

Ombordmätningar av partiklar och koldioxid i X60B förarhytter

Sanna Silvergren, Ulf Olofsson, Martin Andersson, Yezhe Lyu, Michael Norman, Gonzalo Garcia Sanchez, Billy Sjövall, Minghui Tu



Utfört på uppdrag av SL i samarbete med KTH

Innehållsförteckning

Förord	4
Sammanfattning	5
Inledning	7
Syfte	7
Mätningar	8
Mätplatser	9
Gränsvärden	11
Partiklar, PM10 i utomhusluft	11
Partiklar, PM2.5 i utomhusluft	11
Partiklar, arbetsmiljögränsvärden	12
Resultat	13
Partikelhalt Arlanda Central	13
Partikelhalter i tågförarens hytt	13
Partikelhalter i förarhytten där tågvärden vistas	14
Filtrets effektivitet	16
Koldioxidhalt vid normal ventilation	17
Halter vid tunnel mode ventilation	18
Halter vid avstängd ventilation	19
Slutsatser från mätningar och generella råd	21
Referenser	22

Förord

Denna utredning är genomförd på uppdrag SL av SLB-analys vid Miljöförvaltningen i Stockholm samt Kungliga Tekniska Högskolan, KTH. Rapporten har sammanställts av Sanna Silvergren och Ulf Olofsson. Martin Andersson, Yezhe Lyu, Michael Norman, Gonzalo Garcia Sanchez, Billy Sjövall och Minghui Tu har även bidragit till genomförandet av mätningarna och Sebastian Bergström bidrog vid dataanalysen.

Beställare vid SL var Jan Andersson, som tillsammans med Michael Norman (SLB-analys) Jon Malmström, Jon Kjellin granskat rapporten och bidragit med värdefulla synpunkter.

Uppdragsnummer:	2017099
Daterad:	2017-03-01
Handläggare:	Sanna Silvergren
Status:	Granskad



Miljöförvaltningen i Stockholm
Box 8136
104 20 Stockholm
www.slb.nu

Sammanfattning

Syfte

Målsättningen med denna studie var dels att säkerställa att tågpersonalen inte utsätts för höga halter av partiklar i sitt arbete på X60B fordon som trafikerar Arlanda. Syftet var även att ta fram ett förhållande mellan partikelnivåerna i tunnelmiljö och ombord på pendeltågsfordon av typ X60B i förarhytterna för att avgöra ventilationsfiltrets kapacitet. Kunskapen om filtreringseffektiviteten är värdefull både för X60B-fordon som trafikerar Arlandasträckan idag men även för de som kommer att trafikera Citybanan, en cirka 6 km lång järnvägstunnel som öppnar senare under 2017.

Mätningar

Mätningarna har innefattat partiklar (PM₁₀, PM_{2,5}, PM₁) samt koldioxid (CO₂) och genomfördes mellan 28 november 2016 och 2 december 2016. Partikelmätningarna var lokaliserade till fyra olika platser, inne i tågförarens och tågvärdens förarhytter, utanför tåget vid förarens hytt samt på plattformen vid Arlanda Central, som är belägen i en cirka 5 km lång järnvägstunnel. Koldioxidmätningar gjordes enbart i förarhytterna.

Gränsvärden

Det finns dels gränsvärden, miljö kvalitetsnormer, för partiklar i utomhusluft och dels finns det gränsvärden för arbetsmiljöer. Gränsvärdena för utomhusluft är långt mer strikta än de som gäller i arbetsmiljö. Miljö kvalitetsnormer gäller varken för arbetsplatser eller väg- och tunnelbanetunnlar. Det är dock mått att förhålla sig till i nedanstående redogörelse. Utomhus får inte årsmedelhalterna av PM₁₀ (partiklar mindre än 10 µm i diameter) samt PM_{2,5} (partiklar mindre än 2,5 µm i diameter) överstiga 40 respektive 25 µg/m³. För PM₁₀ får dygnsmedelhalten överstiga 50 µg/m³ maximalt 35 dygn varje år.

I arbetet finns bland annat gränsvärdena av PM₁₀ 5000 µg/m³ oorganiskt damm samt 3500 µg/m³ järnoxid. Dessa är de ämnen som bäst motsvarar järnvägspartiklarna. Gränsvärdet är angivet som 8-timmars medelvärden, motsvarande en arbetsdag.

De viktigaste slutsatserna från studien och generella råd

- De uppmätta medelhalterna av PM₁₀ var under mätperioden i snitt cirka 155 µg/m³ på Arlanda Centrals perrong.
- Filtreringsgraden togs fram genom relationen mellan partikelhalterna inne i förarhytterna och partikelhalterna på Arlanda C plattform vid normal ventilation. Filtreringsgraden var 80 ±10% samt 75 ±10% för PM₁₀ respektive PM_{2,5} i tunnelmiljön vilket innebär att luften renas effektivt på vägen in till förarhytterna.
- Medelhalterna av PM₁₀ inne i förarhytterna på pendeltågen av typ X60B som trafikerar Arlanda Central var 13-20 µg/m³ under normal ventilation, vilket är långt under miljö kvalitetsnormen som gäller för utomhusluft och mycket långt under arbetsmiljögränsvärdena.
- Medelhalterna av PM_{2,5} inne i förarhytterna på pendeltågen av typ X60B som trafikerar Arlanda Central var 7-13 µg/m³ under normal ventilation. Även dessa halter var långt under miljö kvalitetsnormen som gäller för utomhusluft.

- Medelhalterna i förarhytterna vid de värsta partierna av tågens färdsträcka, tunnelpassagerna, nådde i snitt upp till cirka 35 µg/m³ PM10 under normal ventilation. Den partikelexponeringen utsätts personalen normalt endast för några minuter under Arlandasträckan. Halterna understiger dock till och med gränsvärden som gäller för utomhusluft och är cirka 1 % av gränsvärdet som anges för järnoxidpartiklar i arbetsmiljöer.
- Dörrarna till förarhytterna kan med fördel låta bli att öppnas i tunnelmiljö för att få så låga partikelhalter hos tågpersonalen som möjligt.
- Tunnel mode och avstängd ventilation kan leda till högre partikelhalter hos förare och tågvärd jämfört med om ventilationen är påslagen (normaldrift) och rekommenderas generellt därför inte att användas utan utvärdering.

Inledning

Tunnelmiljöer står i dagsläget utanför miljö kvalitetsnormernas gränsvärden för luftburna partiklar, samtidigt som mätningar visar att just dessa miljöer har de högsta halterna i transportsystemet. Detta gäller såväl vägtunnlar som järnvägstunnlar. Exponeringen för trafikanter i fordon och på perronger och för personal som jobbar i tunnelmiljöer är oftast hög, men kortvarig jämfört med ovan mark där halterna är lägre men exponeringen oftast mer långvarig. Källorna till luftburna partiklar järnvägsmiljöer är i huvudsak slitage av bromsar, hjul, räler och kontaktledningar [1].

Ett ofta använt mått på luftburna partiklar är PM₁₀ mätt som massan ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) av partiklar med en diameter mindre än 10 μm , ibland separerat i PM_{2,5} (finfraktionen) och PM_{2,5-10} (grovfraktionen). Mindre ofta redovisas ännu finare fraktioner än PM_{2,5} men då oftast mätt som antalskoncentration (antal/ m^3). I denna studie redovisas däremot även PM₁, partiklar med en diameter mindre än 1 μm . Partikelhalter av PM₁₀ och PM_{2,5} uppmätta i underjordiska tågstationer finns redovisat i olika studier. Däremot så finns det få studier redovisade för mätningar ombord på tåg. En studie på pendeltågstrafik X60 i passagerarutrymmena visar på förhöjda halter i dessa utrymmen vid stopp på stationer under jord [2]. Nivåerna på PM₁₀ i passagerarutrymmet var en femtedel av utomhusnivåerna. Signifikanta ökning av antalskoncentrationer kunde noteras i tunnelmiljö och nivåerna ökade när passagerardörrarna öppnades. Olika storleksfördelning på partiklarna kunde också konstateras i olika tunnlar.

Syfte

Denna rapport redovisar mätningar i personalutrymmen på pendeltågsfordon av typen X60B som passerar Arlanda C. Mätningar genomfördes i förarhytterna där förare och tågvärd uppehåller sig samt på perrongen på Arlanda Central. Målsättningen att ta fram ett förhållande mellan partikelnivåerna (PM₁₀, PM_{2,5} och PM₁) på plattformen och ombord på tåget i personalutrymmen. Detta förhållande används för att ta fram filtereffektivitet för filtret som används vid ventilation in i hytterna. Det var utöver detta att säkerställa att tågpersonalen inte utsätts för höga halter av partiklar i sitt arbete. Kunskapen om filtrens kapacitet är värdefull både för Arlandasträckan men även för framtida Citybanan, som blir en något längre järntunnel, cirka 6 km lång. Mätuppdraget genomfördes i samverkan mellan SLB-analys och KTH på uppdrag av SL.

Mätningar

Fyra partikelinstrument av modell Lighthouse 3016 IAQ användes för jämförande mätning av partikelhalterna: ett instrument mäter hos förare i förarhytt, ett instrument mäter hos tågvärdens förarhytt, ett instrument mäter utanför tåg genomföring genom dörr i förarhytt ett mäter på plattform på Arlanda C. Dessutom utfördes CO₂-mätning i förarhytten med ett instrument av modell TSI Q-Trak. På plattformen på Arlanda C användes också ett instrument av typ ELPI+. Se Tabell 1 för en översikt av instrumenteringen. Notera att instrumenten som används ombord på X60B fordon hela tiden var placerad i den nordgående delen av tåget.

Tabell 1. Översikt över mätinstrument

Mätparameter	Instrument	Tidsupp-lösn	Antal	Platser	Vems instrument
0,3 – 10 µm, antal och massa (10, 5, 2,5, 1, 0.5 och 0.3 µm)	Lighthouse 3016 IAQ, handburen	6-10 sek	4	1. Förarhytt 2. Utanför tåg 3. Tågvärdens förarhytt 4. Plattform	SLB-analys
CO ₂	TSI Q-Trak	10 sek	1	Förarhytt	SLB-analys
6 nm – 10 µm massa, 14 fraktioner	ELPI, Dekati	10 Hz	1	Plattform	KTH

Innan och efter mätning kontrolleras att Lighthouse-instrumenten är samstämmiga. Det ska även noteras att samtliga instrument är optiska, vilket innebär att partiklarna räknas i olika storleksintervaller. Därefter beräknas partikelhalt utifrån en antagen densitet på partiklarna. Det är en grov förenkling av verkligheten i och med att partiklarna har olika ursprung, sammansättning och densitet. Tunnelpartiklarna kommer exempelvis att skilja sig från utomhuspartiklarna. Vi har valt att basera antagandet av densitet på tunnelpartiklar då dessa uppnår de högsta, och därmed mest kritiska halterna. Densiteten är antagen till 1 g/cm³. Efterkontrollen genomfördes på Arlanda C efter avslutade mätningar.

Ombordmätningarna genomfördes måndag 2016-11-28 tom torsdag 2016-12-01. Mätningarna på Arlanda C utfördes måndag 2016-11-28 tom fredag 2016-12-02. Fredag den 2016-12-02 genomfördes en parallellmätning med samtliga instrument på Arlanda C. Pendeltågsfordon av typ X60B instrumenterades enligt tabell 2. Mätningar genomfördes för två turer fram och tillbaka mellan Stockholm C och Arlanda C varje mätdag.

Tabell 2. Instrumenterade fordon och tid för mätning.

Dag	Vagn nr	Tider avgång Stockholm C	Kommentarer	Filter driftkilometer
28/11	6092	11.09 Stockholm C 13:39 Stockholm C 17:09 Stockholm C	Batteridrift mätinstrument ombord	80 000
29/11	6092	11.09 Stockholm C 13:39 Stockholm C		80 000
30/11	6093	11.09 Stockholm C 13:39 Stockholm C		80 000
1/12	6104	11.09 Stockholm C 13:39 Stockholm C	Avstängd ventilation förarhytter avgång 11.09 Stockholm C.	30 000

Mätplatser

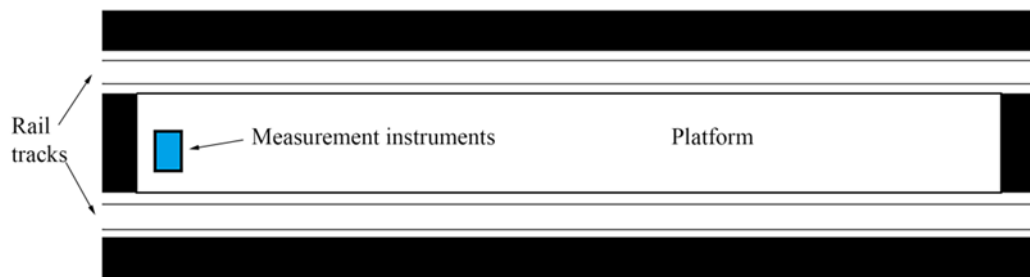
Instrumentplacering i förarhytter framgår av figur 1. Rörgenomdragning genom dörr förarhytt visas i figur 2. Beroende riktning på tåget växlades rör så mätning hela tiden genomfördes mot färdriktningen.



Figur 1. Foto över mätuppställning vid parallellmätning med tre Lighthouse instrument och OPS 3300 (som ej utnyttjades i analysen). Lighthouse-instrumentet längst till höger motsvarar dess placering vid mätning i förarhytter.



Figur 2. Foto över rör använda till utomhusmätning. Observera två rör vars användning växledes beroende på färdriktning.



Figur 3. Mätinstrumenten var placerade på ena änden av plattformen Arlanda C i riktning mot Uppsala C.

Gränsvärden

Det finns dels gränsvärden, miljö kvalitetsnormer, för partiklar i utomhusluft och dels finns det gränsvärden för arbetsmiljöer. Gränsvärdena för luft är långt mer strikta än de som gäller i arbetsmiljö. I Luftkvalitetsförordningen [3] framgår att miljö kvalitetsnormer gäller för utomhusluften med undantag av arbetsplatser samt väg- och tunnelbanetunnlar. Vi kommer däremot att referera till dessa i rapporten för att få ett jämförbart mått att förhålla sig till i diskussionen.

Partiklar, PM10 i utomhusluft

Tabell 3 visar gällande miljö kvalitetsnorm och miljö kvalitetsmål för partiklar, PM10 till skydd för hälsa. Värdena anges i enheten $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (mikrogram per kubikmeter) och omfattar ett årsmedelvärde och ett dygnsmedelvärde. Årsmedelvärdet får inte överskridas medan dygnsmedelvärdet får överskridas högst 35 gånger under ett kalenderår.

Tabell 3. Miljö kvalitetsnorm och miljö kvalitetsmål för partiklar, PM10 avseende skydd av hälsa [3, 4]. Gäller utomhusluft.

Tid för medelvärde	Normvärde ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Målvärde ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Anmärkning
Kalenderår	40	15	Värdet får inte överskridas
1 dygn	50	30	Värdet får inte överskridas mer än 35 dygn per kalenderår

Partiklar, PM2,5 i utomhusluft

Tabell 4 visar miljö kvalitetsnorm och miljö kvalitetsmål för partiklar, PM2,5, till skydd för hälsa. Normen omfattar ett årsmedelvärde som inte får överskridas. Vidare finns ett nationellt exponeringsmål. Miljö kvalitetsmål finns för års- och dygnsmedelvärde.

Tabell 4. Miljö kvalitetsnorm och miljö kvalitetsmål för partiklar, PM2,5, avseende skydd av hälsa [3, 4]. Gäller utomhusluft.

Tid för medelvärde	Normvärde ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Målvärde ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Anmärkning
Kalenderår	25	10	Får inte överskridas.
1 dygn	-	25	Värdet får inte överskridas mer än 3 dygn per kalenderår

Partiklar, arbetsmiljögränsvärden

Hygieniska gränsvärden finns för alla verksamheter där luftföroreningar förekommer [5] och de nuvarande gränsvärdena gäller från 1 juni 2016. Arbetsmiljögränsvärdena gäller med stöd av 18 § arbetsmiljöförordningen [6] och beslutar allmänna råd för att förebygga ohälsa hos arbetstagare. Nivågränsvärdena som kan utläsas i Tabell 5 nedan är bindande och får inte överskridas. Dessa är i angivna i milligram per kubikmeter för respirabelt (inandningsbart, motsvarar PM10) respektive inhalerbart damm (även större än partiklar än PM10) och finns för en rad olika ämnen. De angivna ämnen som ligger närmast tunnelpartiklar är oorganiskt damm och järnoxid (som Fe).

Tabell 5. Arbetsmiljögränsvärden för respirabelt samt inhalerbart damm [5].

Tid för medelvärde	Gränsvärde ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Ämne
8 timmar	10000	Oorganiskt damm, inhalerbart
8 timmar	5000	Oorganiskt damm, respirabelt
8 timmar	3500	Järnoxid (som Fe), respirabelt

Resultat

Partikelhalt Arlanda Central

Resultaten från plattformsmätningarna vid Arlanda central presenteras i tabellform i Tabell 6 för Lighthouse-instrumentet. Partikelhalterna var i medeltal relativt likartade under mät dagarna med undantag för den sista dagen, 1 december, då halterna var högre. PM10-halterna var 20 % högre än de första tre dagarna. Maximala halten 299 µg/m³ (ett mätvärde 10 sekunders medel) uppmättes den 1 december och den minimala 85 µg/m³ uppmättes den 28 november men halterna.

Tabell 6. Medelvärden på Arlanda Central perrong för varje mät dag.

Mätperiod	PM10, µg/m ³	PM2,5, µg/m ³	PM1, µg/m ³
28/11 kl 11.54-18.52	150	72	16
29/11 kl 11.19-15.29	139	69	17
30/11 kl 11.20-15.38	152	69	16
1/12 kl 11.54-18.52	177	82	19

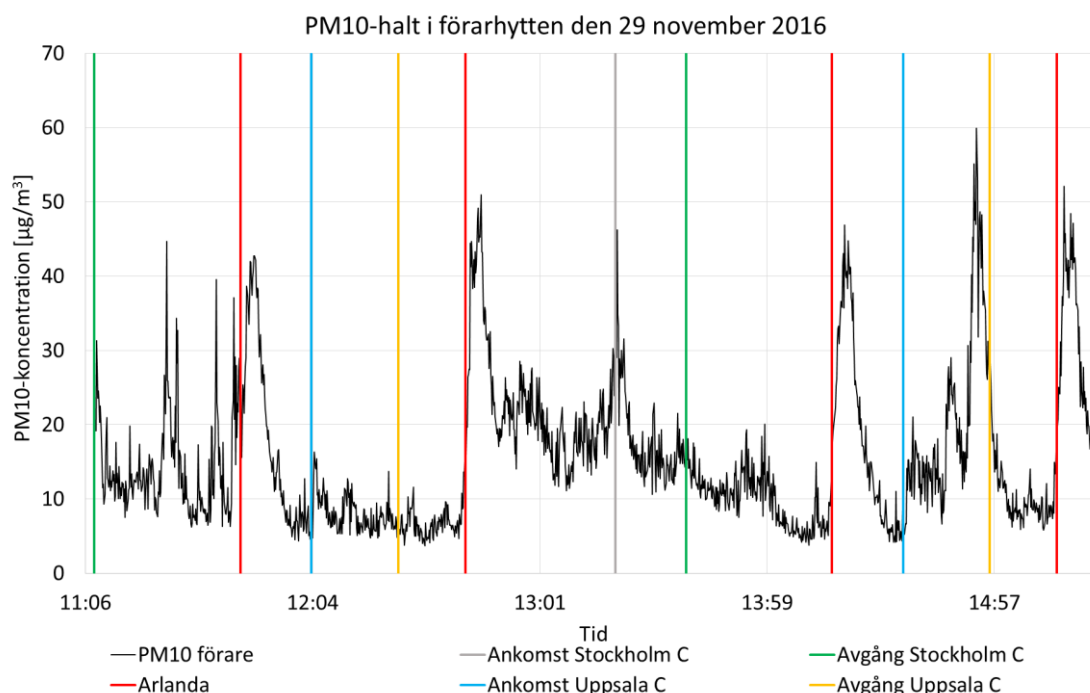
Partikelhalter i tågförarens hytt

Partikelhalterna i förarens hytt redovisas sammanfattat i Tabell 7 nedan. De allra högsta halterna uppmättes den sista mät dagen under test med avstängd ventilation, se avsnitt nedan om detta. Under de normala ventilationsförhållandena fluktuerande halterna generellt mellan 5 µg/m³ och uppemot cirka 50 µg/m³ i förarhytten. Enstaka korta tillfällen noterades halterna uppemot cirka 100 µg/m³.

Tabell 7. Medelvärden i tågförarens hytt för varje mät dag.

Mätperiod	PM10, µg/m ³	PM2,5, µg/m ³	PM1, µg/m ³
28/11 kl 11.13-18.49	16	7	2
29/11 kl 11.09-15.23	16	8	3
30/11 kl 11.02-15.33	14	6	2
1/12 kl 11.17-15.22	21	8	2

I Figur 4 syns de uppmätta halterna inne i förarhytten under den 29 november 2016. Det är först och främst tydligt att halterna ökar vid Arlanda C samtliga turer. Det syns även haltökningar då tåget stod inne vid Stockholm C samt Uppsala C och det beror troligen på att dörren öppnas och luft med relativt höga partikelhalter kommer in i förarhytten utan att filtreras. Tågföraren sitter alltid längst fram i tågets färdriktning vilket innebär att föraren var på plats vid mätinstrumentet i norrgående riktning under hela mätperioden. Föraren öppnar normalt inte dörren under färden utan gör det i så fall vid ändhållplatser för att kliva in eller ut ur tåget.



Figur 4. Halten av PM10 i förarhytten den 29 november 2016 och tabelltider för ankomst/avgång Stockholm och Uppsala samt ankomst Arlanda C.

Partikelhalter i förarhytten där tågvärden vistas

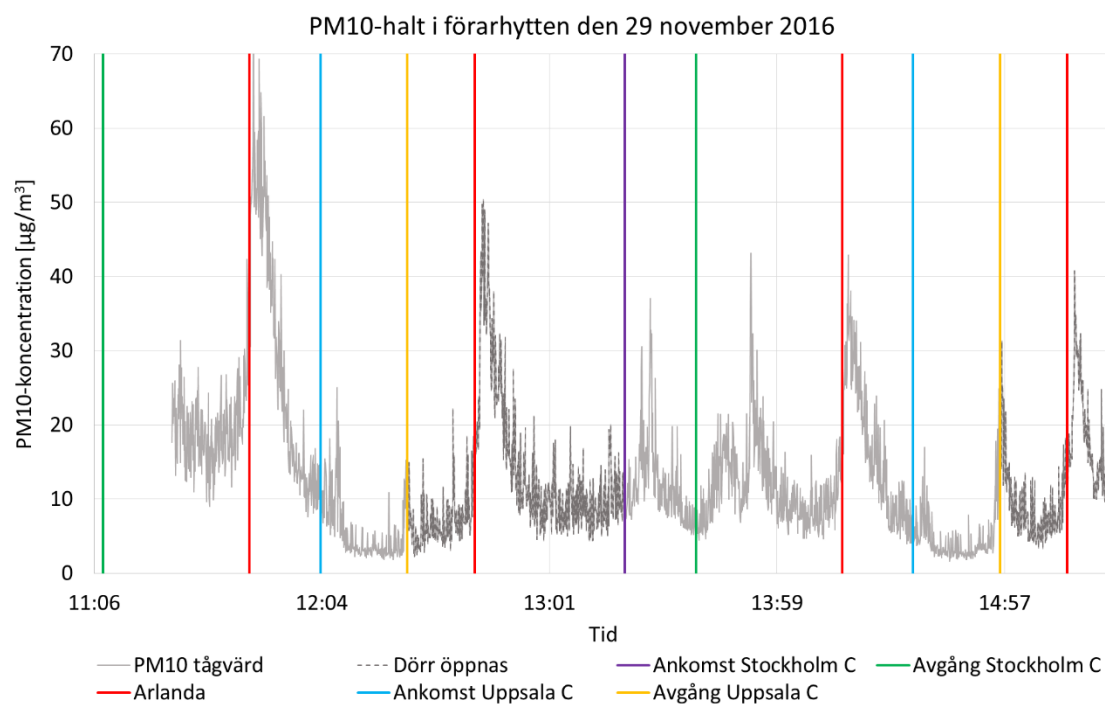
Partikelhalterna i tågvärdens hytt redovisas sammanfattat i Tabell 8 nedan. De allra högsta halterna uppmättes den sista mät dagen under test med tunnel mode ventilation, se avsnitt nedan om detta. Under de normala ventilationsförhållandena fluktuerande halterna generellt mellan 5 µg/m³ och uppemot cirka 50 µg/m³ i tågvärdens hytt.

Tabell 8. Medelvärden i tågvärdens hytt för varje mät dag.

Mätperiod	PM10, µg/m ³	PM2,5, µg/m ³	PM1, µg/m ³
28/11 kl 13.30-18.53	20	13	6
29/11 kl 11.26-15.25	13	7	3
30/11 kl 10.59-15.28	17	7	3
1/12 kl 11.09-14.45	39	11	3

I Figur 5 syns de uppmätta halterna inne i mitthytten under den 29 november 2016. Halterna följer ett liknande mönster som hos föraren. Halterna ökar vid Arlanda C samtliga turer. Tågvärden sitter alltid längst fram i tågets färdriktning i andra vagnen vilket innebär att tågvärden var på plats vid mätinstrumentet i södergående riktning under hela mätperioden. Det är under den perioden som dörren eventuellt öppnats av tågvärden vid hållplatserna. Det skulle rimligen innebära högre halter generellt men någon tydlig sådan trend syns inte. Under första resan mellan Uppsala och Stockholm C mät dag 1, 28 november, befann sig både tågvärd och en mätansvarig i hytten och denne mätansvariga noterade att dörren då inte öppnats vid hållplatserna. Tyvärr fanns inte mätansvariga på plats i hytterna alla turer. Möjligen syns fler haltspikar under perioden jämfört med den utan tågvärd i hytten men det är kortvariga

haltökningar som inte ge någon större ökning till medelhalterna. Vid jämförelse mellan snitthalterna i förarhytten (Tabell 7) respektive tågvärdens hytt (Tabell 8) under normal ventilation (28-30 november) syns det att halterna i snitt är något högre hos tågvärden men det handlar om uppemot några mikrogram/m³.



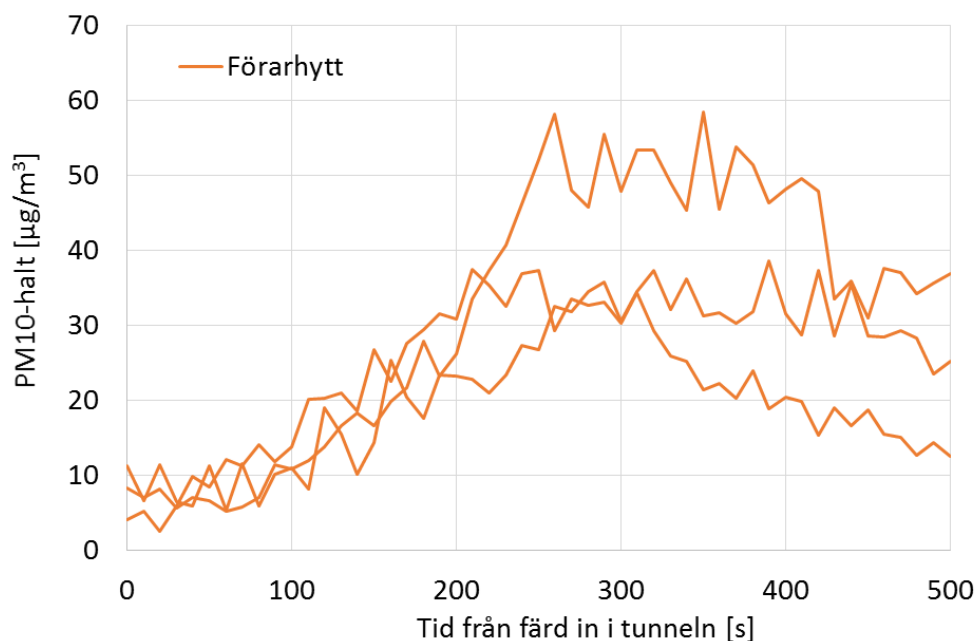
Figur 5. Halten av PM10 i förarhytten där tågvärden delvis befann sig den 29 november 2016 och tabelltider för ankomst/avgång Stockholm och Uppsala samt ankomst Arlanda C.

Filtrets effektivitet

Filtrering sker normalt av inkommande luft som ventileras till förarhytterna (vid stängd dörr). Denna filtrering har utvärderats för storleksfraktionerna PM₁, PM_{2,5} samt PM₁₀. Detta eftersom filtret troligen har olika filtreringseffektivitet för olika storlekar på partiklar. Separata analyser har gjorts för det äldre filtret 28-29 november 2016 respektive den nyare 30 november-1 december 2016. Halterna är generellt mycket låga utomhus och där är det därför inte relevant att utvärdera filteregenskaperna. Därför har data tagits fram för enbart tunnelpassagerna kring Arlanda central. Utehalterna mättes både på plattformen på Arlanda samt utanför tåget men jämförelser i denna rapport har gjorts med plattformsmätningarna då utemätningarna vid tåget visade en tydlig påverkan på tågets hastighet och troliga turbulenseffekter som berodde på om mätningarna gjordes längst fram i tågets färdriktning eller längst bak. Dessa berodde sannolikt på att mätinstrumentet hade för svag pumpkapacitet mot vad som krävdes för förhållandena och anses inte tillförlitliga.

Det syns en tydlig fördröjning av haltökning inne i hytterna från färd in i tunnel som troligen beror på ventilationssystemet. Därefter börjar halten att stiga inne i hytten för att slutligen plana ut. Vid färd ut i tunneln sjunker halterna sakta återigen. Tågen befinner sig i tunneln i sammanlagt cirka 5-6 minuter. Filtreringsskapaciteten har antagits motsvara relationen mellan tunnelhalten och halten i förarhytten vid platån, där de båda koncentrationerna förmodligen är jämvikt. Se Figur 6 för exempel där mätdata från förarhytten vid tre Arlanda-passager visas. Haltplatån nås cirka 200 sekunder efter färd in i tunneln. Då tas inte hänsyn till partikelkällor inne i hytten eller att ofiltrerad luft troligen tränger till en viss grad via dörrspringor från passagerarutrymmet, se avsnitt ”Halter vid avstängd ventilation”. Detta är en förenkling av den verkliga filtreringsgraden där halterna helst bör mätas precis före och efter filtret, vilket inte var praktiskt möjligt i detta projekt. Det kan noteras att om interna källor och läckor inte uppmätts kommer den faktiska filtreringsgraden att bli högre.

De sammanfattade resultaten från analyserna av filtreringen av tunnelluft visas i Tabell 9. Där kan det utläsas att filtreringen var mycket likartad i hytten hos föraren och tågvärden. Filtreringen av PM₁₀ är i snitt cirka 80 ±10%, cirka 75 ±10% av PM_{2,5} och cirka 65 ±10 % av PM₁. Det innebär att en klar majoritet av partikelmassan tas upp av filtret för alla storleksfraktioner. De mindre partiklarna tas upp sämre av filtret än de större, vilket även har setts i tidigare studier av filter i bilar [7]. Analyser gjordes separat för det äldre filtret respektive det nyare men skillnaden var så pass liten att det ligger inom osäkerheten. Slutsatsen dras därför att filtreringsgraden troligen inte påverkas nämnvärt under filtrets livslängd.



Figur 6. Halt av PM10 inne i förarhytten vid tre tunnelpassager den 30 november 2016. Haltplata ses efter cirka 200 sekunder.

Tabell 9. Filtreringseffektivitet samt osäkerhetsintervallet av olika storleksfraktioner baserat på relationen mellan halterna inuti i förarhytter samt halten på Arlanda C plattform.

	PM10 µg/m ³ Förare	PM10 µg/m ³ Tågvärd	PM2,5 µg/m ³ Förare	PM2,5 µg/m ³ Tågvärd	PM1 µg/m ³ Förare	PM1 µg/m ³ Tågvärd
Filtreringsgrad	79 ±10%	78 ±10%	74 ±10%	74 ±10%	67 ±10%	65 ±10%

Utifrån filtreringsgraden och de kontinuerliga mätningarna på plattformen (avsnitt ”Partikelhalter Arlanda Central”) kan en hypotetisk exponering tas fram utifall att tåget står inne på plattformen längre än normalt. Detta skulle innebära en högre exponering än ett normalt arbetspass och fås ses som ett extremfall. Med en filtreringsgrad på cirka 65-80 % på respektive storleksfraktion är halterna i hytten, under förutsättning att dörren inte öppnas, i snitt cirka 30-40 µg/m³ hos föraren/tågvärden under den tiden tåget står inne vid perrongen. Motsvarande PM2,5-halt blir cirka 20 µg/m³. Tidigare mätningar på Arlanda Central har visat ungefär samma halter dagtid som under denna mätkampanj [8]. Det högsta halterna uppmättes under morgonrusning, kvällrusningen och det var lägst halter tidig morgon. De timvisa medelhalterna var i den studien mellan 20 och 180 µg/m³ på perrongen och mätningarna pågick 28 januari-11 februari 2013. Det antyder att mätningarna som utvärderas i denna rapport inte avviker från det normala och framförallt att det inte varit ovanligt låga halter i tunneln under kampanjen.

Koldioxidhalt vid normal ventilation

Koldioxidhalten mättes varje dag inne i förarhytten längst fram i norrgående riktning, tågföraren befann sig därmed i hytten vid färd norrut. Resultaten från dessa mätningar visas i Tabell 10. Halten CO₂ varierande normalt mellan 400-900 ppm. Halterna i utomhusluft är cirka 400 ppm och en inomhusmiljö med tillfredställande ventilation bör ha halter under 1000 ppm enligt Arbetsmiljöverket. Nivågränsvärdet är 5000 ppm eller 0,5 volymprocent under en arbetsdag och korttidsvärdet är 10000 ppm eller 1,0 %. Det kan noteras att det ofta varit fler än en person i hytten och att halterna normalt troligen är något lägre i snitt.

Tabell 10. Medelvärden av koldioxidhalt i förarhytten för varje mätdag.

Sträcka	CO ₂ , ppm
28/11 kl 11.17-18.15	621
29/11 kl 11.28-15.29	635
30/11 kl 11.28-15.28	532
1/12 kl 11.17-15.22	655

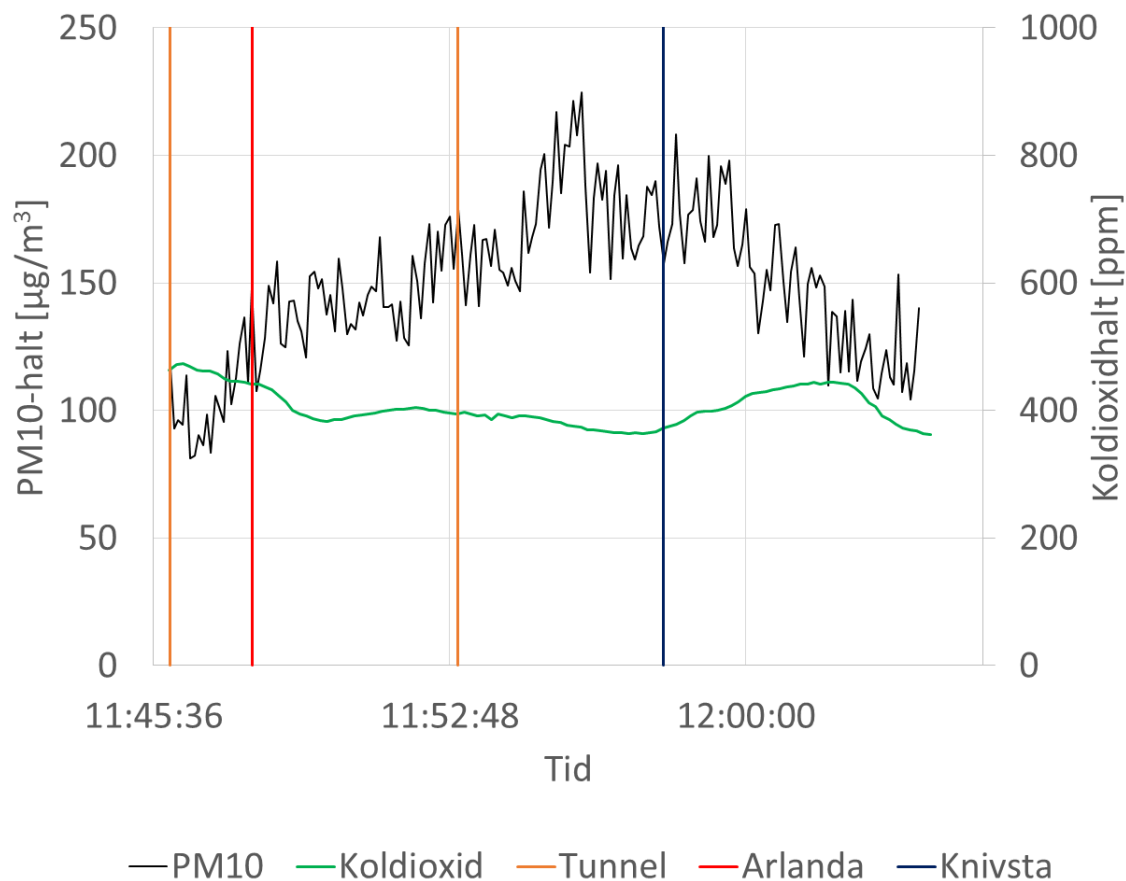
Under den sista mätdagen gjordes särskilda tester med ventilationen inställd på så kallad tunnel mode då luften cirkulerar och ingen luft tas utifrån. Detta test utfördes inne i tågvärdens förarhytt. Det gjordes även ett test där ventilationen stängdes av helt inne i förarhytten. Resultaten från dessa tester redovisas separat i avsnitt ”Halter vid avstängd ventilation” samt ”Halter vid avstängd ventilation”.

Halter vid tunnel mode ventilation

Sista mätdagen gjordes särskilda tester med olika ventilationsinställningar. En av dessa var med så kallad tunnel mode så cirkulerar befintlig luft istället för att tas in utanför tåget. Tanken var att undersöka huruvida partikelhalterna påverkades men även se till att koldioxidhalten höll sig under en godtagbar nivå. Arbetsmiljöverket har föreskrifter med högsta tillåtna värden för CO₂ på en arbetsplats, AFS 2005:17. Nivågränsvärdet är 5000 ppm eller 0,5 volymprocent under en arbetsdag och korttidsvärdet är 10000 ppm eller 1,0 %.

Koldioxidinstrumentet placerades i förarhytten i mitten av tåget och tunnel mode slogs på strax före färd in i tunneln med en person i förarhytten. Resultaten visas i Figur 7. Mätningarna visade att halten CO₂ fluktuerade mellan 360-470 ppm, vilket motsvarar utomhusluft. Partikelhalterna var däremot högre än normal ventilation, vilket antyder att luften hos passagerarna troligen är sämre och att luften från passagerarutrymmet inte filtreras när den leds in i hytten vid tunnel mode. Det är även i linje med resultaten från en tidigare studie där man mätt partikelhalterna i passagerarutrymmena på tågen som trafikerar Arlanda C. Där uppmättes medelhalter på drygt 50 µg/m³ PM10 och nästan 40 µg/m³ PM2,5 i tunneln [8].

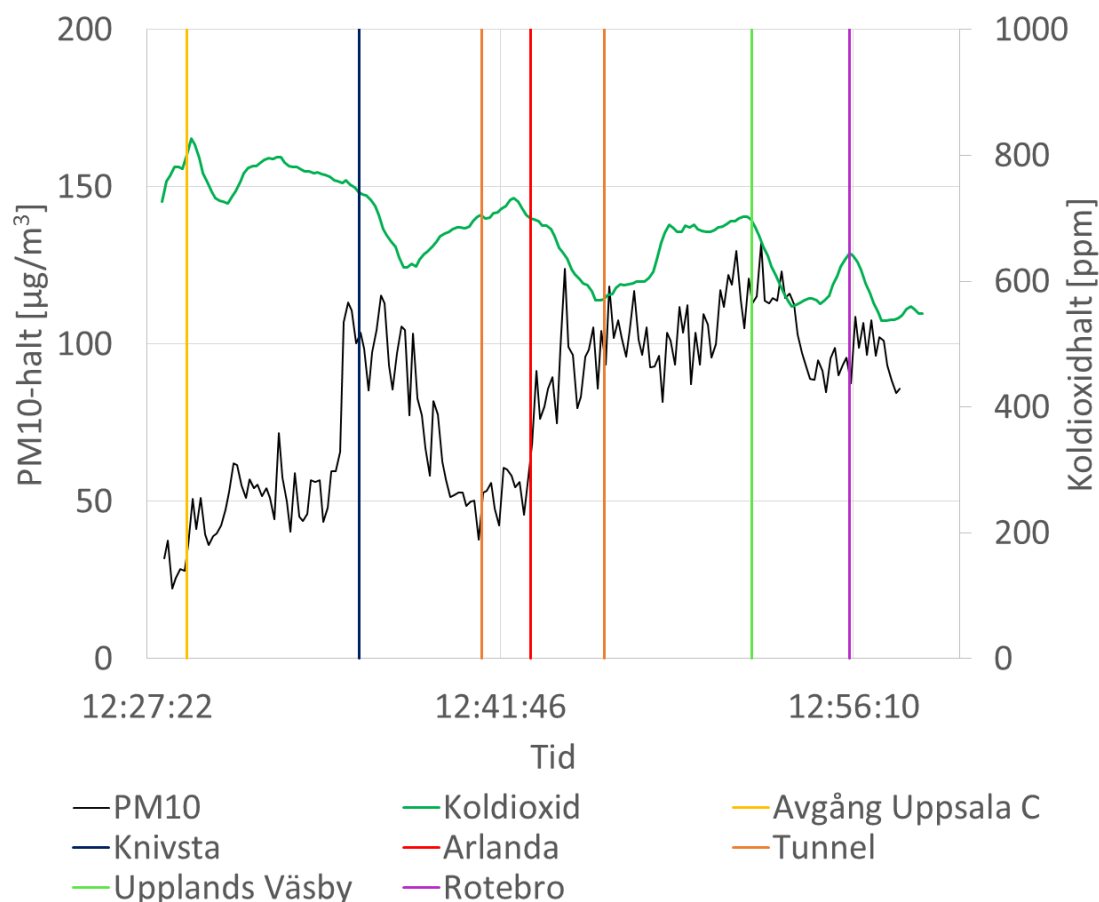
I Figur 7 syns det även att halten PM10 ökar hela vägen genom tunneln och en bit efteråt och når motsvarande tunnelhalter. Efter hållplats Knivsta börjar PM10-halten att klinga av och det är troligt att halten hos passagerarna också gjort det i och med att renare luft sannolikt kommit in i passagerarvagnen då dörrarna öppnats i Knivsta.



Figur 7. Halt av PM10 respektive koldioxid inne i förarhytt vid ventilation i tunnel mode under försök den 1 december 2016. Tider då tåget befann sig i tunnel (mellan de orangea strecken) samt hållplatser finns även markerade.

Halter vid avstängd ventilation

Sista mät dagen gjordes särskilda tester med olika ventilationsinställningar. Under cirka 30 minuter slogs ventilationen av i förarhytten med start vid avgång från Uppsala C med en person i utrymmet. Halten var inledningsvis cirka 800 ppm (samma som under normal ventilationsdrift) och den sjönk sedan med ett märkligt oscillerande mönster, se figur 8. I en helt sluten miljö borde koldioxidhalten sakta öka i och med utandningen hos personen som sitter i hytten. I Figur 8 blir det dock tydligt att det inte sluter helt tätt mellan förarens utrymme och passagerarutrymmet. Halten av koldioxid ökar generellt mellan hållplatserna för att sedan sjunka vid stopp. Det verkar som att utomhusluften, med lägre koldioxidhalt, trycks in i förarhytten vid hållplatserna. Det innebär också att tunnelluften, med högre partikelhalt, når in hos föraren vid Arlanda Central. Något anmärkningsvärt är också att partikelhalten även blir höga inne hos föraren vid Knivsta och Rotebro. Det är inte troligt att utomhushalten är så pass hög vid stationer i öppen miljö men mätningarna inom ramen för detta projekt ger ingen uppenbar förklaring till detta. Kanske beror det på partikelkällor inne i passagerarutrymmet och att dessa trycks in i hytten.



Figur 8. Halt av PM10 respektive koldioxid inne i tågförarens hytt vid ventilation avstängd under försök den 1 december 2016. Tider då tåget befann sig i tunnel (mellan de orangea sträckan) samt hållplatser finns även markerade.

Ökningen av koldioxidhalten mellan hållplatserna kan relateras till tiden som gått för att få en uppfattning om ungefär hur mycket halterna skulle öka om tåget färdades en längre sträcka utan att öppna dörrarna. Luften verkar inte tryckas in effektivt från passagerarutrymmet under tiden tåget färdas. Dessa utrymmen har två skilda ventilationssystem och det ska vara i princip tätt mellan förarhytt och passagerarutrymme. Därför skulle det i en mycket längre tunnel utan stopp, kunna vara fördelaktigt att stänga av ventilationen men då skulle koldioxidhalten riskera att byggas upp i ohälsosamma nivåer. Datamängden är liten men resultaten är relativt konsekventa och halten av koldioxid verkar öka med 0,4-0,6 ppm för varje sekund då en person befinner sig i hytten. Utomhushalten är cirka 400 ppm vilket innebär att koldioxidhalten enligt detta skulle vara uppe i cirka 1100-1500 ppm efter en halvtimme under färd utan stopp med ventilationen avstängd om en person befinner sig i hytten. Nivågränsvärdet är 5000 ppm eller 0,5 volymprocent under en arbetsdag och korttidsvärdet är 10000 ppm eller 1,0 %. Socialstyrelsen har fastställt 1000 ppm (0,1 %) som övre gräns för vad som anses vara en acceptabelt ventilerad byggnad i SOSFS 1999:25, Socialstyrelsens allmänna råd om tillsyn enligt miljöbalken – ventilation.

Slutsatser från mätningar och generella råd

Notera att jämförelserna görs med gränsvärden för utomhusluft trots att dessa inte gäller i tunnelmiljöer eller arbetsplatser. Det är främst för att sätta det i relation till något i samma storleksordning som dessa nämns. Arbetsmiljögränsvärdena överstiger de uppmätta halterna i tåghytterna med storleksordningen en faktor hundra.

- Halten PM10 i tunneln var i snitt cirka 155 µg/m³ under hela mätperioden.
- Halterna av PM10 är i snitt låga inne i förarhytterna på pendeltågen av typ X60B som trafikerar Arlanda Central, 13-20 µg/m³. Dessa är i nivå med miljö kvalitetsmålen som finns för utomhusluft (15µg/m³ årsmedelhalt) och en bråkdel av gränsvärdena för arbetsmiljöer.
- Halterna av PM2,5 är ligger under miljö kvalitetsnormen som finns för utomhusluft (25 µg/m³ årsmedelhalt) inne i förarhytterna på pendeltågfordonen som trafikerar Arlanda Central. För PM2,5 finns inga specifika gränsvärden för arbetsmiljöer men de faller inom den respirabla fraktion liksom PM10. Även här är halterna mycket långt under gränsvärdena.
- Filtreringsgraden av partiklar är 80 ±10% samt 75 ±10% för PM10 respektive PM2,5 i tunnelmiljön vilket innebär att luften renas effektivt på vägen in till förarhytterna.
- Medelhalterna i de värsta partierna av tågens färdsträcka, tunnelpassagera, nådde i snitt upp till cirka 35 µg/m³ PM10 i hytterna. Den exponeringen utsätts personalen normalt endast för några minuter för Arlandasträckan. Miljö kvalitetsnormen som finns för utomhusluft, 40 µg/m³ årsmedelhalt, är trots det högre.
- Dörrarna till förarhytterna kan med fördel låta bli att öppnas i tunnelmiljö för att få så låga partikelhalter hos tågpersonalen som möjligt.
- Tunnel mode och avstängd ventilation kan leda till högre partikelhalter i förarhytterna jämfört med om ventilationen är påslagen och rekommenderas generellt därför inte att användas utan utvärdering.

Referenser

1. Abbasi S., Jansson A., Sellgren U., Olofsson, U., "Particle emissions from rail traffic: A literature review", *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, Volume 43, Issue 23, 2013, Pages 2511-2544
2. Cha Y., Abbasi S., Olofsson U., "Indoor and outdoor measurement of airborne particulates on a commuter train running partly in tunnels" *IMECHE Journal of Rail and Rapid Transit*, DOI: 10.1177/0954409716642492
3. Förordning om miljö kvalitetsnormer för utomhusluft, Luftkvalitetsförordning (2010:477). Miljödepartementet 2010, SFS 2010:477
4. Miljö kvalitetsmål: <http://www.miljomal.se/>
5. Hygieniska gränsvärden (AFS 2015:7). Arbetsmiljöverket 2015, AFS 2015:7
6. Förordning om arbetsmiljö, Arbetsmiljöförordning (1977:1166). Miljödepartementet 1977, SFS 1977:1166
7. Johansson, C., Silvergren, S., Norman, M., Sjövall, B. Halter av partiklar och NO₂ i fordon i relation till omgivningsluftens halter. Underlag för skattning av trafikantexponering. SLB-analys, SLB-rapport 1:2013
8. Gustafsson, M., Abbasi, S., Blomqvist, G., Cha, Y., Gudmundsson, A., Janhäll, S., Johansson, C., Norman, M., Olofsson, U. Particles in road and railroad tunnel air. Sources, properties and abatement measures, VTI, VTI rapport 917A, 2016

SLB-analys, Miljöförvaltningen i Stockholm.
Tekniska nämndhuset, Fleminggatan 4.
Box 8136, 104 20 Stockholm.
Tel 08-508 28 800, dir. 08-508 28 880
URL: <http://www.slb.nu>

