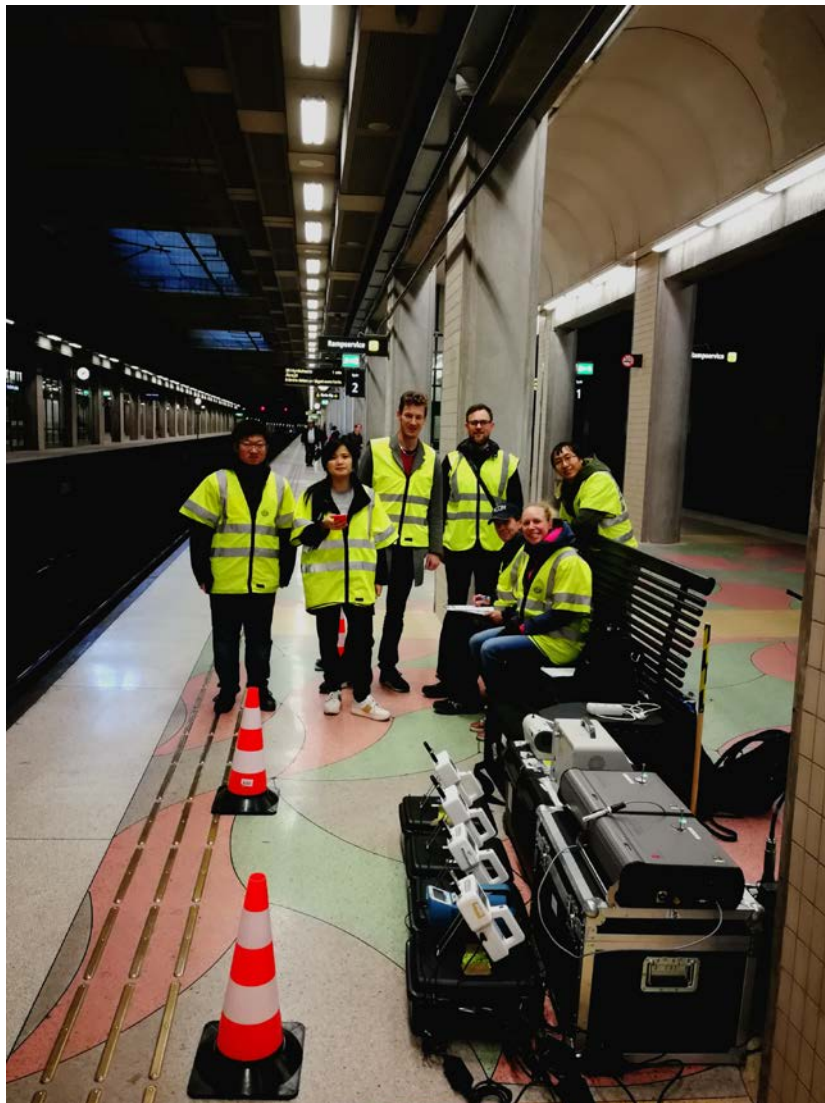


Ombordmätningar av luftburna partiklar i X60 samt på citybanans plattformar

Yingying Cha, Minghui Tu, Edwin Bergstedt, Peter Carlsson, Yezhe Lyu, Ulf Olofsson,
Sanna Silvergren, Max Elmgren, Jennie Hurkmans, Michael Norman



Sammanfattning

Denna rapport, redovisar mätningar av luftburna partiklar i tågpersonalhytter (tågvärd och förare) på pendeltåg, som passerar Citybanans tunnel under rusningstrafik, på förmiddag och eftermiddag. Mätningarna genomfördes också på plattformarna Odenplan, Stockholm City, Södra station och Solna. Partikelhalterna (PM10) varierar mellan plattformarna. Odenplan har högre halter, jämfört med Stockholm City, med en skillnad som är mer än en faktor 2. Halterna av PM10, är i snitt inne i förarhytterna, 11–27 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Dessa värden är i nivå med miljö kvalitetsmålen, som finns för utomhusluft (15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ årsmedelhalt). Tågvärdarna, utsätts för högre PM10 halter än förarna. Det är endast höga halter under tiden i tunnel, utanför tunnlnarna vädras tunnluft snabbt ut.

Nyckelord: luftburna partiklar, Citybanan, plattformar, ombordmätningar

Förord

Mätuppdraget genomfördes i samverkan mellan SLB analys och KTH Maskinkonstruktion på uppdrag av SLL. Kontaktperson på SLL har varit Jan Andersson. Rapporten har i huvudsak författats av Ulf Olofsson KTH och Max Elmgren SLB-analys. Rapporten har innan tryck lästs av Jan Andersson SLL och Sanna Silvergren SLB-analys.

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 [1]. 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 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (mikrogram per kubikmeter) av partiklar med en diameter mindre än 10 μm . Ett annat mått som används är PM2.5 som anger massan i $\mu\text{g}/\text{m}^3$ av partiklar med en diameter mindre är 2,5 μm .

Det finns dels gränsvärden, för partiklar i utomhusluft, och dels finns det gränsvärden för arbetsmiljöer. Tabell 1, visar gällande miljö kvalitetsnorm och miljö kvalitetsmål för partiklar, PM10, till skydd för hälsa. Värdena omfattar ett årsmedelvärde och ett dygnsmedelvärde. Årsmedelvärdet får inte överskridas, medan dygnsmedelvärdet får överskridas högst 35 gånger under ett kalenderår. Detta gäller för utomhusluften, med undantag av arbetsplatser samt väg- och tunnelbanetunnlar. För tak som har maximalt en vägg gäller miljö kvalitetsnormen vilket gör att den är tillämbart på många utomhusplattformar. För arbetsplatser finns det bland annat gränsvärden om 3500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ järnoxid och 5000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ oorganisk damm respirabel fraktion i luften [4]. Respirabel fraktion kan ses som ett liknande mått som PM10 men med en maximal diameter om 4 μm . Gränsvärdet är angivet som 8-timmars medelvärden, motsvarande en arbetsdag.

Tabell 1. Miljö kvalitetsnormer och miljö kvalitetsmål för partiklar i utomhusluft, PM10 avseende skydd av hälsa [2, 3].

Tid för värde	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 år

I Tabell 2 och 3 redovisas exempel på uppmätta PM10 nivåer i tåghytter och på tågplattformer, från tidigare publicerade studier. Här redovisas också målen för PM10 nivåerna för Citybanans stationer, och för den planerade utbyggnaden av Stockholm tunnelbana.

En studie på pendeltågstrafik X60 i passagerarutrymmena visar på förhöjda halter i dessa utrymmen vid stopp på stationer under jord [5]. Nivåerna på PM10 i passagerarutrymmet var en femtedel av nivåerna utanför tåget mätt i tunnel. Signifikanta ökning av antalskoncentrationer av luftburna partiklar kunde noteras i tunnelmiljö och nivåerna ökade när passagerardörrarna öppnades. I en förstudie till denna rapport [6] studerades filtreringsgraden för filter monterade i ventilationssystemet på X60B fordon vid trafik genom Arlandatunneln. Filtreringsgraden togs fram genom relationen mellan partikelhalterna inne i förarhytterna och partikelhalterna på Arlanda C plattform vid normal ventilation. Filtreringsgraden var $80\pm 10\%$ för PM10 i tunnelmiljön, vilket innebär att luften renas effektivt på vägen in till förarhytterna.

Tabell 2. Sammanställning av tidigare publicerade data över uppmätta PM10 nivåer ombord på tåg och planerad nivå för Citybanan, data från [1,5,6]

Anläggning	Partikelhalt PM10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Kommentar
Arlandabanan pendeltåg	35	Förare, mätt i tunnelområdet
Arlandabanan pendeltåg	55	Passagerare, mätt i tunnelområdet
Prag tunnelbana	114	Medelvärde mätt i tunnel
Berlin Tunnelbana	147	Medelvärde mätt i tunnel
Hong Kong tunnelbana	44	Medelvärde
Los Angeles tunnelbana och pendeltåg	31	Medelvärde mätt i tunnel och drift ovanjord
Beijing tunnelbana	325	Medelvärde mätt i tunnel

Tabell 3. Sammanställning av tidigare publicerade data över uppmätta PM10 nivåer på plattformar, planerad nivå för Citybanan och utbyggnaden av Stockholms tunnelbana, data från [1,5,6]

Anläggning	Partikelhalt PM10 µg/m ³ (dygnsmedelnivå)	Antal tåg per timme och riktning	Kommentar
Arlandabanan (Arlanda express)	90	5	Arlanda express plattform Arlanda
Arlandabanan (Fjärrtåg)	240	7 i högtrafik	Arlanda plattform reguljär trafik
Citytunneln Malmö	80	10	
Södra Station Stockholm	150	24 högtrafik	
Stockholm Central	25	?	Utomhus juni
Citybanan	120 -70		Inriktningsmål publika delar Stockholm City och Odenplan (70 gäller som inriktningsmål för plattformar)
Stockholm Tunnelbana	240 (timmedelvärde) får överskridas 80 ggr per år		Inriktningsmål publika delar nybyggnation Hälsopåverkan av tunnelluft Underlag till MKB för järnvägsplan
Stockholm stad	20-30 (årsmedelvärde)		Stockholms stad, Miljöbarometern, information om PM10- halter.

Denna rapport redovisar PM10 och PM2.5 mätningar i personalhytter på X60 pendeltåg, som passerar Citybanans tunnel. Mätningar genomfördes i förar- och tågvårdspersonalens hytter samt på plattformarna Odenplan, Stockholm City, Södra station samt Älvsjö och Solna. Mätningarna genomfördes under rusningstrafik på förmiddag och eftermiddag för att representera förhållanden med hög tågtäthet och mycket passagerare.

Instrumentering och genomförande av mätningarna

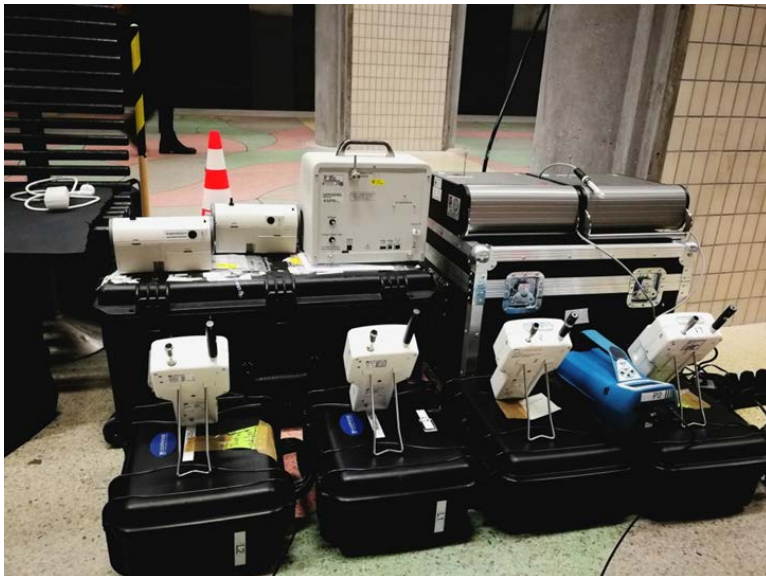
Fyra partikelinstrument av modell Lighthouse 3016 IAQ, användes för jämförande mätning av partikelhalterna: ett instrument mäter i förarhytt; ett instrument mäter i tågvårdshytt och två instrument mäter på plattformar. Två instrument av modell TSI OPS 3300 användes omväxlande för ombordmätningar och för plattformsmätningar. Två instrument av modell Grimm Miniwras, användes också omväxlande för plattformsmätningar och ombordmätningar. På plattformen på Stockholm Södra användes också ett instrument av typ ELPI+. På Södra stations plattform genomfördes också en parallellkörning, av samtliga instrument, för att kontrollera att de var samstämmiga. Tabell 4, ger en översikt över de

använda mätinstrumenten. Figur 1, visar samtliga instrument (utom ELPI+) uppställda för parallellmätning på Södra station.

Figur 2, visar exempel på placering av instrument i hytt (förare och tågvärd). Instrumenten var placerade på vänster och höger sida av instrumentpanelen. I Figur 3, visas exempel på instrumentplacering vid mätning på plattform. Instrumenten var placerade mitt på plattformen, se Figur 4.

Tabell 4. Översikt över mätinstrument

Mätparameter	Instrument	Tids-upplösning	Antal	Platser
0,3 – 10 μm , antal och massa (10, 5, 2.5, 1, 0.5 och 0.3 μm)	Lighthouse	2-10 s	4	Förarhytt, tågvärdshytt, plattform
10 nm -35 μm antal och massa 26 fraktioner	TSI Miniwraps	1 min	2	Förarhytt, passagerarutrymme, plattform
6 nm – 10 μm Massa, 14 fraktioner	ELPI, Dekati	10 Hz	1	Plattform
10-420 nm 13 fraktioner	TSI Nanoscan	1 min	1	Förarhytt, plattform
0.3-10 μm , Massa 16 fraktioner	TSI OPS 3300	1 sek	2	Förarhytt, tågvärdshytt, plattform



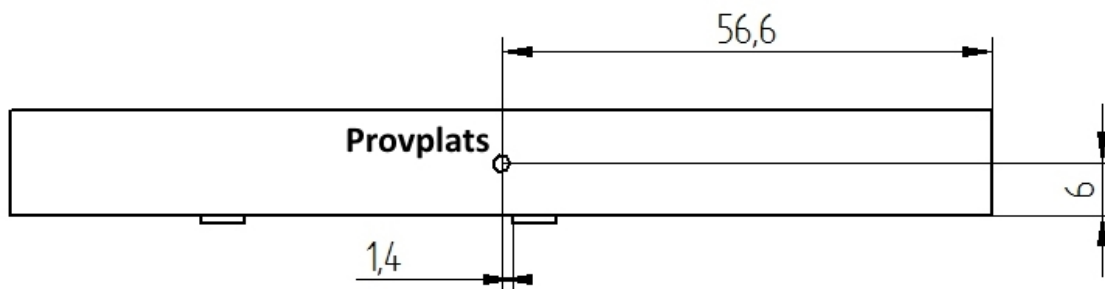
Figur 1. Foto över Instrument uppställda för parallellkörning på Södra Station.



Figur 2. Foto över mätupställning i hytt med ett Lighthouse och ett TSI Nanoscan instrument.



Figur 3. Foto över mätupställning på plattform med ett Lighthouse, ett TSI Nanoscan och ett TSI OPS instrument.



Figur 4. Mätinstrumenten var placerade på mitten av plattformarna, markerat som Provplats, på Odenplan och Stockholm City.

Ombordmätningarna genomfördes måndag 30 oktober t.o.m. onsdag 1 november 2017 och var uppdelade på ett förmiddags- och ett eftermiddagspass som redovisas i Tabell 5. Partikelhalterna uppmättes i förar- och tågvårdshytt, mellan Solna och Älvsjö respektive Älvsjö och Solna. Samtidigt med ombordmätningarna genomfördes en plattformsmätning på Odenplan. Mätinstrumenten som användes ombord på tåg och på Odenplans plattform framgår av tabell 6.

Plattformsmätningar genomfördes den 6 november 2017 på plattformarna Södra station, Stockholm City spår 3/4, Odenplan och Solna. Den 6 november genomfördes också en parallellmätning av samtliga instrument. Den 7 november genomfördes plattformsmätningar på Södra station och Odenplan. I Tabell 7 redovisas tider för plattformsmätningar och vilka mätinstrument som användes.

Tabell 5. Mättider för ombordmätning och plattformsmätningar på Odenplan 30 oktober till 1 november.

Från Solna till Älvsjö	Från Älvsjö till Solna
08:06 – 08:25 Tågnr. 12715	08:34 – 08:53 Tågnr. 12716
09:06 – 09:25 Tågnr. 12719	09:34 – 09:53 Tågnr. 12720
16:06 – 16:25 Tågnr. 12747	16:34 – 16:53 Tågnr. 12748
17:06 – 17:25 Tågnr. 12751	17:34 – 17:53 Tågnr. 12752

Tabell 6. Mätinstrument vid ombordmätning och plattformsmätning Odenplan 30 oktober till 1 november 2017

Mätplats	Dag 1 --- 30 oktober. Instrument	Dag 2 --- 31 oktober Instrument	Dag 3 --- 1 november Instrument
Förrarhytt	Lighthouse, OPS, Nanoscan	Lighthouse	Lighthouse, OPS
Tågvärdshytt	Lighthouse	Lighthouse, OPS	Lighthouse
Odenplan plattform	Lighthouse, OPS	Lighthouse, OPS, Nanoscan	Lighthouse, OPS, Nanoscan

Tabell 7. Mätinstrument vid plattformsmätningar den 6 och 7 november 2017. Mätningarna genomfördes mellan 8.00 – 10.00 samt 16.00 – 18.00.

Plattform	Dag 4 – 6 november	Dag 5 – 7 november
Stockholm City (spår 3/4)	Lighthouse, Miniwrass, OPS	
Odenplan	Lighthouse	OPS, Miniwrass
Stockholm Södra	Lighthouse, Miniwrass, ELPI+, OPS, Nanoscan	OPS, Nanoscan, Miniwrass
Solna	Lighthouse, Miniwrass, OPS	

Resultat

Resultaten presenteras i tabellform i Tabell 8 och 9. För varje mätperiod, förmiddag och eftermiddag, presenteras medelvärdet av PM10 och PM2.5 för tiden som tågen var i Citybanans tunnel. Förmiddagsmätningen visar lägre PM halter än eftermiddagspassen. Vidare kan noteras att partikelhalterna är högre för tågvärdshytten jämfört med förrarhytten. Resultaten för PM10-nivån redovisade för förrarhytt är i nivå med det miljö kvalitetsmål som redovisas i Tabell 1. PM10-nivån som uppmättes i tågvärdshytten är i nivå med miljö kvalitetsnormens krav om $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ som också redovisas i Tabell 1. Notera att PM10-värdena i Tabell 1 är årsmedelhalt och de här redovisade resultaten är medelvärdesbildat för ca en timmes tåg färd i Citybanans tunnel under högtrafik. De redovisade PM10-halterna för förrarhytt och tågvärdshytt, är också låga i en jämförelse med de halter som har redovisats i Tabell 2 från andra studier, som främst gäller för passagerare. Figur 5 redovisar exempel på resultat över PM10 och PM2.5 halter uppmätta ombord på X60. Förrarhytt (övre figur) och Tågvärdshytt (nedre figur). I figuren är tid i citybanans tunnel markerad samt dörröppning för tågvärdshytt samt när tåget har varit vid respektive plattform. Resultaten visar på en ökning av partikelnivån i tunnel. Ökningen för Tågvärdshytt sammanfaller med dörröppning. Vidare visar resultaten att nivåerna sjunker när man lämnar citybanans tunnel. I Tabell 10 och 11 presenteras resultaten från plattformsmätningarna, också i form av medelvärden för PM10 och PM2.5. Tabell 10 visar att partikelhalterna är betydligt lägre på Stockholm citys plattform jämfört med Odenplan och Södra Station. PM10-nivåerna för Stockholm city ligger lågt, i jämförelse med de tidigare studier som finns presenterade i Tabell 3. Den uppmätta

PM10-nivån för Stockholm city, ligger också under inriktningsmålet för citybanan, se Tabell 3. Inga resultat från mätningarna från Solna redovisas, då kvaliteten på mätningarna förstördes av kedjerökning på plattformen. I tabell 11 visas resultat från partikelmätningar på Odenplans plattform. Här har också inkluderats resultat från förstudier genomförda, med samma mätinstrument från tiden innan Citybanan togs i drift. Notera att partikelhalterna på Odenplans plattform, uppmättes den 20 och 21 juli, under samma tider och tidsintervall som vid denna studie men under sommartidtabell som medför färre tåg i trafik. Den 7 november 2017 var det en brand på Jakobbergsgatan i centrala Stockholm. Det är oklart om denna brand kan ha påverkat resultaten. Innan driftstart redovisar Odenplans plattform låga PM10-nivåer, men efter tre månaders drift, är PM10-nivåerna i jämförelse med de tidigare publicerade plattformresultaten, som presenteras i Tabell 3. Figur 6 visar PM10 och PM2.5 nivåer för Odenplans plattform den 1 november mellan 8.00 till 10.00. Resultatet visar på en sjunkande nivå på halterna när den värsta rusningstrafiken är över.

Tabell 8. Resultat från ombordmätningar med Lighthouse i tågvärdshytt och förarhytt

	Tågvärd PM2.5 µg/m ³	Tågvärd PM10 µg/m ³	Förare PM2.5 µg/m ³	Förare PM10 µg/m ³
mån 30 okt FM	9,6	29,0	7,4	14,2
mån 30 okt EM	11,4	28,9	10,8	20,1
tis 31 okt FM	12,7	43,5	6,6	11,3
tis 31 okt EM	19,3	51,6	13,7	24,6
ons 01 nov FM	18,8	39,4	13,3	18,7
ons 01 nov EM	19,5	40,1	15,7	26,0
Medelvärde	15,2	38,7	11,2	19,1

Tabell 9. Resultat från ombordmätningar med TSI OPS i tågvärdshytt och förarhytt

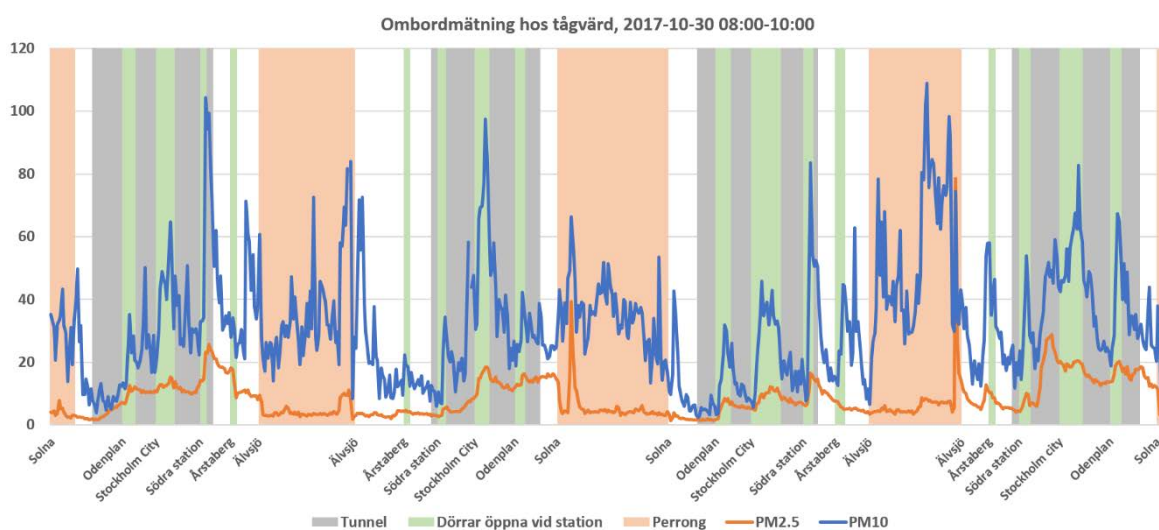
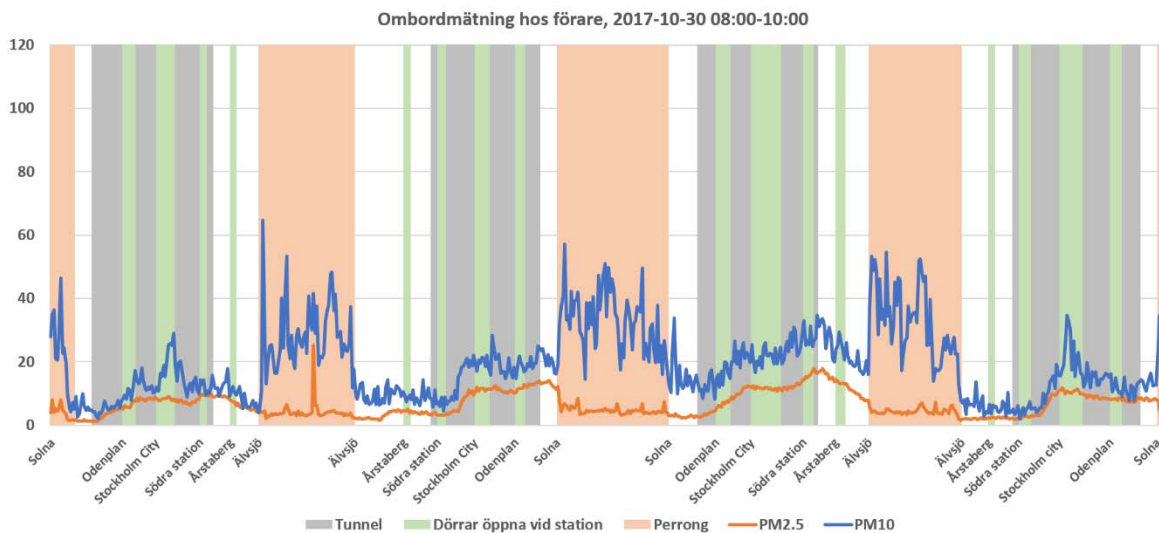
	Tågvärd PM2.5 µg/m ³	Tågvärd PM10 µg/m ³	Förare PM2.5 µg/m ³	Förare PM10 µg/m ³
mån 30 okt FM	-	-	6,1	11,4
mån 30 okt EM	-	-	8,6	14,3
tis 31 okt FM	13,6	37,3	-	-
tis 31 okt EM	18,9	49,7	-	-
Medelvärde	16,3	43,5	7,3	12,8

Tabell 10 Resultat från plattformsmätningar med Lighthouse på Odenplan, Stockholm city plattformar 3/4 och Södra Station den 6 november 2017.

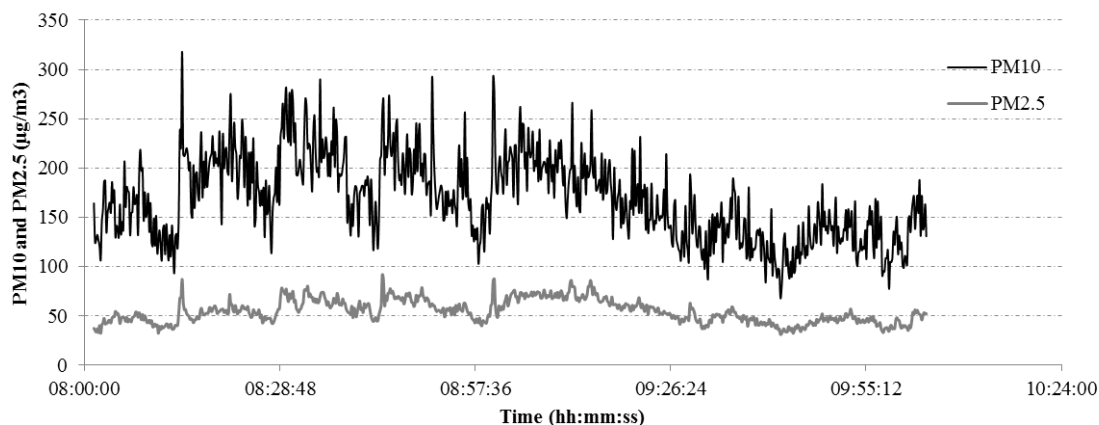
Plattform	PM2.5 µg/m ³	PM10 µg/m ³
Stockholm city FM	11,6	37,1
Stockholm city EM	19,5	69,1
Stockholm city medelvärde	15,3	52,1
Odenplan FM	32,7	127,8
Odenplan EM	41,3	181,9
Odenplan medelvärde	37,1	155,5
Södra station FM	30,7	30,7
Södra station EM	45,7	45,7
Södra station medelvärde	38,5	38,5

Tabell 11. Utvecklingen av PM10 nivåer på Odenplan plattform. Mätt med TSI OPS.

Dag	PM10 µg/m ³	Kommentar
21 juni 2017	12	Ingen trafik eller passagerare
28 juni 2017	116	Ett prov tåg i drift, inga passagerare.
20 juli 2017	113	Ordinarie trafik efter en veckas drift.
21 juli 2017	131	Ordinarie trafik efter en veckas drift.
30 oktober 2017	143	Ordinarie trafik efter 3 månaders drift.
31 oktober 2017	180	Ordinarie trafik efter 3 månaders drift.
1 november 2017	203	Ordinarie trafik efter 3 månaders drift.
7 november 2017	258	Ordinarie trafik efter 3 månaders drift.



Figur 5. PM10 och PM2.5 halter ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) uppmätta ombord på pendeltåg X60. Förarhytt (övre figur) och Tågvärdshytt (nedre figur).



Figur 6. PM10 och PM2.5 halter ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) uppmätta ombord på Odenplans plattform med TSI OPS den 1 november mellan 8.00 till 10.00.

Slutsatser och rekommendationer

Partikelhalterna varierar mellan plattformarna, där Odenplan och Södra station har högre halter, jämfört med Stockholm City. Skillnaden är mer än en faktor 2. En faktor som kan bidra till skillnaden är att antalet tåg som stannar vid Stockholm City, är ca hälften av antalet som stannar vid Odenplan och Stockholm Södra, samt att trafiken i huvudsak är i en riktning vid Stockholm City. Den långsiktiga trenden vid Odenplan är ökande, se Tabell 11. Detta kan bero på in slitning av nylagd räls som behöver anpassas till de trafikerande tågens hjulprofil [7]. Här rekommenderas fortsatta mätningar som inkluderar justering av plattformens ventilationssystem.

Halterna av PM10, angett som medelvärde per mätsträcka i Citybanans tunnel, varierade mellan 11–27 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Detta resultat är i nivå med miljökvalitetsmålen, som finns för utomhusluft (15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ årsmedelhalt). Miljökvalitetsnormen som finns för utomhusluft, 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ årsmedelhalt, är högre.

Tågvärdarna utsätts för högre PM10-halter än förarna. För tågvärdshyttmätningarna varierade medelvärdet av partikelhalterna av PM10 per mätsträcka i citybanans tunnel mellan 29 – 57 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Detta resultat är i nivå med eller överskridande Miljökvalitetsnormen som finns för utomhusluft 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ årsmedelhalt. Det är endast höga halter under tiden i tunnel, utanför tunnlar vädras tunnelluften snabbt ut, se Figur 5. De högre partikelhalterna uppmätta i tågvärdshyttarna kan förklaras med att tågvärdarna öppnar dörren till hytten vid stopp och därigenom får in tunnelluft direkt in hytten. Tågvärdarna går dessutom ofta ut på plattformarna och utsätts därför också för plattformsluften. Här rekommenderas fortsatta mätningar som inkluderar inverkan av olika inställningar av hyttens ventilationssystem, och att tågvärdar utrustas med portabla partikelmätare, som även mäter partikelhalterna vid vistelse på plattform.

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] Förordning om miljökvalitetsnormer för utomhusluft, Luftkvalitetsförordning (2010:477). Miljödepartementet 2010, SFS 2010:477
- [3] Miljökvalitetmål: <http://www.miljomal.se/>
- [4] Hygieniska gränsvärden (AFS 2015:7). Arbetsmiljöverket 2015, AFS 2015:7
- [5] 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
- [6] Silvergren S et al., " Ombordmätningar av partiklar och koldioxid i X60B förarhytter", SLB Analys Rapport SLB 2:2017
- [7] Wheel-rail interface handbook, Editors Lewis R och Olofsson U, Woodhead Publishing Limited 2009.