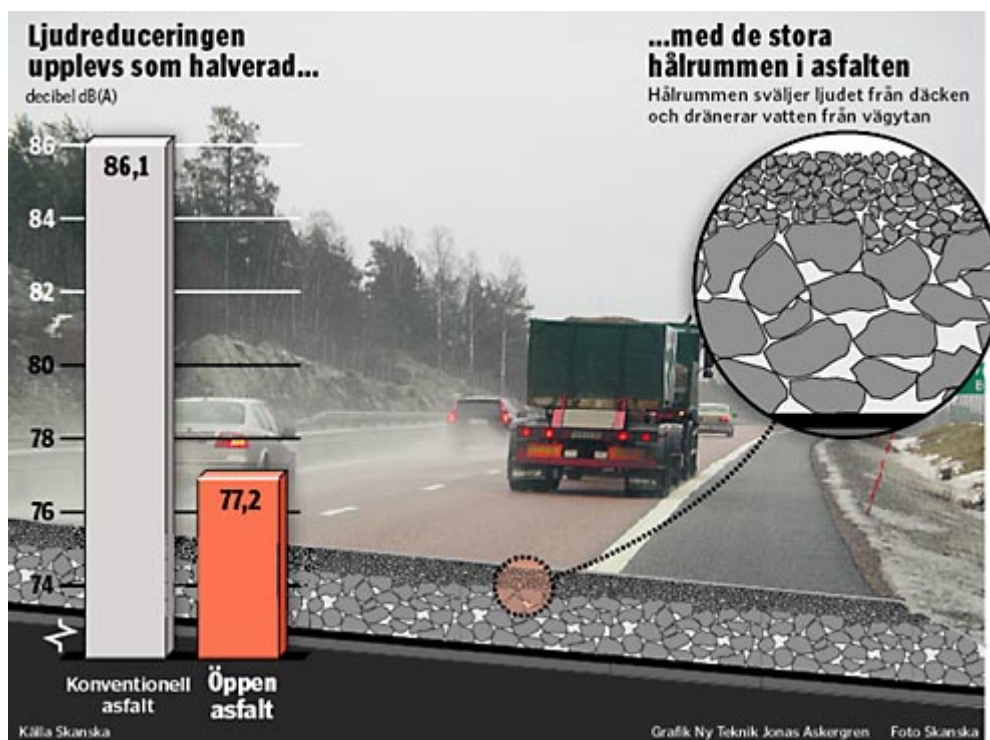


Delrapport från forskningsprojekt

Betydelsen av bullerreducerande beläggning för partikelhalterna



Stockholm december 2006

Förord

Denna redovisning är en del i ett forskningsprojekt med syfte att få större kunskap om olika typer av vägmaterials PM10-generering, och i förlängningen kunna göra ett bättre urval av vägbeläggningar som både är bullerdämpande och som alstrar låga halter av partiklar i luften intill vägarna. I projektet ingår tre aktiviteter som syftar till att kvantifiera partikelgenereringen; (i) fasta mätningar intill en tyst asfalt vid Hallunda, (ii) mobila mätningar av partikelgenereringen längs vägar belagda med olika asfaltstyper, (iii) test av partikelbildning och -karaktäristik för dubbdäckskörning av tre beläggningar i VTI:s provvägsmaskin (PVM). I denna delrapport presenteras resultaten från de fasta mätningar intill den tysta asfalten vid Hallunda.

Projektet finansieras av SBUF, Vägverket i Borlänge och region Stockholm samt av Skanska Sverige AB. Projektledare från Skanska är Maria Nordberg och från Vägverket Michelle Benyamine. Projektet genomförs i samarbete mellan Skanska, Vägverket, SLB analys vid Miljöförvaltningen i Stockholm, ITM vid Stockholms universitet samt VTI Linköping.

Projektet har bestått av en arbetsgrupp och en referensgrupp. Arbetsgruppen har bestått av Maria Norberg och Roger Nilsson, Skanska, Stockholm, Michelle Benyamine, Vägverket (Stockholm), Christer Johansson, Miljöförvaltningen, Stockholm och ITM Stockholms universitet. Referensgruppen har bestått av Torbjörn Jacobsson, VTI (Linköping), Dan Arvidsson, Miljöförvaltningen i Botkyrka, Martin Juneholm, Vägverket (Borlänge), Göran Westberg, Trafikkontoret i Stockholm samt de i arbetsgruppen.

Denna delrapport är framtagen av SLB analys som också ansvarat för mätningarna vid Hallunda. Rapporten är skriven av Christer Johansson. Mätningarna har genomförts av Billy Sjövall, Börje Norberg och Magnus Brydolf.

Stockholm den 14 december 2006

Christer Johansson
SLB analys, Miljöförvaltningen
ITM Stockholms universitet

Innehåll

1. Sammanfattning	1
2. Summary	2
3. Bakgrund och syfte.....	3
4. Metoder	3
4.1. Sträckan och beläggningen.....	3
4.2. Mätplatser, mätinstrument och mätperioder.....	4
5. Resultat.....	6
5.1. Genomsnittliga halter	6
6. Referenser.....	9

1. Sammanfattning

I denna rapport redovisas stationära mätningar av PM10- och NOx-halter intill motorvägen vid en provsträcka med tyst asfalt i Botkyrka. Syftet har varit att avgöra om PM10-emissionen från den tysta asfalten skiljer sig från en traditionell beläggning (ABS-beläggning 16 mm) på motorvägen. Mätningarna genomfördes under perioden 1 mars till 20 juni 2006. Två fasta mätstationer installerades – en vid provsträckan och en vid en referenssträcka med normal beläggning.

De genomsnittliga halterna av både PM10 och NOx var lägre vid provsträckan. Under dagtid (7-19) då vindriktningen var sådan att halterna påverkas huvudsakligen av emissionerna längs motorvägen uppmättes $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ PM10 vid provsträckan och $86 \mu\text{g}/\text{m}^3$ vid referenssträckan. Men att dessa skillnader till största delen beror på olika utspädningsförhållanden vid de två platserna kan konstateras genom att även NOx halterna var väsentligt högre vid referenssträckan; $208 \mu\text{g}/\text{m}^3$ vid referenssträckan och $127 \mu\text{g}/\text{m}^3$ vid provsträckan.

Genom att relatera PM10-halterna till NOx-halterna kan skillnaderna emissionerna av PM10 från beläggningarna uppskattas. Vid sydliga-sydvästliga vindar, d.v.s. då halterna påverkas som mest av trafikens emissioner av NOx och PM10, var den genomsnittliga kvoten mellan halterna av PM10 och NOx exakt lika stor; 470 mg PM10 per g NOx, vilket indikerar att de genomsnittliga PM10 emissionerna från beläggningarna var lika stor.

För NOx är emissionsfaktorn för trafiken på motorvägen 0,7 g/fordonskilometer. För PM10 blir då den genomsnittliga emissionsfaktorn 330 mg/fordonskilometer ($0,7 \cdot 470$), vilket kan jämföras med den genomsnittliga emissionsfaktorn för ett helt år som uppskattats för Hornsgatan på ca 240 mg/fordonskilometer. Med tanke på att PM10 emissionerna påverkas av dubbdäcksandelen, fordonshastigheten och av de meteorologiska förhållandena (fuktigheten på vägbanorna) så förefaller emissionsfaktorn som erhållits för E4/E20 ganska rimlig.

En osäkerhet i denna jämförelse är att emissionerna av NOx och PM10 kan ha varit lite olika vid de två platserna. Visserligen var trafikmängderna desamma men vid referenssträckan kan utsläppen från kringliggande vägar ha gett visst extra tillskott till halterna. Om tillskottet varit lika stort för NOx och PM10 har detta ingen betydelse för kvoterna men om tillskottet är större för NOx än PM10 är den beräknade kvoten vid referenssträckan lite för hög vilket innebär att provsträckan egentligen genererat mindre PM10 än referenssträckan.

Slutsatsen är att PM10 emissionerna från den tysta asfalten inte skiljer sig mätbart från referensbeläggningen. Om man betraktar osäkerheterna i dessa uppskattningar bedöms skillnaden i PM10-emissioner mellan beläggningarna vara mindre än ca 15 %.

Ytterligare mätningar med en mobil utrustning kommer att presenteras i en separat rapport av ITM (Stockholms universitet). Dessutom pågår f n mätningar av beläggningarnas PM10 generering vid VTI's provvägsmaskin i Linköping.

2. Summary

Road traffic may lead to problems with high noise and particle emissions. Both these problems are related to the type of asphalt used. Measurements have shown that the road surface wear caused by studded tyres is a major contributor behind the high PM10 levels observed in Stockholm. Noise may be reduced using more porous asphalts. In order to combat traffic noise at source, the Stockholm Region of the Swedish Road Administration (SRA) is taking part in an EU project aimed at studying and developing a number of different solutions to reduce the noise from road surfaces. It has been shown on test surfaces using three different types of wearing course that the most durable and quietest type is a double porous asphalt pavement with a life span of 7 years (Dutch findings) and where noise levels have been reduced by as much as 9 dBA. This double porous asphalt is now being used in full scale at Albyberget in the Botkyrka Municipality on an approximately 1 300 metre stretch of the E4/E20 Highway.

The PM10 emissions from the low-noise asphalt were evaluated using stationary measurements of PM10 and NOx alongside a highway. The low-noise asphalt is a porous double-drain type of asphalt. As a reference parallel measurements were made simultaneously alongside a traditional stone mastic asphalt (16 mm). The measurements were performed during March - June 2006.

The mean levels of PM10 and NOx were lower alongside the low-noise asphalt. During daytime (7 – 19) when the wind direction were such that the emissions from the traffic affected the measurements, the mean level at the low-noise asphalt was $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ PM10 and at the reference the mean level was $86 \mu\text{g}/\text{m}^3$. However, this difference was mainly due to different meteorological conditions at the two sites, since the mean NOx level was also much lower at the low-noise asphalt site ($127 \mu\text{g}/\text{m}^3$ as compared to $208 \mu\text{g}/\text{m}^3$ at the reference site).

The quotient of PM10 versus NOx may be used as a measure the PM10 emission from the road. The mean ratio during periods with winds from the road was the same for the two sites; 470 mg PM10 per g NOx, indicating that the PM10 emission was exactly the same. For NOx the mean emission factor for the vehicles along this highway is around 0.7 g/vkm. Then the mean emission factor for PM10 may be estimated to be 330 mg/vkm, which is consistent with other estimates made for Stockholm.

The main uncertainties in this comparison between the reference site and the low-noise site is due to differences in terms of emissions from surrounding traffic (i.e. emissions not coming from the highway). Based on a more detailed analysis we conclude that these measurements indicate that the PM10 emissions from the two asphalt types do not differ by more than 15 %.

Further studies made by ITM Stockholm university based on PM10 emissions using a mobile measurement system will be presented later. In addition, the PM10 generation from the low-noise asphalt will be compared with the reference asphalt in a road test facility by VTI (Linköping).

3. Bakgrund och syfte

På många platser i Stockholms innerstad och längs de mest trafikerade delarna av det statliga vägnätet (infarterna och utfarterna till Stockholm) överskrids den lagstiftade miljö kvalitetsnormen för luftpartiklar (PM10). Många studier har visat på samband mellan partikelhalterna och olika hälsoeffekter, främst hjärt- kärlsjukdom och luftvägssjukdomar. Av alla luftföroreningar är partiklarna att betrakta som viktigast att åtgärda ur hälsosynpunkt.

Dubbdäckens slitage på vägbeläggningen är en viktig bidragande orsak till de höga halterna PM10 i Stockholmsregionen (Johansson et al., 2005). Studier av VTI med provvägsmaskinen i Linköping har visat att olika beläggningar ger väsentligt olika emission av PM10. I projektet Weartox (Gustafsson et al., 2005) studerades två beläggningstyper, en hårdare kvartsitbeläggning (ABS-beläggning) och en mindre hållbar granitbeläggning (ABT-beläggning). Resultaten visar att ABT-beläggningen producerar mer PM10 än den mer slitstarka ABS-beläggningen. Beläggningstypen kan därmed vara en viktig komponent för att sänka luftpartikelhalterna.

Materialet i och konstruktionen av vägbeläggningen är också betydelsefullt för trafikbullernivån. För att åtgärda trafikbullret vid källan deltar VST i ett EU-projekt med syfte att undersöka och utveckla ett antal olika lösningar av bullerreducerande vägbeläggningar. Provytor med tre olika beläggningstyper har visat att den som har störst beständighet och högst bullerreduktion är en dubbel dränbeläggning med en livslängd på ca 7 år (Holländska erfarenheter) och en bullerreduktion på upp till 9 dBA. Denna dubbeldränbeläggning används i full skala på en bullerutsatt vägsträcka på ca 1 300 m på E4/E20 i Albyberget, Botkyrka kommun.

Syftet med detta projekt är att få större kunskap om olika typer av vägmateriäls PM10-generering, och i förlängningen kunna göra ett bättre urval av vägbeläggningar som både är bullerdämpande och som alstrar låga halter av slitagepartiklar. Med hjälp av både mobila och stationära mätanordningar mäts partikelgenereringen från den vägsträcka i Albyberget, Botkyrka kommun, som belagts med bullerreducerande dubbeldränbeläggning.

4. Metoder

4.1. Sträckan och beläggningen

Beläggningens sträckning längs E4/E20 vid Hallunda framgår av Figur 1. Bakgrunden till denna placering var de höga bullernivåerna som mätts upp vid Albyberget ett par hundra meter öster om motorvägen. Sträckan är en ca 1200 m lång del av E4. Beläggningen avser alla körfält i vardera körriktningen inklusive accelerations- och retardationssträckor.

Den skyltade hastigheten är 90 km/h och uppskattade trafikbelastningen framgår av Figur 2. Trafikdata kommer från Luftvårdsförbundets i Stockholm och Uppsala läns databas.



Figur 1. Sträckans belägenhet i förhållande till kringliggande bostadsområden. OBS att även anslutande accelerations- och retardationssträckor vid Eriksbergsledens trafikplats belades med tyst asfalt.

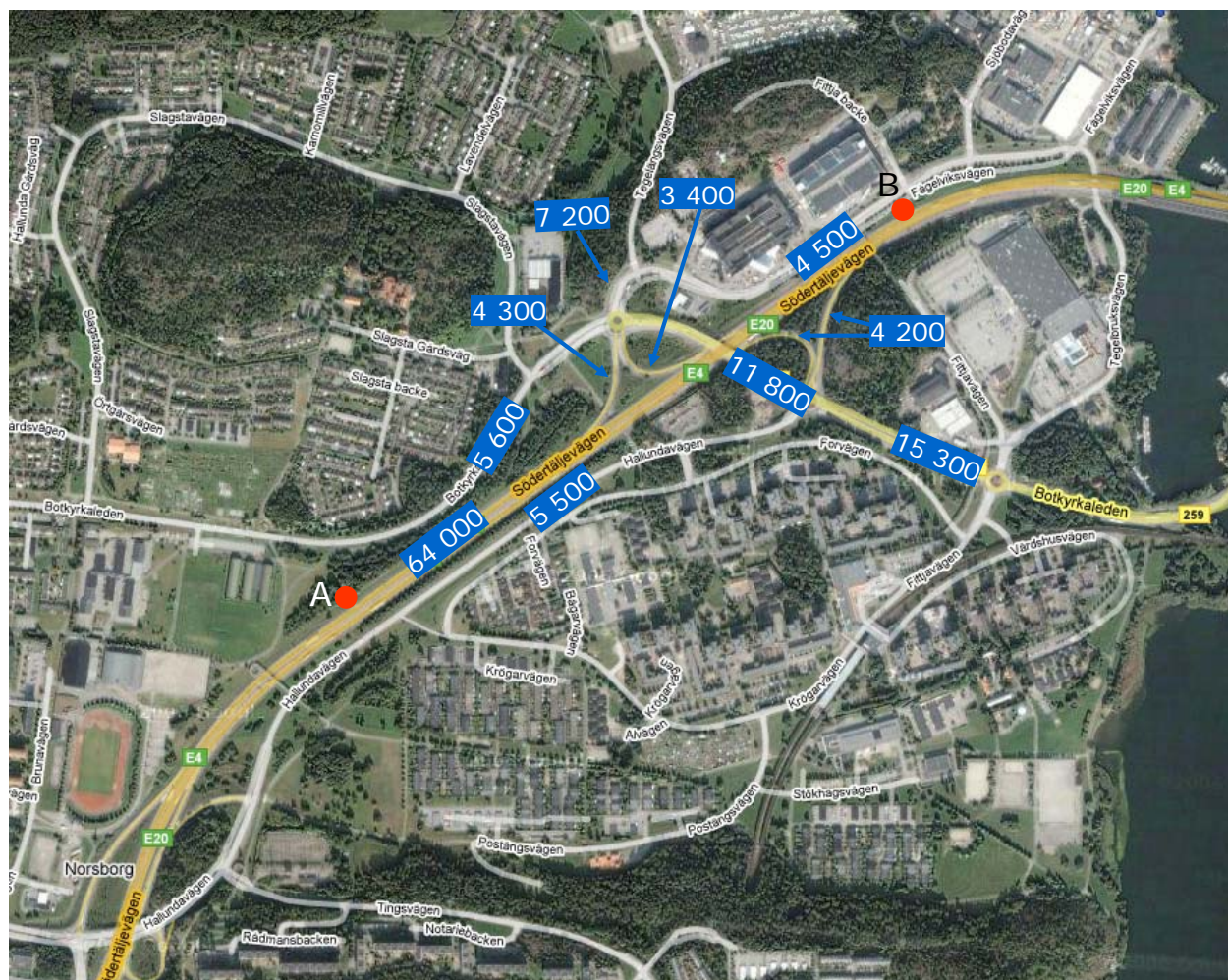
4.2. Mätplatser, mätinstrument och mätperioder

De stationära mätningarna har innefattat två mätstationer, vars placering framgår av Figur 2. Ena mätstationen (A) registrerade halterna av PM₁₀ och NO_x intill provsträckan. Den andra (B) registrerade PM₁₀ och NO_x-halterna intill en orörd, referenssträcka. PM₁₀ mättes med TEOM instrument och NO_x med instrument baserade på kemiluminescens. Samma typ av instrument användes på de båda mätplatserna. När mätningen avslutats placerades instrumenten intill varandra för att kontrollera att de visade samma resultat. Resultaten som presenteras nedan har korrigerats för att instrumenten avvek något vid denna kontroll.

Syftet med NO_x-mätningarna var att använda NO_x som indikator på avgasutsläppen och normera för utspädningen av utsläppen längs motorvägen. Dessutom mättes meteorologi vid referenssträckan i form av vindhastighet, vindriktning, vertikal och horisontell turbulens, temperatur och relativ fuktighet. Vind och turbulens registrerades med en ultraljudsgivare. Mätningarna startades 1 mars till 20 juni 2006. Samtliga mätvärden medelvärdesbildades till 15-minutersvärden (totalt ca 10 600 st 15 minuters värden för varje mätparameter) och sparades automatiskt i SLB's databas via modemöverföring.

Valet av mätplatser begränsades av kravet att det måste finnas skyddsräcke mellan mätstationen och motorvägen. Trafikflödet var ungefär detsamma vid de båda mätplatserna, men placeringen vid referenssträckan var inte helt optimal eftersom andra förhållandena var något annorlunda där jämfört med vid provsträckan. Dels var topografin annorlunda; motorvägen ligger lite lågt i förhållande till omgivningen med vallar främst på norra sidan där referensmätstationen placerades. Dels sluttar motorvägen något vilket medför att trafiken västerut har motlut och därmed något högre avgasemissioner jämfört med trafiken vid provsträckan. Dessutom kröker motorvägen något strax väster om referenssträckan; provsträckan ligger däremot utmed en rak del av motorvägen. Krökningen skulle eventuellt kunna medföra visst ökat slitage och därmed något högre emissioner vid referenssträckan än

om den jämförts med en helt rak sträcka. Om man jämför kvoten PM10/NOx vid referenssträckan med den vid provsträckan tar dessa två effekter (krökningen och motlutet) delvis ut varandra, men eftersom detta främst bör vara ett problem vid ostliga vindar analyseras enbart sydliga-sydvästliga vindar så att osäkerheten minimeras.



Figur 2. Mätstationernas placering. A) Mätsträcka längs provsträckan, B) referenssträcka. Trafikflödessiffror anges som medelvärden för alla dygn under ett år (årsmedeldygn).



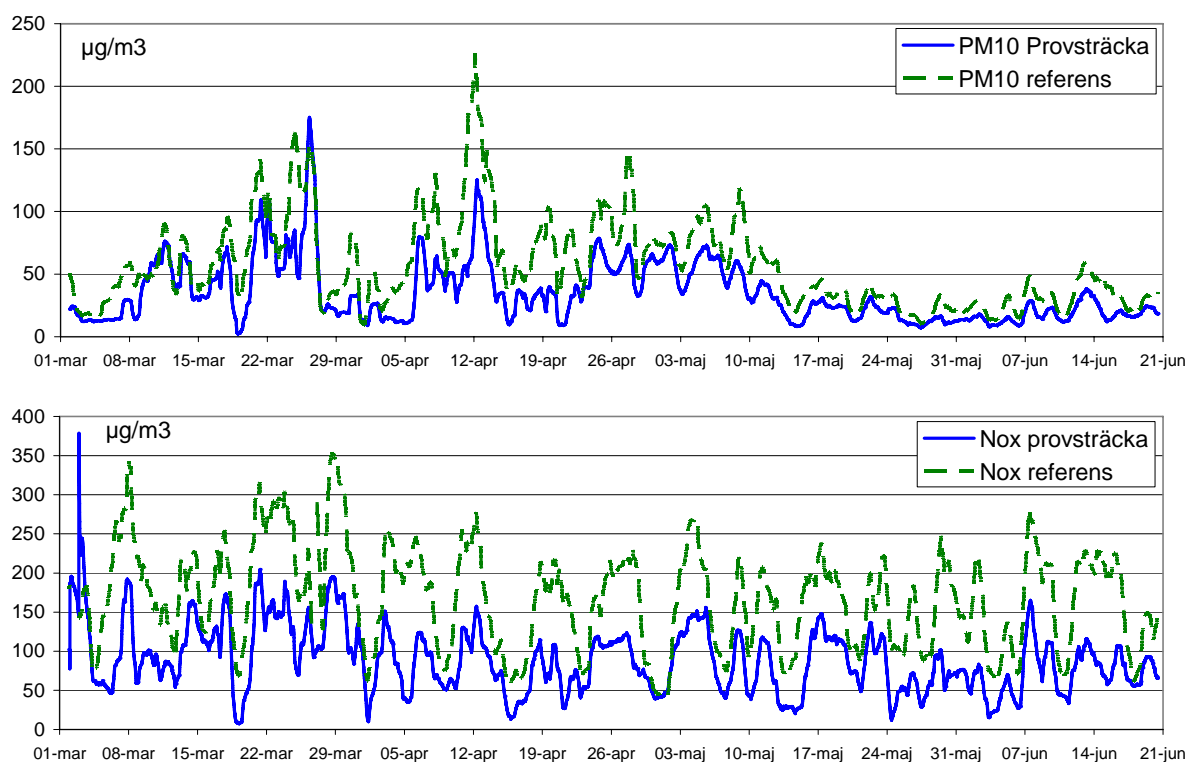
Figur 3. Den fast mätstationen för mätningar av PM10- och NOx-halter samt meteorologi intill provbeläggningen i Hallunda (mätplats A i Figur 2).

5. Resultat

5.1. *Genomsnittliga halter*

Som framgår av Figur 4 var de genomsnittliga PM10-halterna och även NOx-halterna betydligt lägre vid provsträckan jämfört med referenssträckan. Av figuren framgår att variationerna i halterna av PM10 skiljer sig kraftigt från variationerna i NOx-halterna. För PM10 uppmättes de högsta halterna under slutet av mars, början av april och till viss del även under slutet av april. Denna variation hänger främst samman med vägbanornas fuktighet. För NOx halterna styrs variationerna mest av trafikens utsläpp som är lägre på helgerna då trafikflödet sjunker.

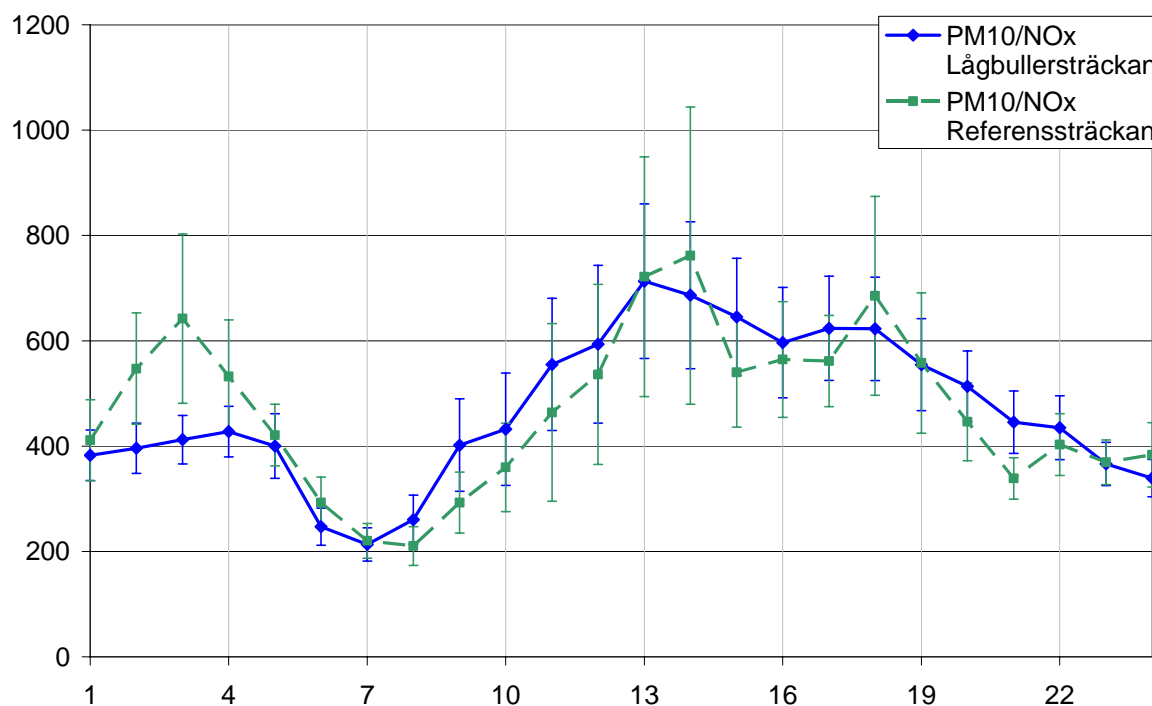
Observera att halterna som redovisas i figuren inkluderar alla värden oavsett vindriktning. Eftersom vi endast är intresserade av halterna som uppkommer på grund av emissionerna från trafiken på vägbanorna vid provsträckan och referenssträckan måste endast vindar från motorvägen väljas.



Figur 4. Rullande dygnsmedelvärden av PM10 halterna (övre grafen) och NOx halterna (undre) vid de båda mätstationerna. (blå är provsträckan och streckad grön är referenssträckan) utan hänsyn till vindriktning och vindhastighet.

I Figur 5 presenteras genomsnittliga dygnsvariationer för kvoten mellan PM10- och NOx-halterna vid provsträckan respektive referenssträckan. Kvoten är ett mått på PM10-emissionerna från de två beläggningarna. Observera att värdena endast avser tillfällen då vindriktningen var sydlig-sydvästlig (mellan 130 och 220 grader) och vindhastigheten större än 1 m/s. Totalt återstod då 1805 st värden och varje timme i Figur 5 består av mellan 54 och 100 värden.

De genomsnittliga kvoterna för hela perioden var 469 (mgPM10/gNOx) för båda sträckorna. Den genomsnittliga emissionsfaktorn för NOx år 2006 för alla fordon längs motorvägen är ca 0,7 g/fordonskilometer. Detta betyder att motsvarande emissionsfaktor för PM10 var knappt 330 mg per fordonskilometer. Detta värde kan jämföras med den genomsnittliga emissionsfaktorn för ett helt år som uppskattats för Hornsgatan på ca 240 mg/fordonskilometer (Johansson m fl., 2005). Med tanke på att PM10 emissionerna påverkas av dubbdäcksandelen, fordonshastigheten och av de meteorologiska förhållandena (fuktigheten på vägbanorna) så förefaller emissionsfaktorn som erhållits för E4/E20 ganska rimlig.



Figur 5. Genomsnittliga dygnsvariationer i kvoten mellan PM10- och NOx-halterna vid provsträckan respektive referenssträckan. Värdena avser endast tillfällen (15minutersmedelvärden) då vindriktningen var mellan 130 och 220 grader och vindhastigheten större än 1 m/s. De vertikala linjerna anger 95-procentiga konfidensintervall för medelvärdena. Skalan är mg PM10/g NOx.

Som framgår av Figur 5 är kvoterna något högre vid referenssträckan jämfört med provsträckan under nattetid och tvärtom under dagtid. Skillnaderna är dock små och knappast signifikanta. Troligen är fordonshastigheterna i genomsnitt något högre under nätterna, vilket tenderar att öka både PM10 slitaget och NOx emissionerna. De lägsta kvoterna noteras under morgonen mellan kl. 6 och 9 vilket kan hänga samman med lägre fordonshastigheter under morgonrusningen. Tyvärr hade vi inga mätningar av vare sig fordonsflöden, hastigheter eller vägbanefuktigheten så det går inte att dra några slutsatser angående detta.

För att ytterligare kvantifiera skillnaderna mellan partikelemissionerna från den tysta beläggningen och referensbeläggningen redovisas i Tabell 1 en sammanställning av de genomsnittliga halterna av PM10 och NOx vid de två mätplatserna. Tydligaste skillnaderna bör synas då det är mest trafik under dagtid. Därför valdes endast tillfällen med mätdata mellan kl. 7 och kl. 19, de perioder då vindarna var sydliga (vindriktning mellan 130 och 220 grader) samt med en vindhastighet som var större än 1 m/s eller 2 m/s. Tabellen visar att halterna av partiklar (PM10) var 30 % lägre vid den tysta asfalten (provbeläggningen) jämfört med vid referenssträckan. Men samtidigt var halterna av NOx 40 % lägre, vilket indikerar att ventilationsförhållandena var bättre vid mätplatsen med provbeläggningen. Detta var inte oväntat med tanke på att mätplatserna är så olika såsom beskrivits ovan. För att kunna avgöra om PM10 emissionen från provbeläggningen skiljer sig från emissionen från referensbeläggningen beräknades kvoten mellan PM10 och NOx. I genomsnitt var kvoten 12 % **högre** vid provbeläggningen i de fall då vindhastigheten var högre än 1 m/s och drygt 3 % högre då vindhastigheten var större än 2 m/s. Slutsatsen, om man beaktar osäkerheterna som innefattar skillnaderna mellan mätplatserna med avseende på ventilationsförhållandena, är att den genomsnittliga PM10 emissionen från provbeläggningen inte skiljer sig mätbart från

emissionen från referensbeläggningen. Skillnaden i partikelemission mellan beläggningarna är troligen mindre än 15 %.

Tabell 1. Genomsnittliga halter (\pm 95 % konfidensintervall) av NO_x och PM₁₀ vid de två mätplatserna under dagtid och vid sydliga vindar med vindhastigheter större än 1 m/s, utom sista kolumnen där vindhastigheten är större än 2 m/s.

	NO_x	PM₁₀	PM₁₀/NO_x	PM₁₀/NO_x
	Dagtid kl. 7-19 Vindrikt. 130- 220 Vindhast. > 1 m/s	Dagtid kl. 7-19 Vindrikt. 130- 220 Vindhast. > 1 m/s	Dagtid kl. 7-19 Vindrikt. 130- 220 Vindhast. > 1 m/s	Dagtid kl. 7-19 Vindrikt. 130- 220 Vindhast. > 2 m/s
Provsträckan	127 \pm 4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	60 \pm 4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	537 \pm 31 mg/g	671 \pm 48 mg/g
Referenssträckan	210 \pm 7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	86 \pm 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	479 \pm 40 mg/g	648 \pm 78 mg/g
Antal mätvärden (15 min. värden)	881	899	881	350
Kvot Lågbuller/Referens	0,60	0,70	1,12 \pm 0,03	1,035 \pm 0,05

6. Referenser

Gustafsson M. et al. 2005. WearTox - Effekter på epitelceller och alveolmakrofager av slitagepartiklar från beläggning, däck och dubbar genererade i provvägsmaskin. Tillgänglig från <http://www.ecotraffic.se/pdf/NP2003%20Mats%20Gustafsson,%20VTI.pdf> [2005 15th of Aug].

Johansson C, Norman M, Ormstedt G and Swietlicki E. (2005). "Partiklar i stadsmiljö - källor, halter och olika åtgärders effekt på halterna mätt som PM₁₀", SLB Rapport 4:2004, Stockholms luft- och bulleranalys,(Stockholm), 88