra tunnelbanestationer med olika haltnivåer kan man erhålla kunskap om vilka förhållanden som ger upphov till förhöjda nivåer. Detta kan ligga till grund för eventuella åtgärder. Om kemisk sammansättning och partikelstorleksfördelning är densamma överallt kan man anta att det är samma källor som påverkar partikelförekomsten.

Givetvis behövs också kunskap om hur luftkvaliteten i tunnelbanan kan påverka människors hälsa. För denna bedömning kan partikelstorleksfördelningen och den kemiska sammansättningen också vara viktig kunskap.

## Litteraturreferenser

- Pfeiffer, G. D., Harrison, R. M., and Lynam, D. R., 1999. Personal exposures to airborne metals in London taxi drivers and office workers in 1995 and 1996. *The Science of the Total Environment*, 235, 253-260.
- Donaldson K, Brown DM, Mitchell C, Dineva M, Beswick PH, Gilmour P and MacNee W (1997). Free radical activity of PM10: Iron-mediated generation of hydroxyl radicals. *Environ Health Perspect* 105: 1285-1289.
- Sitzmann, B., Kendall, M., Watt, J., and Williams, I., 1999. Characterisation of airborne particles in London by computer-controlled scanning electron microscopy. *The Science of the Total Environment*, 241, 63-73.
- Leksell, I., 1999. Ekonomisk värdering av partikel. Och kväveoxidutsläpp från trafiken. Del 2. Livslängdsförkortning p g a partikelexponering. Diskonteringsproblemet. Tillämpad miljövetenskap, Göteborgs universitet, Box 464, 405 30 Göteborg.
- Westerlund, K.-G., Delredovisning av luftföroreningsundersökningar i Stockholms tunnelbana. Miljö och hälsoskyddsförvaltningen, Tekniska avdelningen, 1983-09-05. Box 38 024, 100 64 Stockholm.
- Li XY, Gilmour PS, Donaldson K and MacNee W (1997). *In vivo* and *in vitro* proinflammatory effects of particulate air pollution (PM10). *Environ Health Perspect* 105: 1279-1283.
- Gilmour P, Brown DM, Beswick PH, Benton E, MacNee W and Donaldson K (1997). Surface free radical activity of PM10 and ultrafine titanium dioxide: A unifying factor in their toxicity? *Ann Occup Hyg* 41: 32-38.
- Miljöförvaltningen, Polyaromatiska föreningar (PAC) i Stockholmsluft 1980 – 1988. Information Luft, Miljöförvaltningen, Box 38 024, 100 64 Stockholm.
- Axelsson, G. Mätning av damm i förarhytt till tunnelbanetåg. Arbetsmiljögruppen i Stockholm. Rapport 95-26. Lilla Nygatan 13, 111 28 Stockholm.
- Axelsson, G. Mätning av damm i tunnelbanan. Arbetsmiljögruppen i Stockholm. Rapport 97-2. Lilla Nygatan 13, 111 28 Stockholm.

Lewné, M. Personburen dammätning på tunneltågsförare. Yrkesmedicinska enheten, Karolinska sjukhuset, Stockholms läns landsting, 171 76 Stockholm (1998-01-16).

Olander, L. och Jansson, A. Tunnlar och hälsorisker. Arbete, Människa, Miljö & Nordisk Ergonomi, 2/97.

Hext, P. M., K.O. Rogers, G.M. Paddle, 1999. The health effects of PM<sub>2.5</sub> (including ultrafine particles). Prepared by Central Toxicology Laboratory: Reviewed for CONCAWE by: M. Evans R. Priston W. Tordoir J. Urbanus Technical Coordinator.



# SLB • analys

Stockholms Luft- och Bulleranalys

är en enhet inom Miljöförvaltningen i Stockholm som

- utreder
- mäter
- beräknar
- informerar

beträffande ljudmiljö och luftkvalitet. SLB-analys genomför även externa uppdrag vad gäller luftkvalitet.

ISSN 1400-0806

Miljöförvaltningen i Stockholm  
Rosenlundsgatan 60. Box 380 24, 100 64 Stockholm  
Tel 08-508 28 800, direkt SLB-analys 08-508 28 880  
<http://www.slb.mf.stockholm.se/miljo>