

SLB Rapport 1:2005

Karakterisering av partikelförekomsten vid Mariatorgets tunnelbanestation



Rapporten är skriven av
Michael Norman¹ & Christer Johansson^{1,2}

I projektet har även följande personer deltagit
Billy Sjövall¹, Karl Westerlund¹, Rolf Ahlinder¹, Gustavo Olivares² och Johan Ström²

¹ SLB-Analys, Miljöförvaltningen, Stockholm

² ITM, Stockholms universitet

Förord

Detta uppdrag är utfört på uppdrag av SL infrateknik AB. Mätningarnas syfte var att karakterisera storleksfördelningen av partikelförekomsten i Stockholms tunnelbana. SL infrateknik har finansierat studien. Samtliga mätningar har utförts av SLB-Analys och samtidigt som ITM vid Stockholms universitet har bidragit med en del av instrumenteringen samt hjälp med konsultation och databearbetning.

Rapporten är sammanställd av Michael Norman och Christer Johansson.
Övriga deltagare har varit Billy Sjövall, Karl Westerlund och Rolf Ahlinder från SLB-Analys vid Miljöförvaltningen samt Gustavo Olivares och Johan Ström från ITM vid Stockholms Universitet.

Stockholm, januari 2005

Michael Norman

SLB-analys

Stockholm Luft- och Bulleranalys

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>

Innehåll

Förord	2
Sammanfattning.....	1
Bakgrund och syfte.....	2
Genomförande	3
Mätplats och mätperiod.....	3
Mätutrustning	3
Resultat från partikelmassa	4
Variation i tiden.....	4
Dygnsvariation	5
Partikelstorleksfördelningen av PM10	6
Genomsnittliga halter	7
Jämförelse med 2001	8
Antal partiklar och storleksfördelning.....	8
Genomsnittliga halter	8
Dygnsvariation	10
Storleksfördelningen av antalet partiklar	11
Jämförelse mellan partikelmassa och partikelantal	11
Jämförelse med mätningar i andra städers tunnelbana.....	14
Varifrån kommer partiklarna?	14
Hälsopåverkan	14
Referenser.....	15

Sammanfattning

Det totala antalet partiklar på perrongen vid Mariatorgets tunnelbanestation var under dagtid vardagar 4000-5000 cm^{-3} vilket var 5-10 gånger lägre än antalet partiklar per cm^3 i gatumiljö under motsvarande period. Till skillnad från partikelmassan domineras antalet partiklar av dem som har en diameter mindre än 120 nm. Dessa partiklar kommer endast till liten del från tunnelbanetågen. Dessa bidrar dessutom inte till halterna av PM10 (massan av partiklar mindre än 10 μm) och PM2.5 (massan av partiklar mindre än 2.5 μm). Mycken liten samvariation fanns mellan antalet ultrafina partiklar (<120nm) och halterna av PM10 och PM2.5, vilket också visar att de ultrafina partiklarna och de grova partiklarna härstammade från olika källor. Däremot uppmättes mycket god samvariation mellan PM10-halterna och antalet partiklar i intervallet mellan 0,42 μm och 10 μm . Varken de allra minsta partiklarna eller de större påverkas av väderförhållanden eller partikelhalterna i utomhusluften.

Jämfört med dagtid uppmättes höga partikelantalskoncentrationer nattetid under vardagar. Dessa partiklar kommer troligen från de dieseldrivna tåg som används för servicearbeten. Dessa partiklar var små (<120nm) och bidrog inte till PM10-halterna. Dessa partiklar ventileras snabbt ut ur tunnelbanan och påverkar inte den allmänna befolkningsexponeringen, som sker främst under dagtid.

Om man ser till storleksfördelningen av partiklarnas massa under dagtid så dominerades den av partiklar med en diameter som är större än 1 μm . Partiklar med en diameter mellan 1 μm till 2.5 μm stod för 50-60 % av den totala uppmätta PM10 massan. När tågtrafiken avstannat försvinner det mesta av partiklarna som är större än 1 μm och den totala PM10-halten domineras istället av partiklar som är mindre än 1 μm . Tågtrafiken ger alltså upphov främst till stora partiklar (större än 1 μm i diameter).

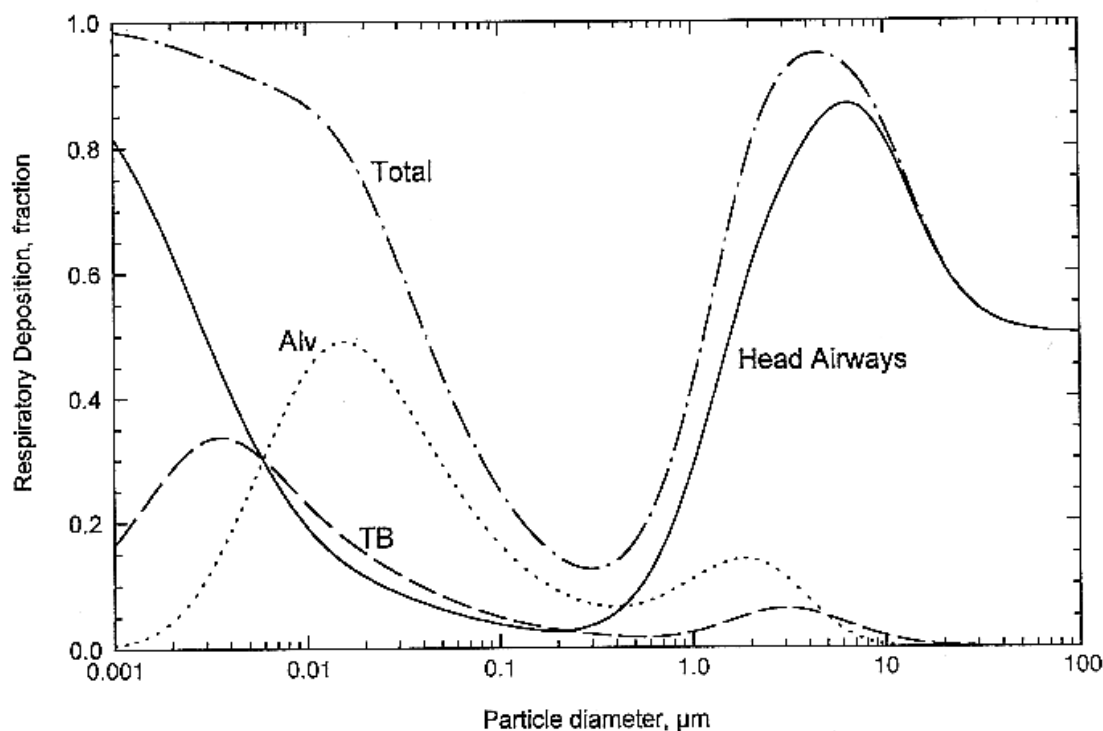
Medelkoncentrationerna av PM10 och PM2.5 som uppmättes på tunnelbaneperrongen under dagtid vardagar var 370 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ för PM10 och 260 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ för PM2.5. Detta var 10 – 20 gånger högre än i gatumiljön på hårt trafikerade gator i Stockholms innerstad. Vid jämförelse med motsvarande mätning under 2001 var PM10-halterna nu i genomsnitt 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ lägre samtidigt som halterna av PM2.5 var oförändrade. Detta skulle kunna bero på att nya tågagnar introducerats, men det kan också finnas andra orsaker.

Om man ser till antalet partiklar mindre än 0.5 μm så innebär en vistelse i tunnelbanan en betydligt mindre exponering än längs hårt trafikerade gator. Däremot innebär en vistelse i tunnelbanan en risk att utsättas för väsentligt förhöjd exponering för grova partiklar (>1 μm). Det är ganska väl dokumenterat att hälsopåverkan av partikelexponering är beroende på både partikelstorleken och den kemiska sammansättningen. I båda dessa avseenden skiljer sig tunnelbaneluften från luften i gatumiljön. Det är därför mycket troligt att hälsopåverkan av partikelexponering i tunnelbanan skiljer sig från den i gatumiljö.

Bakgrund och syfte

Tidigare studier i tunnelbanan i Stockholm har visat på kraftigt förhöjda partikelhalter i tunnelbana jämfört med i trafikmiljö (Johansson m.fl., 2001; Wisell, 2002). Detta gäller främst vid mätningar av PM10 och PM2.5. Nyligen genomförda studier visar att den kemiska sammansättningen av partiklarna skiljer sig markant från partiklar i gatumiljö (Christensson och Ancker, 2004).

Hälsoeffekterna av partikelexponering har visat sig bero på partiklarnas storlek, deras antal, deras massa och deras kemiska sammansättning. Men avsaknaden av tillräckligt mätningar har gjort att det är svårt att bedöma skillnaderna i hälsopåverkan mellan vistelse i tunnelbana och i gatumiljöer.



Figur 1. Andel av partiklarna som deponeras i olika delar av andningsvägarna (från ICRP).

Figur 1 visar andelen av olika partikelstorlekar som deponeras i olika delar av andningsvägarna. Som framgår av figuren är depositionen kraftigt beroende av partikelstorleken. Partiklarna med en diameter som är större än 1 µm fastnar till största delen i de övre luftvägarna ("Head airways"). De som är mindre än 0,1 µm fastnar till största delen i alveolerna ("Alv"). Den totala depositionen har ett markerat minimum runt 0,3 µm. Detta betyder att partiklarnas hälsoeffekter kan vara väldigt olika beroende på partikelstorleken.

Partikelstorleksfördelningen i andningsvägarna i kroppen är dock inte nödvändigtvis exakt densamma som den som rapporteras från våra mätningar i luften då den är beroende av partiklarnas hygrokopiska egenskaper. Ju mer hygrokopiska partiklarna är desto mer vatten tar de upp. De torra partikelstorlekar som mäts i denna studie kan därför vara för små i förhållande till partikelstorleken inne i andningsvägarna där luftfuktigheten är närmare 100%. Tunnelbanepartiklarna är dock troligen inte speciellt benägna att ta upp vatten eftersom de innehåller väldigt små mängder joner. Mätningar på hygrokopiciteten av partiklar ingår inte i denna studie.

Mätningarnas syfte var att karakterisera partikelförekomsten i tunnelbanan i Stockholm med avseende på antalet och storleken av partiklarna. En sådan kartläggning är av stor betydelse både för att bedöma hälsopåverkan och för att förstå partiklarnas ursprung vilket i sin tur är nödvändigt för att kunna vidta eventuella åtgärder för att reducera partikelhalterna.

Genomförande

Mätplats och mätperiod

Mätningarna genomfördes under perioden 10–26 september 2004. Mätningarna utfördes på perrongen till Mariatorgets tunnelbane station på samma plats som tidigare studier (Johansson m.fl. 2001). Instrumentens placering på perrongen framgår även av bilden på rapportens framsida. Mätningarna fick avbrytas i förtid pga av stöld och skadegörelse av mätutrustning. Totalt 6 dagar med kompletta data från alla olika parametrar finns att tillgå. Ytterligare några veckor med mätningar av partikelmassa finns att tillgå.

Mätutrustning

Mätningar av PM10-, PM2.5- och PM1-halterna¹ har gjorts med TEOM (1400) instrument. Funktionen av TEOM är utförligt beskriven i Johansson m.fl. (2001). Under försöket kunde inte PM10 och PM2.5 mätas samtidigt utan fick mätas under separata tidsperioder. PM1 mättes under hela mätperioden.

Antalet partiklar och storleken på partiklarna spänner över flera storleksordningar i diameter. För att kunna mäta partiklar av så varierande storlek utnyttjas information från flera olika sensorer vilka baseras på olika fysikaliska principer. De minsta partiklarna mäts med så kallade CPC'er (Condensation Particle Counter). I dessa kondenseras butanolånga på partiklarna som därefter detekteras då de passerar en laserstråle. Dessa instrument ger det totala antalet partiklar större än en viss diameter. I detta experiment användes två TSI 3010, vilka har en lägsta nominell detektionsgräns på 10 nm. Data från dessa loggas med 1 Hz. En CPC användes för att mäta totala antalet partiklar med diameter mellan 10nm och 10µm. För att erhålla storleksfördelningen användes en så kallad DMPS (Differential Mobility Particle Sizer) som utnyttjar de laddade partiklarnas mobilitet då de rör sig i ett elektriskt fält. Genom att variera den elektriska fältstyrkan kan man välja ut och räkna partiklar i ett smalt storleksintervall, vilka räknas med CPC nr två. Den klassar partiklarna i storleksintervallet mellan 25 till 125 nm uppdelat i 10 storlekklasser. Det tar en minut att mäta en storleksfördelning. Partiklar större än cirka 400 nm räknas och storlekklassificeras med hjälp av en OPC (Optical Particle Counter). Intensiteten av det spridda ljuset från en partikel belyst med en laser inverteras till en storlek med antagande om partikelns optiska egenskaper och form. Instrumentet som används i detta experimentet, klassar partiklarna i olika storleksintervall upp till 6 µm uppdelat i 15 storlekklasser. Genom att kombinera CPC, DMPS och OPC kan en storleksfördelning för partiklar med diametrar mellan 10 och 6 000 nm åstadkommas. Det bör dock påpekas att arbetsmetoderna för de olika instrumenten bygger på olika fysikaliska principer. Tyvärr visade det sig att storleksfördelningsmätningarna med OPC'n inte kunde användas på grund av mycket kraftig ljusabsorption av järnoxidpartiklar. Däremot kan antalskoncentrationen av partiklar större än 420 nm erhållas från OPC'n.

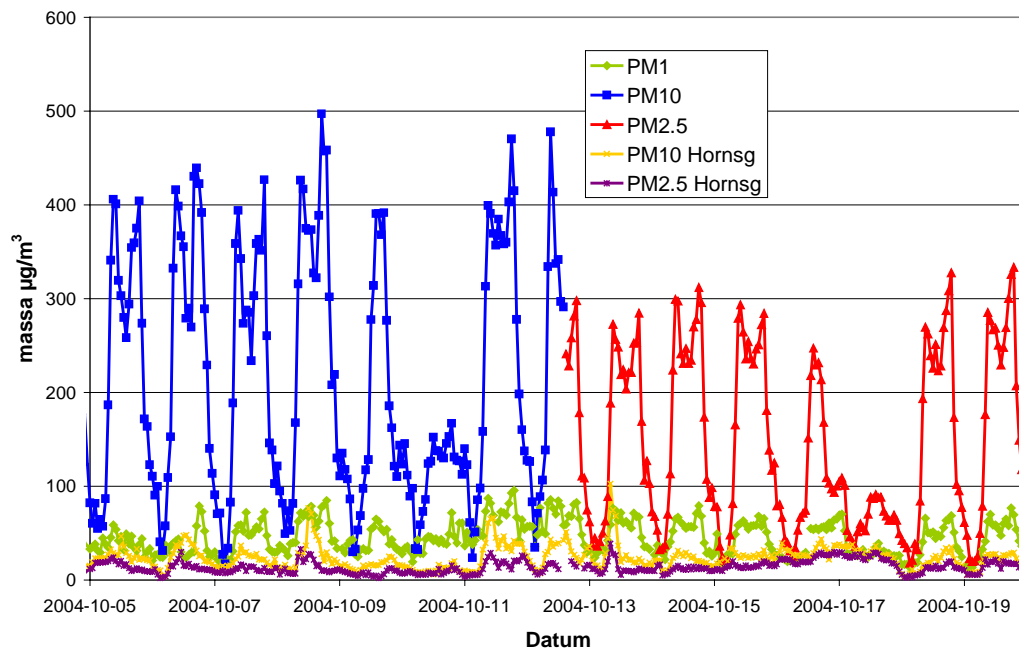
Resultaten från mätningarna i tunnelbanan har jämförts med mätningar i gatunivå i Stockholm. Det fasta mätprogrammet för luftföroreningar och meteorologi finns beskrivet på SLB's hemsida där även luftföroreningshalterna finns presenterade i årsrapporter (www.slb.nu).

¹ Med PM10, PM2.5 respektive PM1 avses masskoncentrationen ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) av alla partiklar med en diameter mindre än 10 µm, 2,5 µm respektive 1 µm. (1 µm = en tusendels millimeter)

Resultat från partikelmassa

Variation i tiden

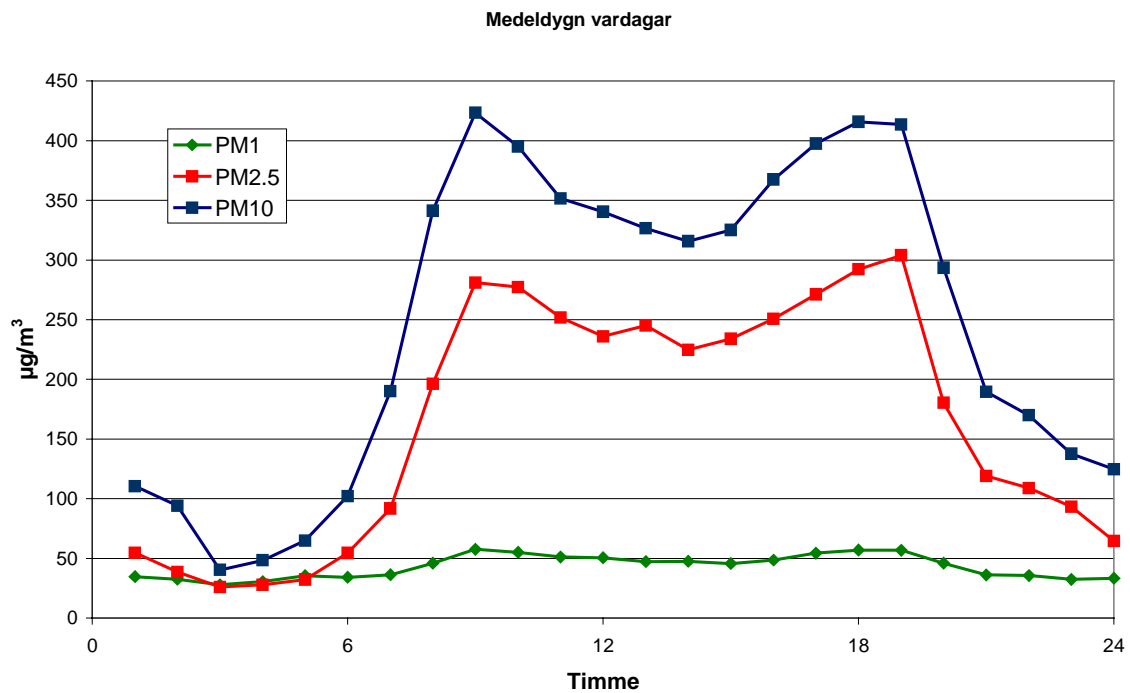
En tidserie med timmedelvärden av PM10-, PM2.5- och PM1-halterna från Mariatorgets perrong visas i Figur 2. En tydlig dygnsvariation kan observeras i PM10 och PM2.5 med högsta halterna under morgon- och eftermiddagsrusningen. Dygnsvariationen i PM1-halterna är betydligt mindre. Under lördagar (9:e och 16:e september) är de maximala koncentrationerna jämförbara med vardagarna, däremot är halterna betydligt lägre under söndagarna (10:e och 17:e september). Under vardagarna översteg PM10 halterna $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$ och PM2.5 halterna $250 \mu\text{g}/\text{m}^3$ samtidigt som PM1 aldrig översteg $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Som jämförelse visas i figuren även samtida mätningar av PM10- och PM2.5-halterna på Hornsgatan. Halterna i tunnelbanan var betydligt högre än på Hornsgatan både för PM10 och för PM2.5. Halterna på Mariatorgets perrong visar på en stor regelbundenhet under veckodagarna till skillnad från mätningarna på Hornsgatan. Tidsvariationen av halterna i gaturummet på Hornsgatan hänger samman med variation i meteorologiska förhållandena såsom vägbanans fuktighet, vindhastighet, vindriktning, luften ursprung samt trafikflödet. Detta visar på ett mycket litet inflytande från utomhusluften på halterna i tunnelbanan.



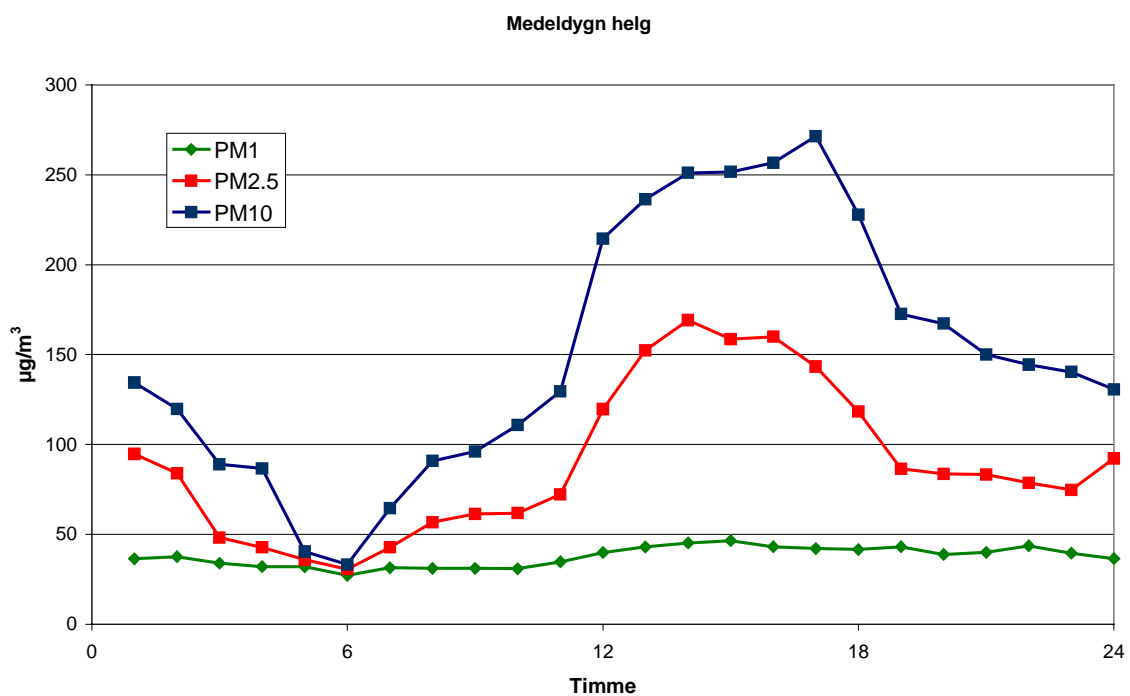
Figur 2. Exempel på tidserie från mätningarna av partikelmassa med TEOM.

Dygnsvariation

Den genomsnittliga dygnsvariationen för vardagar framgår av Figur 3 och för helgdagar (lördagar och söndagar) i Figur 4. Under vardagarna syns två toppar i halterna, en på morgonen och en på eftermiddagen, medan helgdagarna endast har ett maximum under eftermiddagen. PM1-halterna uppvisar en dygnvariation som är betydligt mindre än för PM10 och PM2.5, men följer i huvudsak samma mönster. Under nätterna sjunker halterna av PM10 och PM2.5 kraftigt samtidigt som PM1-halterna endast sjunker lite och i genomsnitt inte understiger 30 µg/m³.



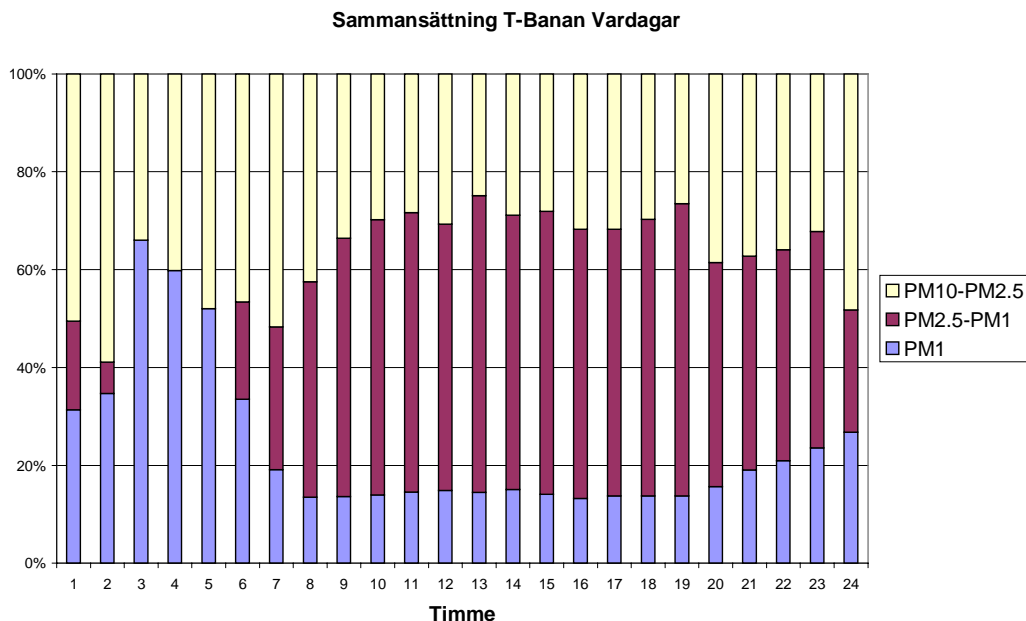
Figur 3. Medelvärdet för PM10, PM2.5 och PM1 för mätningar gjorda under vardagar.



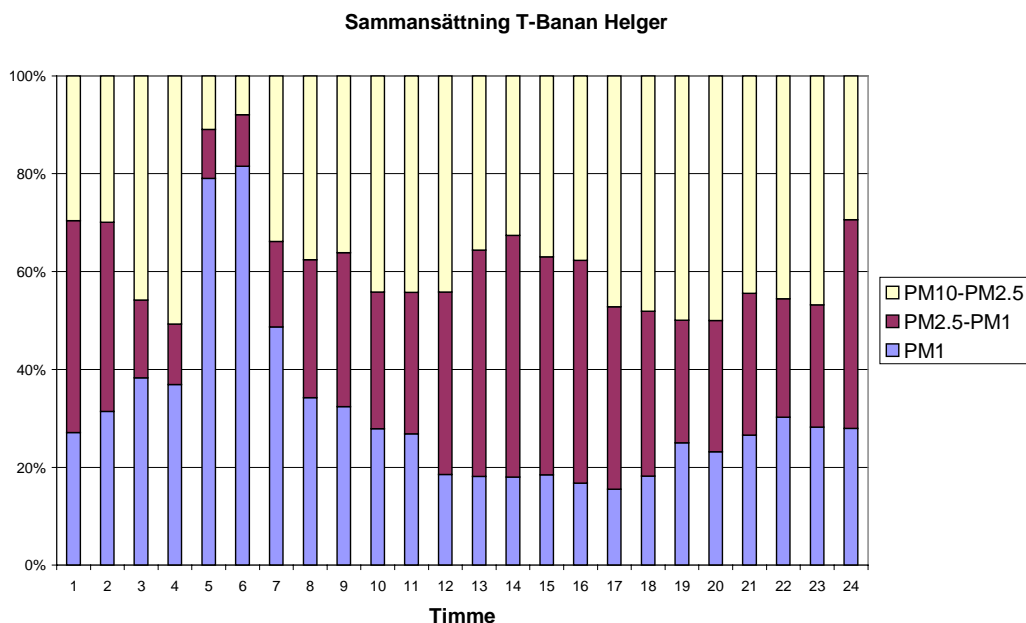
Figur 4. Medelvärdet för PM10, PM2.5 och PM1 för mätningar gjorda under lördagar och söndagar.

Partikelstorleksfördelningen av PM10

Fördelningen partikelhalterna mellan PM10, PM2.5 och PM1 visas i Figur 5 för vardagar. Under dagarna domineras PM10-halterna av partiklar med en diameter mellan 1 µm och 2.5 µm. Dessa utgör 50-60 % av den totalt uppmätta PM10 massan. Partiklar som är mindre än 1 µm stod för ca 15 % och partiklar mellan 2.5 och 10µm stod för ca 25-35 % av den totala PM10-halten. Natttid förändras fördelningen kraftigt. När tågtrafiken avstannat försvinner partiklarna mellan 1-2.5 µm och den totala PM10-halten domineras istället av partiklar som är mindre än 1 µm (ca 60 % av totala halten). Notera dock att PM10-halterna natttid är väsentligt lägre än dagtid. Fördelningen under helgerna visas i Figur 6. Under dagtid utgörs en större del av PM10-halten av partiklar mellan 2.5-10 µm än dagtid på vardagarna och natttid står partiklarna mindre än 1 µm för upp emot 80 % av PM10 massan.



Figur 5. Medelvärdet för fördelningen av den totalt uppmätta massan mellan PM10, PM2.5 och PM1 under vardagsdygn.



Figur 6. Medelvärdet för fördelningen av den totalt uppmätta massan mellan PM10, PM2.5 och PM1 under helgdygn.

Genomsnittliga halter

De genomsnittliga PM10-, PM2.5 och PM1-halterna samt maximala och minimala timmedelvärden för hela mätperioden framgår av Tabell 1-3. Under vardagar och lördagar mellan kl. 7 och 19 är halterna för PM10 och PM2.5 i tunnelbanan mer än 10 gånger högre än halterna på Hornsgatan för motsvarande period. Skillnaden är något mindre nattetid och för söndagar, vilket till största del är orsakat av att trafikflödet på Hornsgatan inte minskar i samma omfattning som tunnelbanetraffiken under nätter och söndagar. Värdena för PM10 kan jämföras med gällande miljö kvalitetsnorm för PM10 i omgivningsluft som är 40 µg/m³ (räknat som årsmedelvärde). Men normen gäller inte i tunnelbanan.

Tabell 1. Sammanfattning av PM10-halterna. Min- och maxvärdena avser timmedelvärden. Värdena i enheten µg/m³.

	Mätplats	Medel	Min	Max	Totala antalet timmar
Vardag kl. 07-19	Mariatorget	367.1	160.1	497.1	233
	Hornsgatan	28.0	7.6	102.6	292
Vardag kl. 00-05	Mariatorget	70.6	16.9	244.3	95
	Hornsgatan	11.2	2.6	23.3	115
Lördag kl. 07-19	Mariatorget	242.6	68.4	392.6	38
	Hornsgatan	19.3	5.4	43.5	60
Söndag kl. 07-19	Mariatorget	134.1	72.9	191.7	36
	Hornsgatan	19.2	5.7	38.6	48
Helgdag kl. 00-05	Mariatorget	94.0	29.9	153.45	35
	Hornsgatan	22.6	6.8	52.2	45

Tabell 2. Sammanfattning av PM2.5 halterna. Min- och maxvärdena avser timmedelvärden. Värdena i enheten µg/m³.

	Mätplats	Medel	Min	Max	Totala antalet timmar
Vardag kl. 07-19	Mariatorget	255.6	165.6	333.6	66
	Hornsgatan	14.1	3.0	47.5	287
Vardag kl. 00-05	Mariatorget	35.9	17.8	77.8	30
	Hornsgatan	7.5	0.9	18.8	115
Lördag kl. 07-19	Mariatorget	152.8	53.3	247.3	12
	Hornsgatan	10.6	1.8	29.0	60
Söndag kl. 07-19	Mariatorget	73.8	52.3	91.1	12
	Hornsgatan	12.4	3.9	29.3	48
Helgdag kl. 00-05	Mariatorget	61.1	30.7	108.8	10
	Hornsgatan	14.8	4.3	35.8	45

Tabell 3. Sammanfattning av PM1 halterna. Min- och maxvärdena avser timmedelvärden. Värdena är i enheten µg/m³.

	Medel	Min	Max	Totala antalet timmar
Vardag kl. 07-19	51.4	22.4	95.5	294
Vardag kl. 00-05	32.2	11.7	76.8	125
Lördag kl. 07-19	42.8	20.2	65.0	48
Söndag kl. 07-19	35.7	21.4	71.6	48
Helgdag kl. 00-05	34.4	18.3	70.4	45

Jämförelse med 2001

Motsvarande mätningar av PM10- och PM2.5-halterna gjordes i januari och februari 2001 på samma plats och är redovisade i Johansson m.fl. (2001). De nu uppmätta halterna under dagtid både för vardagar och helger är mer än $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ lägre än motsvarande resultat från 2001 och är statistiskt signifikant (95 % konfidens intervall). De maximala halterna var mer än $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ lägre under dagtid än för mätningen 2001. För PM2.5 observerades däremot ingen statistisk signifikant skillnad från mätningarna 2001 bortsett från en minskning dagtid söndagar. Orsaken till skillnaden i PM10 mellan mätningarna 2001 och 2004 är inte klarlagd, men kan bero på införande av en ny vagnstyp i tunnelbanetrafiken.

Antal partiklar och storleksfördelning

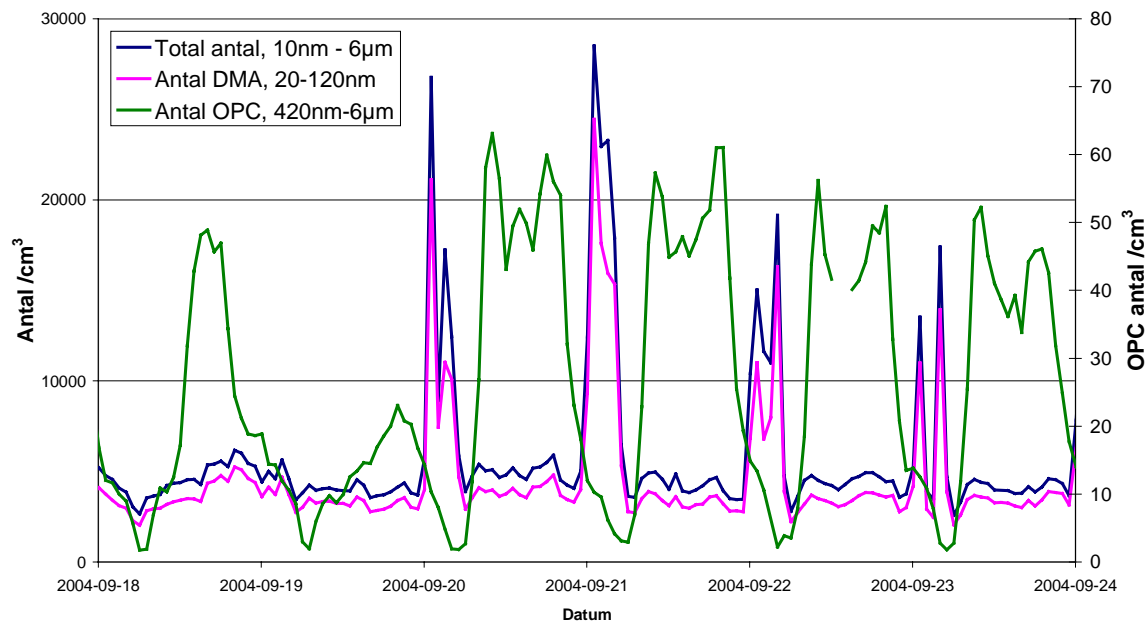
Genomsnittliga halter

Totala antalet partiklar var under långa perioder relativt konstant, Figur 7. Dock observerades kraftiga toppar nattetid under vardagarna. En sammanställning av partikel halterna under den aktuella perioden redovisas i Tabell 4. Under dagtid på vardagar uppmättes antalet partiklar till ungefär 4500 cm^{-3} . Under vardagsnätterna ökade antal partiklar i tunnelbanan till uppemot 20000 cm^{-3} som timmedelvärde (nästan 40000 cm^{-3} som max värde för 15 min medelvärde).

Orsaken till de höga partikelantalen nattetid torde vara dieseldrivna tåg som trafikerar tunnarna nattetid. Topparna i partikelkoncentrationerna försvinner snabbt vilket tydligt syns under natten den 22 september då två toppar återfinns. Koncentrationerna nattetid har alltså ingen influens på koncentrationerna dagtid.

I Figur 7 visas även summan av antalet partiklar med en diameter mellan 20-120 nm (nedan benämnt ultrafina partiklar) och även totala antalet partiklar med diameter över 420 nm. Totala antalet ultrafina partiklar följer det totala uppmätta antalet under hela mätperioden. Endast en liten andel partiklar är alltså större än 120 nm och ganska få är också mindre än 20 nm. Den minsta storleken som kunde detekteras var dock 10 nm.

Antalet partiklar större än 420 nm är betydligt lägre och varierar mellan $2-65 \text{ cm}^{-3}$ och de bidrar med en försumbar andel till det totala partikelantalet. Dessa större partiklar följer ett helt annat mönster än de ultrafina partiklarna med högsta antalet under dagarna och låga halter nattetid då det totala antalet partiklar var som högst. Avsaknaden av samvariation mellan de ultrafina och de större partiklarna visar att de kommer från olika källor.



Figur 7. Tidsserie över antalet partiklar. Värdena är timmedelvärden i antal /cm³. Den 18 och 19 september är en lördag respektive en söndag.

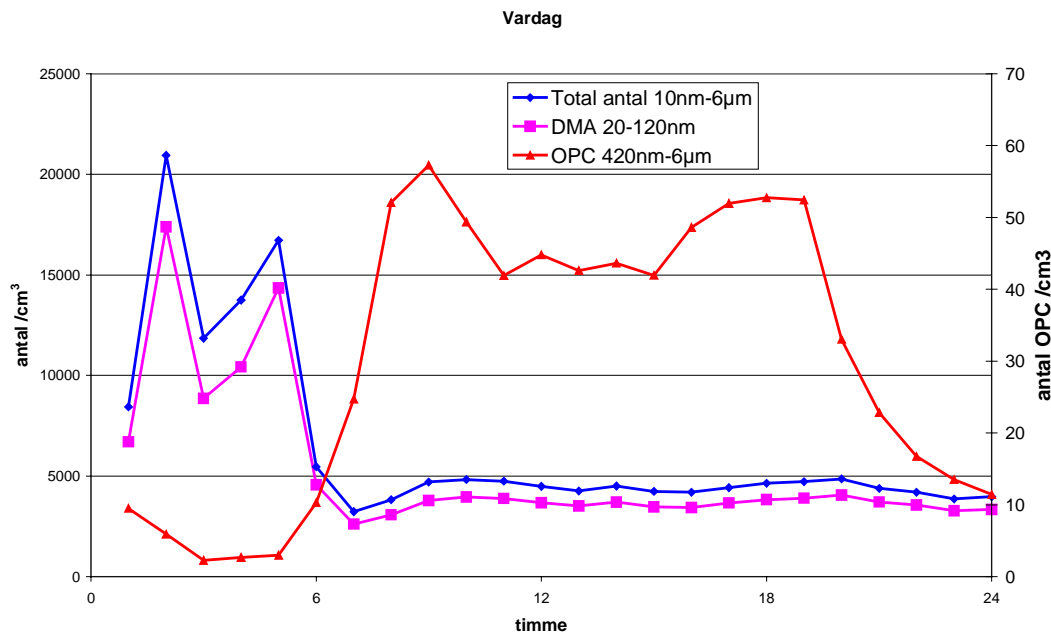
Tabell 4. Sammanfattning av antalet partiklar. Min- och maxvärdena avser timmedelvärden. Värdena är angivna i antal per cm³.

		Total antal 10nm-6µm				OPC 420nm – 6µm			
		Medel	Min	Max	Antal timmar	Medel	Min	Max	Antal timmar
Vardag kl. 07-19	Mariatorget	4500	3800	5900	48	46.0	19.5	62.5	47
	Hornsgatan	19800	6000	61300	24				
Vardag kl. 00-05	Mariatorget	13800	3500	28500	20	0.4	0.2	1.3	20
	Hornsgatan	31300	12500	68900	50				
Lördag kl. 07-19	Mariatorget	4600	3600	5600	12	29.9	7.5	48.8	12
	Hornsgatan	11400	4000	22200	12				
Söndag kl. 07-19	Mariatorget	4000	3500	4500	12	12.9	6.3	20.1	12
	Hornsgatan								
Helgdag kl. 00-05	Mariatorget	4400	3000	5600	10	10.6	5.3	14.3	10
	Hornsgatan	5100	4500	6900	50				

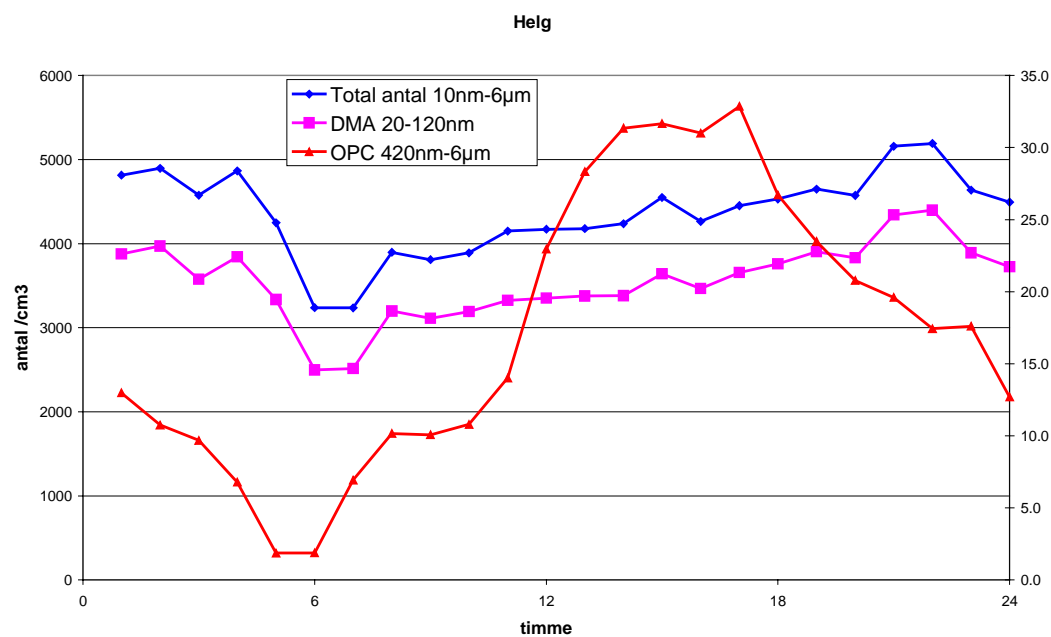
I Tabell 4 finns även en jämförelse med totalantalet partiklar som är uppmätt på Hornsgatan under motsvarande period. Under dagtid på vardagar kan Mariatorgets totalantal på 4500 cm⁻³ jämföras med de på Hornsgatan som under samma period var 20000 cm⁻³. I motsats till PM10-halterna var alltså halterna av antalet partiklar mycket lägre i tunnelbanan än i intensivt trafikerad gatumuljö. För antalet partiklar kunde i likhet med PM10 ingen samvariation med utomhus halterna konstateras.

Dygnsvariation

Den genomsnittliga dygnsvariationen för partikelantalet under vardagar visas i Figur 8. Av figuren framgår stora skillnader i variationen av totalantalet partiklar och antalet större partiklar. Natttid observeras höga halter. Under helgerna (Figur 9) syns ett tydligare minimum under morgontimmarna, men partikelantalet understiger inte 3000 cm^{-3} , vilket verkar bildar en bakgrunds nivå. Ingen tydlig skillnad i koncentrationerna dagtid mellan vardag och helg kan observeras, vilket även framgår av Tabell 4. Halterna av de större partiklarna visar ett tydligt minimum under sena natten både under vardagar och under helger. Halterna av partiklar större än 420 nm var lägre under helgerna, vilket även framgår av Tabell 4, samtidigt som de var högre under helgnätterna än under vardagsnätterna.



Figur 8. Medelvärdet för totalantalet partiklar under alla mätningar gjorda under vardagar.

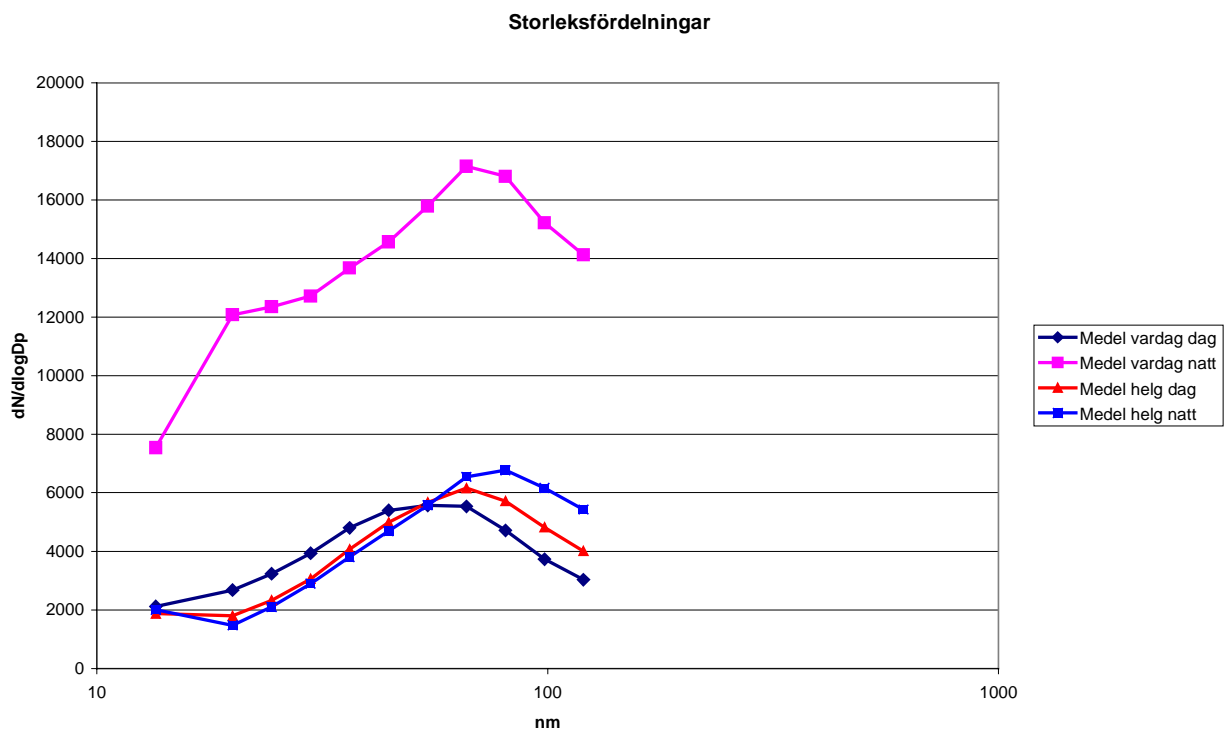


Figur 9. Antalet partiklar i genomsnitt under ett helgdyn.

Storleksfördelningen av antalet partiklar

Storleksfördelningen för de ultrafina partiklarna i intervallet 10–120nm visas i Figur 10. Värdena är medelvärden för dagar respektive nätter uppdelat på vardagar och helger. Det största antalet partiklar under mätperioden har en diameter på mellan 60 och 80 nm. Detta maximum återfanns under samtliga mätperioder trots att det absoluta partikelantalet varierade stort mellan nätter och dagar under vardagsdygnet. De små variationerna i storleksfördelningen antyder att de ultrafina partiklarna för samtliga perioder i huvudsak härstammade från samma källa/källor. Partiklarna under vardags nätterna är som tidigare nämnts orsakade av dieseldrivna tåg som trafikerar tunneln. Dieselmotorer har i andra studier visat sig producera en storleksfördelning med maximala halter vid 60-80 nm (Vogt m.fl., 2003). Inga dieseldrivna tåg trafikerar tunnelbanan dagtid. Ursprunget för dessa partiklar under dagtid är okänt.

Partiklarna från svetslågor har en liknande storleksfördelning med maxima runt 60 nm (Hurley m.fl. 2003). Vid tunnelbanetågens kontakt med strömskenan bildas ofta elektriska urladdningar som kan liknas vid en svetslåga och skulle då kunna vara en källan för partiklarna 60-80nm under dagarna. Men mot detta talar att halterna av antalet partiklar under vardagar och helger (dagtid) är ungefär lika höga trots att antalet tågpassager är mycket färre under vardagar.



Figur 10. Medelvärdet av storlek och antals fördelningar för partiklar 10-120 nm.

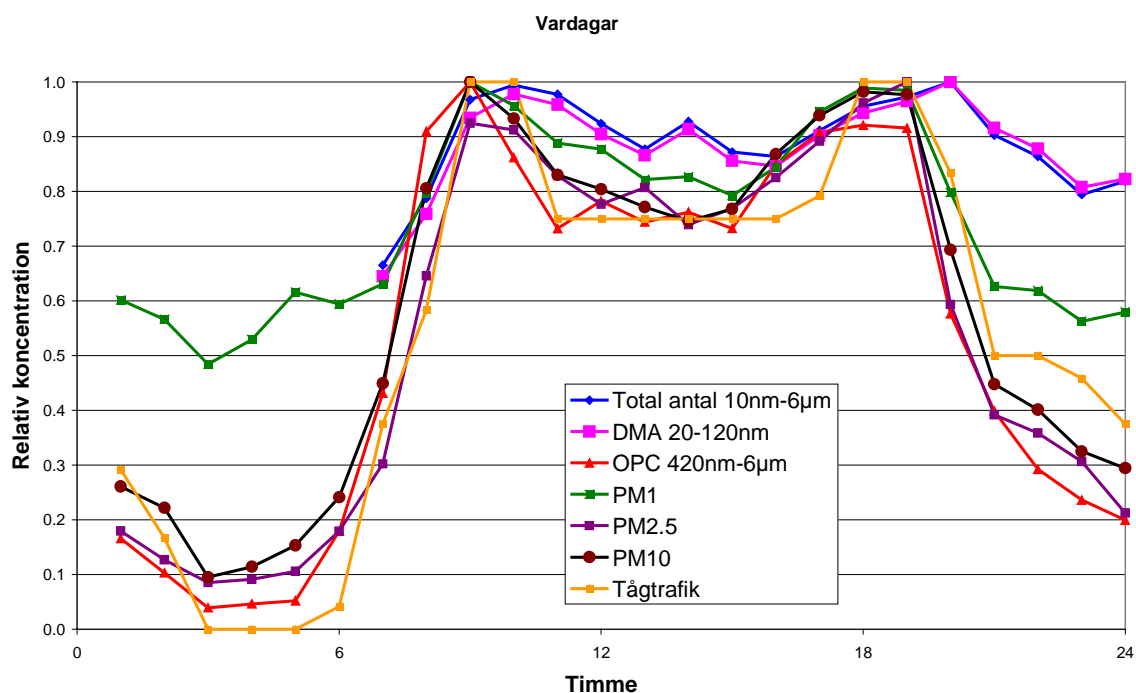
Jämförelse mellan partikelmassa och partikelantal

En direkt jämförelse mellan partikelhalter mätt som partikelmassa och partikelantal i olika storleksintervall görs i Figur 11 och Figur 12 för vardagsdygn samt lördagar. Samtliga data serier i figureerna är normerade till dygnets maximala halter. För vardagar är de höga halterna nattetid borttagna.

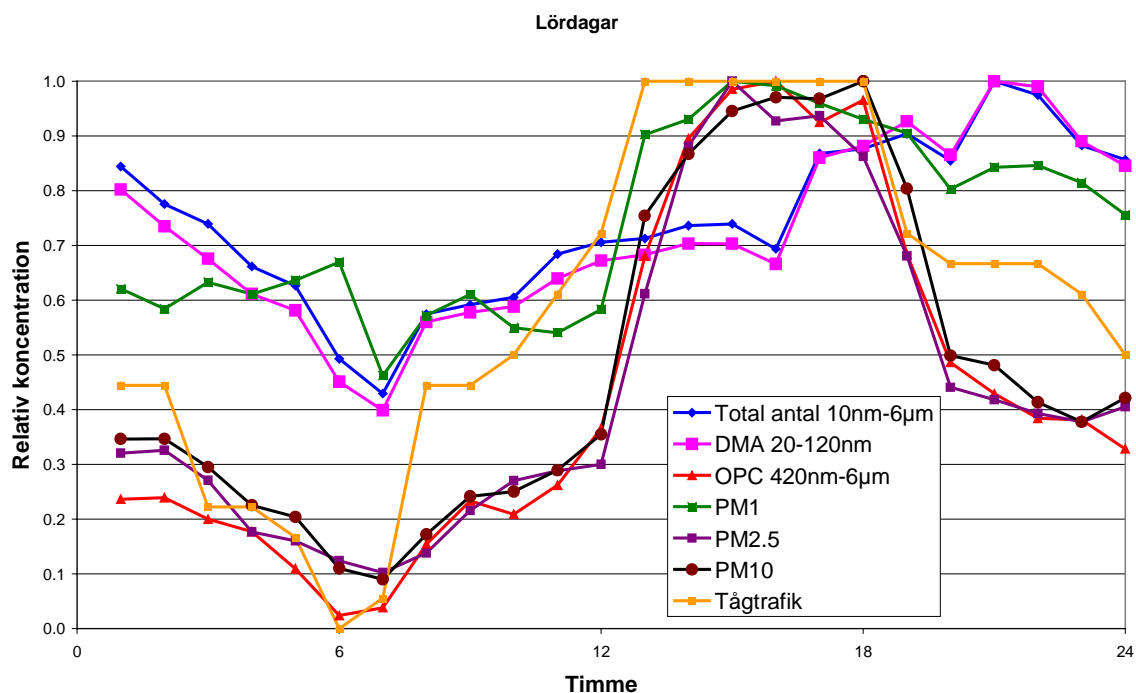
För PM₁, PM_{2.5}, PM₁₀ och antalet partiklar med en diameter >420nm uppmättes de högsta halterna på vardagarna under morgon- och eftermiddagsrusningen. Dessa halter har också mycket hög korrelation med tunnelbanans trafikintensitet förbi Mariatorget. Under helgerna uppmättes maximala

halter under eftermiddagen för motsvarande mätserier med stor samvariation. Halterna av totala antalet partiklar och även halterna av de ultrafina partiklarna uppvisade däremot ett annorlunda beteende med maximala halter under kvällen för helgdygnen. Men under vardagsdygnen noteras en viss samvariation med övriga serier. För samtliga dygn följer halterna av PM10, PM2.5 och partiklar >420nm i stort sett variationerna i tågtrafiken, vilket indikerar att källan till alla dessa partiklar har att göra med tågen. PM1-halterna verkar vara influerad av både de mindre och större partiklarna. Under dagarna med intensiv tågtrafik är samvariationen med PM2.5 och PM10 stor, men under nätterna uppvisar PM1 en större överensstämmelse med totalantalet partiklar. Partiklar som är mindre än 1 µm kommer alltså från två olika källor.

Utifrån den uppmätta storleksfördelningen i Figur 10 beräknades massan av de ultrafina partiklarna och jämfördes med massfördelningen uppmätt med TEOM. En densitet på 5 g/cm³ användes i enlighet med Christensson och Ancker (2004) som visade att partiklarna i tunnelbanan till största delen består av järnoxider. Beräkningen gav att under dagtid på vardagar så bidrog partiklarna i intervallet 10–120nm med mindre än 10 % till massan i de totala PM1-halterna. Under vardagsnätterna var motsvarande bidrag >50%. Under vardagsnätterna (vilket inte har studerats av Christensson och Ancker 2004) var densiteten förmodligen betydligt lägre då sammansättningen förmodligen till större del bestod av dieselpartiklar (dessa har en densitet på mindre än 1 g/cm³). Resultatet visar att det stora antalet ultrafina partiklar endast har en mycket liten inverkan på PM10-, PM2.5- och PM1-halterna under dagtid i tunnelbanan.

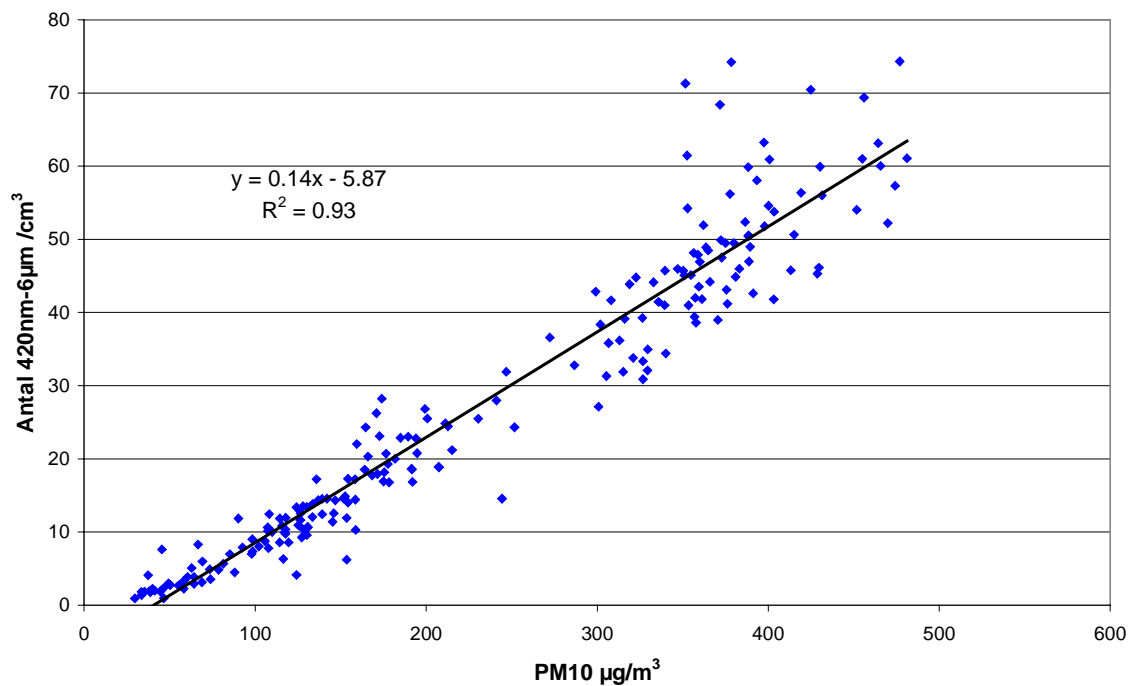


Figur 11. Relativa fördelningen av antalet partiklar och partikel massa i medeltal under ett vardagsdygn. Alla mätserier är normerade med dygnets maximala värde. För totalantalet partiklar och de ultrafina är värdena för nattetid borttagna.



Figur 12. Relativa fördelningen av antalet partiklar och partikel massa i medeltal under lördagar. Alla mätserier är normerade med dygnets maximala värde.

En direkt jämförelse mellan timmedelvärden för PM10 och antalet partiklar >420nm visas i Figur 13. Denna visar på ett tydligt linjärt samband och betyder att PM10-halterna (och även PM2.5-halterna vilka samvarierar med PM10) orsakas av partiklarna större 420 nm trots att dessa till antalet endast är mindre än 1 % av det totala antalet partiklar.



Figur 13. Jämförelse mellan PM10 och antalet partiklar större än 420 nm.

Jämförelse med mätningar i andra städers tunnelbana

I London har framförallt massan av partiklar i tunnelbane miljöer studerats. Endast ett fåtal studier i har även samtidigt studerat antalet partiklar och storleksfördelningen av partiklarna.

Samtliga studier från Londons tunnelbana visar på högre halter av PM10 och PM2.5 (Hurley m.fl. 2003, Sitzmann m.fl. 1999, Priest m.fl.) än vad som framkommit av denna studie. I studien av Hurley m.fl. (2003) mättes även antalet partiklar vilket visade på halter som varierade mellan 14000-29000 cm⁻³ på tre olika stationer vilket i genomsnitt är en faktor 4 högre än våra mätningar på Mariatorget. Mätningarna i London visade inte heller på någon större dygnvariation i partikelantalet. Storleksfördelningen mättes av Hurley m.fl. (2003) med elektronmikroskop vilket inte är direkt jämförbart med våra mätningar. Majoriteten av partiklarna hade diameter på cirka 150nm vilket är större än på Mariatorgets perrong.

Även Sitzmann m.fl. (1999) konstaterade att det maximala antalet partiklar var mindre än 0.4 µm i Londons tunnelbana. Både Sitzmann m.fl. och Hurley m.fl. uppmätte partikel halter som var lägre i tunnelbanan än i gatumiljö, men att skillnaden var mindre (ca en faktor två) än i Stockholms tunnelbana. Sitzmann m.fl. konstaterades däremot att det fanns betydligt fler större partiklar i tunnelbanan än i gatumiljö.

Vid mätningar i Washingtons tunnelbana av Birenzvig m.fl. (2003) mättes antalet och storleksfördelning av partiklarna med storlek större än 0.5 µm. Alla de uppmätta partiklarna visade på ett tydlig samvariation med tågtrafiken precis som i Stockholm. Det totala antalet partiklar större än 1 µm var en faktor 2-5 högre än de uppmätta i halterna i denna studie. Storleksfördelningen visade att de största antalet partiklar fanns i deras minsta storleksklasser (0.5 µm) vilket är i enlighet med denna studie.

Varifrån kommer partiklarna?

Studien visar på stora skillnader i uppträdande mellan de ultrafina partiklarna mindre än 120nm och partiklarna som är större än 420nm. Detta visar på att dessa båda storleksfraktioner härrör från olika, oberoende källor. Studien visar även tydligt att antalet större partiklar samt PM10- och PM2.5-halterna har ett tydligt samband med frekvensen av tunnelbanetåg vid Mariatorget. Slitage från hjul och bromsar är de troligaste källorna för de grova partiklarna (se även Johansson, 2004).

Under vardags nätterna orsakade dieseldrivna tåg höga koncentrationer av ultrafina partiklar. Storleksfördelning för de ultrafina partiklarna varierade mycket lite mellan olika tider på dygnet. Källan till de ultrafina partiklarna under dagtid är okänd. Ingen samvariation med partikelantalet i utomhusluften har kunnat hittas vilket visar att det förmodligen inte är partiklar från gaturummen som via ventilation har tagit sig ner i tunnelbanan. Eventuellt skulle de till viss del kunna vara orsakade av metaller som förångats vid de höga temperaturer som kan uppkomma vid elektriska urladdningar i kontakten mellan tågens strömskor och strömskenan, men detta motsägs av att halterna inte skiljer sig speciellt mycket mellan vardagar och helger, vilket ju däremot antalet tågpassager gör.

Hälsopåverkan

Denna studie visar på stora skillnader i förekomsten av partiklar i tunnelbanan jämfört med hårt trafikerade gator. Enligt ICRP (Figur 1) är deponeringen av partiklar i andningsvägarna starkt beroende av partikelstorleken. Partiklarna i tunnelbanan kommer främst att deponeras i de övre luftvägarna till skillnad från partiklar i gatumiljö som i större utsträckning kommer att deponeras i alveolerna. Det är därför mycket troligt att hälsopåverkan av partikelexponering kommer att skilja sig avsevärt mellan luften i tunnelbanan och i gatumiljöer.

Referenser

Birenzvige A., Eversole J., Seaver M., Francesconi S., Valdes E., och Kulaga H., 2003, Aerosol Characteristics in a subway environment, *Aerosol Science and Technology*, vol. 37, 210-220.

Christensson B. Och Ancker K., 2004, Luftburna partiklars sammansättning, SL Infrateknik AB.

Hurley F., Cherrie J., Donaldson K., Seaton A., och Tran L. 2003, Assessment of health effects of long-term occupational exposure to tunnel dust in the London underground, Research Report TM/02/04, Institute of occupational medicine.

ICRP, International Commission on Radiological Protection, 1994. Human Respiratory Tract Model for Radiological Protection. Pergamon Press, Oxford ICRP Publication 66.

Johansson m.fl. 2001. Partikelhalter i Stockholms tunnelbana, SLB-analys rapport nr 2:2001. Miljöförvaltningen, Stockholm, Box 38 024, 100 64 Stockholm.

Johansson C., 2004. Källbidrag till partikelhalterna i tunnelbanan. SLB-analys, Miljöförvaltningen, Stockholm, Box 38 024, 100 64 Stockholm.

Priest N. D., Burns G. och Gorbunov B., Dust levels on the London underground: A health hazard to commuters. Urban Pollution Center, London N11 2NQ.

Sitzmann B., Kendall M., Watt J., och Williams I., 1999. Characterisation of airborne particles in London by computer-controlled scanning electron microscopy. *The science of the total environment*, vol. 241, s 63-73.

Vogt R. M.fl., 2003 On-Road Measurement of Particle Emission in the Exhaust Plume of a Diesel Passenger Car *Environ. Sci. Technol.*, 37,4070-4076

Wisell T., 2002, Halter av partiklar i Stockholms tunnelbaneluft: Mätning av PM10 och PM1, SL Infrateknik.



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>