

SLUTRAPPORT FUD 3066, SBUF 11748/11858

Bullerreducerande beläggnings betydelse för partikelhalterna



NOVEMBER 2007

Förord

Projektet har genomförts i samarbete mellan Skanska, Vägverket och SLB (Stockholms luft- och bulleranalys) vid Miljöförvaltningen i Stockholm, ITM (Institutet för tillämpad miljövetenskap) vid Stockholms Universitet och VTI (Statens väg- och transportforskningsinstitut) i Linköping. Projektledare har varit Maria Nordberg (Skanska Sverige AB) och Michelle Benyamine/Christer Strömberg (Vägverket). Projektet har finansierats av Skanska Sverige AB, Vägverket och SBUF (Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond).

Projektet har bestått av en arbetsgrupp och en referensgrupp. Arbetsgruppen har utgjorts av Maria Nordberg och Roger Nilsson (Skanska), Michelle Benyamine, Christer Strömberg och Kerstin Gustavsson (Vägverket Region Stockholm) och Christer Johansson (SLB och ITM). Referensgruppen har utgjorts av Torbjörn Jacobsson (VTI), Dan Arvidsson (Miljöförvaltningen i Botkyrka kommun), Martin Juneholm (Vägverket), Göran Westberg (Trafikkontoret, Stockholm), Jostein Aksnes (Statens Vegvesen, Vegdirektoratet, Trondheim), samt personer i arbetsgruppen.

Summary	4
Sammanfattning	5
1. Bakgrund	6
1.1 Syfte	8
1.2 Nytt	8
2. Metod	9
2.1 Sträckan och beläggningen	9
2.2 Stationära mätningar	9
2.3 Mobila mätningar	11
2.4 Laborativa mätningar	13
3. Beskrivning av den tysta asfalten	14
4. Resultat	15
4.1 Stationära mätningar	15
4.2 Mobila mätningar	16
4.3 Laborativa mätningar	16
5. Diskussion	17
5.1 Stationära mätningar	17
5.2 Laborativa mätningar	17
5.3 Mobila mätningar	18
6. Vidare forskning	18
Litteraturförteckning	19
Bilaga 1 – Delrapport Stationära mätningar	21
Bilaga 2 – Delrapport Laborativa mätningar	21
Bilaga 3 – Mobila Mätningar	21

Summary

In order to protect human health and the environment, limit values for air quality have been laid down as Environmental Quality Norms (EQN) in EU legislation. The legislated EQN for PM10 is currently being exceeded, particularly in the Stockholm inner city as well as along heavily operated roads in Stockholm County. Research has shown that the road surface wear caused by studded tyres is a major contributory factor behind the high PM10 levels.

The design and materials used in the wearing course play a significant part in the generation of PM10 as well as traffic noise levels. In order to combat traffic noise at source, The Swedish Road Administration (SRA), the Stockholm Region 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 was used in full scale at Albyberget in the Botkyrka Municipality on an approximately 1200 metre stretch of the E4/E20 European Highway, along which residents are, exposed to high noise levels.

The aim of this project is to learn more about the different ways in which PM10 from road materials is generated, and ultimately to enable a better selection of wearing courses that both reduces noise and produces low levels of road wear particles. Coordination with a FUD-project evaluating the noise levels alongside highways with porous asphalt pavements tested on E4 and E18 will optimize this selection. The proposed course of action is to install mobile and stationary instruments that measure the particulate matter generated due to the wear of pavements were utilized. Measurements were carried out on the stretch of road in the Botkyrka Municipality at Albyberget which was to be paved with noise-reducing double porous asphalt. As the voids ratio in double porous asphalt is about 20% higher than in traditional surfacing, it was expected that there will be less emission of worn particles, thereby lower PM levels in the ambient air close to the highway. In addition, laboratory measurements of the PM10 generation were made on different pavements including porous pavements.

The conclusion is that the studied porous asphalt pavement does not emit lower particulate matter compared to traditional pavements, based on measurements done in the field (mobile and stationary) as well in the laboratory. The emission of worn particles from the pavement is influenced by:

- the velocity of passing vehicles
- the texture of the pavements surface
- pebble mill value
- size of stone
- quality of stone material

Naturally it would have been desirable to establish the porous asphalt as low-emitting, though the conclusion that it is comparable with traditional pavements is not bad ever. When it comes to choose an environmental improved pavement the porous asphalt pavement is combining a better acoustic environment and a status quo outdoor air quality.

Sammanfattning

För att skydda människors hälsa och miljö har gränsvärden för bland annat luftkvalitet införts som miljö kvalitetsnormer (MKN) utifrån EU-lagstiftningen. Idag överskrids den lagstiftade MKN för luftpartiklar (PM10) i bl.a. Stockholms innerstad och på de vägar i länet som har mycket trafik. Forskning visar att dubbdäckens slitage av vägbeläggningen är en av de viktigaste bidragande orsakerna till de höga halterna av PM10.

Materialet i och konstruktionen av vägbeläggningen är också betydelsefull för trafikbullernivån. För att åtgärda trafikbullret vid källan deltar Vägverket Region Stockholm (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 beläggningstyp som har störst beständighet och högst bullerreduktion är en dubbel dränbeläggning med en livslängd på ca 7 år (Holländska erfarenheter) och med en bullerreduktion på upp till 9 dBA. Denna dubbeldränbeläggning används nu i full skala på en bullerutsatt vägsträcka på ca 1200 m på E4/E20 i Albyberget, Botkyrka kommun.

Syftet med detta projekt är att få större kunskap om olika typer av vägmateriäls generering av PM10, och i förlängningen kunna göra ett bättre urval av vägbeläggningar som både är bullerdämpande och som alstrar låga halter av slitagepartiklar. Samordning med FUD-projektet "Bullerdämpande beläggningar - utvärdering och uppföljning av provsträckor på E18 och E4", har genomförts för att optimera detta urval. Med hjälp av både mobila och stationära mätanordningar mäts partikelhalterna från den vägsträcka i Albyberget, Botkyrka kommun, som ska beläggas med bullerreducerande dubbeldränbeläggning. Då porositeten i denna beläggning är ca 20 % större än i traditionell beläggning förväntas minskade emissioner av PM10 och därmed lägre partikelhalter i luften i anslutning till vägen.

Slutsatsen visar dock att tyst asfalt inte är en lågemitterande beläggning baserat på gjorda mätningar (stationära, mobila och laborativa). Påverkande faktorer på generering av PM10 är:

- hastigheten
- ytans textur (sliter mer på däck och ger fler ultrafina partiklar)
- kulkvarnsvärde
- stenstorlek
- stenmaterial

Självklart hade det varit önskvärt den tysta asfalten skulle ha varit en lågemitterande beläggning. Slutsatsen visar dock att den är jämförbar med övriga beläggningar avseende generering av PM10, vilket även det kan vara en fördel. När det gäller att prioritera mellan minskade bullernivåer eller förbättrad luftkvalitet, visar studien att tyst asfalt åtminstone inte bidrar till försämrade luftkvalitet.

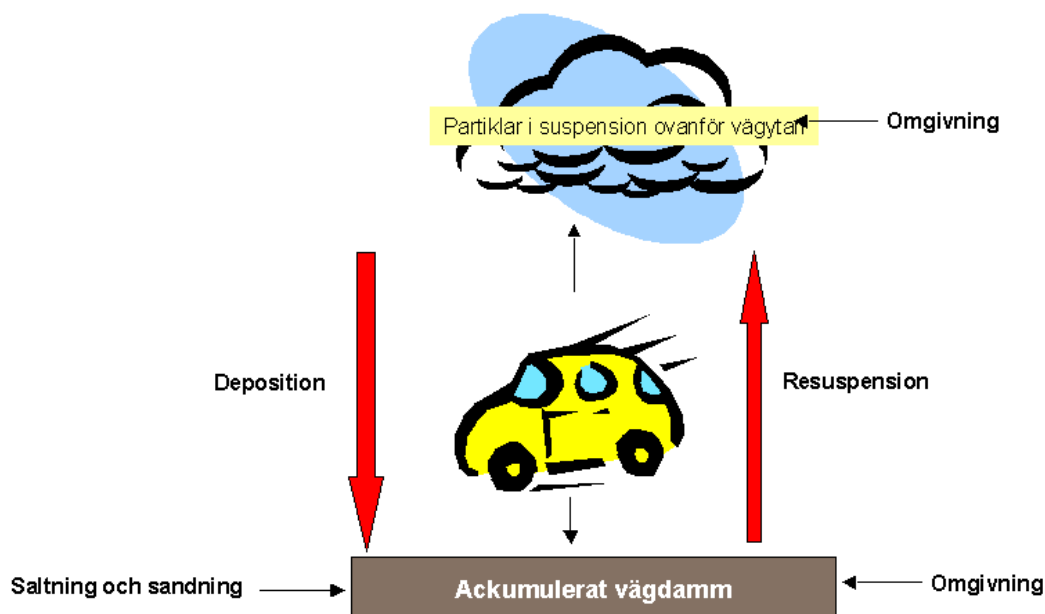
1. Bakgrund

Flera studier har visat att kortsiktiga variationer i luftföroreningshalter utomhus samvarierar med lungfunktion, astma och bronkitsymtom, symtom från nedre luftvägarna hos barn, sjukhusinläggningar och dödstal. Luftföroreningarna kan troligen även orsaka lungcancer. Exponering för partiklar sker då de inhaleras och hälsoeffekterna beror framförallt på typ och mängd av inhaleda partiklar, samt hur länge inhalationen pågått. Inandning av organisk damm kan vara en sjukdomsalstrande faktor för utvecklandet av vissa respiratoriska sjukdomar såsom yrkesastma, kronisk bronkit och allergisk alveolit. Oorganiska partiklar däremot kan troligen orsaka inflammation eller bärare av allergen. I flera studier där man uppskattat exponeringen för luftföroreningar för ett stort antal personer under tiotals år har man noterat en långsiktigt förhöjd dödlighet för dem som bott i områden med högre luftföroreningsnivåer och då främst knuten till partiklar (Johansson 2007).

WHO har beräknat att partikulära luftföroreningar förkortade år 2000 i genomsnitt medellivslängden med 8,6 månader inom EU år 2000 (WHO 2005). Men det råder stor osäkerhet om exakt vilken egenskap hos partiklar som är värst ur hälsosynpunkt. När det gäller påverkan på dödligheten bland befolkningen befaras dock de allra minsta partiklarna vara värst, inte de som uppstår vid slitage av vägbanor. Slitage ger främst upphov till grova partiklar med en diameter mellan 2,5 och 10 μm . I en nyligen publicerad litteraturstudie har det gjorts en genomgång av epidemiologiska studier och grova partiklars effekt på hälsan (Brunekreef and Forsberg 2005).

Det finns krav och rekommendationer för gränsvärden på de mest betydelsefulla partikulära föroreningar utomhus. För att skydda människors hälsa och miljö har gränsvärden för bland annat luftkvalitet införts som miljö kvalitetsnormer i SFS 2001:527 (MKN) utifrån EU-lagstiftningen (Riksdagen 2001). Men eftersom det inte har kunnat påvisas någon tröskeleffekt, d.v.s. en ”säker” nivå, under vilken ingen persons hälsa påverkas, kommer befolkningens hälsa att påverkas även vid halter under gränsvärdena .

Luftburna partiklar som är mindre än 10 μm , kan tränga djupt ner i luftvägarna d.v.s. de är respirabla, och de benämns som PM10. Den viktigaste lokala källan till PM10 p.g.a. vägtrafiken är mekaniskt genererade partiklar genom malning och slitage av vägbanor samt sand på vägbanor. Vægdamm och uppvirvlingen (resuspensionen) av detta utgör i dessa sammanhang ett komplext problem av flera orsaker. Vægdamm är uppbyggt av allt material som av olika anledningar deponeras på vägytan som exempelvis avgaspartiklar, slitagematerial från exempelvis vägbeläggningen eller däck och bromsar, friktionsmaterial (sand, stenkross), salt, minerogent material från omgivande mark, pollen eller sporer.



Figur 1 är omritad från Gustafsson M (Gustafsson 2003).

Slitaget av vägbanan orsakas av trafikmängden, fordonstypen, däcktyp, vägbeläggingsmaterial och vägbaneförhållanden såsom vägbanans fuktighet, förekomst av sand, salt, snö och is (Gustafsson 2005b), se figur 1. En jämförelse av de genomsnittliga emissionsfaktorerna för PM10 i Stockholms stad år 2003 visar att uppvirvlingen av partiklar från torra vägbanor och direktemission utgör 87 % av den totala emissionen från vägtrafiken. Detta beror till stor del på dubbdäcksanvändningen (Johansson et al. 2005).

När det gäller vägbeläggingsmaterial så har detta studerats i ett nyligen avslutat forskningsprojekt WearTox-studien (Gustafsson 2005a). Syftet var att studera den toxiska effekten hos slitagepartiklar från vägbeläggning och däck samt slitagepartiklarnas fysikaliska, kemiska och morfologiska egenskaper. Två beläggningstyper studerades, en hårdare kvartsitbeläggning (ABS-beläggning) och en mindre hållbar granitbeläggning (ABT-beläggning). Resultaten visar att ABS-beläggningen med kvartsit både genererar mindre mängd och mindre toxiskt PM10 än ABT-beläggningen med granit.

Det finns likheter mellan de nordiska länderna när det gäller dubbdäcksanvändning och problem med buller och partiklar. I Norge pågår projektet ”Miljøvennlige vegdekker - vegdekkers støv- og støyegenskaper” (Vegvesen 2003). Detta är ett FoU-projekt i regi av Statens vegvesen, men som utförs i nära samarbete forskningsinstitutioner och branschen. Projektet fokuserar på optimering av vägbeläggningens miljöegenskaper för att minska miljöbelastningen på omgivningen och bidra till att miljömålen för buller och partiklar kan uppnås. I Finland planerar det finska Vägverket Tiehallinto (på svenska Vägförvaltningen) att starta ett nytt projekt avseende partiklar och buller.

Dagens mer konventionella asfaltbeläggningar är relativt täta. En mer öppen beläggning är mer porös vilket gör att luft och vatten kan passera genom beläggningen. Den hittills beaktade fördelen med den öppna beläggningen är dess bullerdämpande egenskaper eftersom den har upp till 25 procent hålrum mot 2-4 procent i vanlig asfalt. Som mest minskar ljudet med 9 dBA jämfört med vanlig asfalt. Det upplevs i allmänhet som en halvering (Eriksson 2005).

Den porösa beläggningen behöver ett mer kontinuerligt underhåll vilket innebär att vägen högtrycksspolas, d.v.s. den spolas ren på allt det som deponerats i hålrummen. Det som spolas ut och därmed har deponerats inuti beläggningen utgörs av partikulärt material från vägslitage som annars skulle ha deponerats på beläggningens yta. Idén är att beläggningens förmåga att deponera partiklar, istället för att de sprids i luften och bidrar till ökade exponeringshalter för befolkningen, kan bidra till att reducera halten av vägslitage partiklar i en första hand väg nära zon. Precis som vid bullerreducering vid källan skulle partikelreducering kunna göras vid källan, d.v.s. på vägbeläggningen där vägslitage partiklarna genereras.

1.1 Syfte

Syftet är att få större kunskap om olika typer av vägmateriels generering av PM10 och i förlängningen kunna göra ett bättre urval av vägbeläggningar som både är buller dämpande och som alstrar låga halter av PM10.

1.2 Nyttan

Den direkta nyttan med en vägbeläggning som medför lägre halt av PM10 i väg nära zon är att den kan bidra till att MKN uppnås. Den samhällsekonomiska nyttan av en sådan vägbeläggning är att minskade partikelhalter kan leda till en ökad livskvalitet och i förlängningen även förbättrande hälsoeffekter i form av ökad förväntad livslängd, minskat sjukhusintag samt minskade samhällskostnader för detta. EU har beräknat att genom att uppnå direktivet 99/30/EC senast 2010 så förlängs medellivslängden för befolkningen i EU länderna med 2,3 månader. Inom EU skulle detta uppskattningsvis ge en årlig vinst på 58-161 miljarder Euro p.g.a. minskad befolkningsdödlighet och en besparing på 29 miljarder Euro beroende för kostnader förknippade med sjukdomsbehandling.

Partikelemissioner leder också till nedsmutsning.

Nyttan av att kunna använda en beläggning som både är bullerdämpande och partikelreducerande är stor. Hittills har bullerreduceringen varit det primära och skulle båda dessa egenskaper kunna hanteras samtidigt är det lättare att optimera nya vägbeläggningars egenskaper. Detta arbete mot att definiera och hantera funktionsegenskaper och krav på beläggningar främjar en innovationsprocess inom asfaltssidan som är efterlängtd när det gäller teknikutveckling. I förlängningen kan detta utmynna i funktionsupphandlade entreprenader istället för dagens mer traditionella detaljstyrda. Det finns erfarenheter som pekar på ekonomiska fördelar med att upphandla funktionsstyrt istället för detaljstyrt.

Genom att knyta an till pågående projekt i Norge och Finland kan en korsbefruktning ske genom erfarenhetsutbyte och kompetensöverföring.

2. Metod

2.1 Sträckan och beläggningen

Vägsträckan längs E4/E20 vid Hallunda som är belagd med tyst asfalt framgår av figur 2. 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 den uppskattade trafikbelastningen framgår av figur 3. Trafikdata kommer från Luftvårdsförbundets i Stockholm och Uppsala läns databas (<http://slb.nu/lvf>)



Figur 2. Sträckans lokalisering i förhållande till kringliggande bostadsområden. OBS att även anslutande accelerations- och retardationssträckor vid Eriksbergsledens trafikplats belades med tyst asfalt.

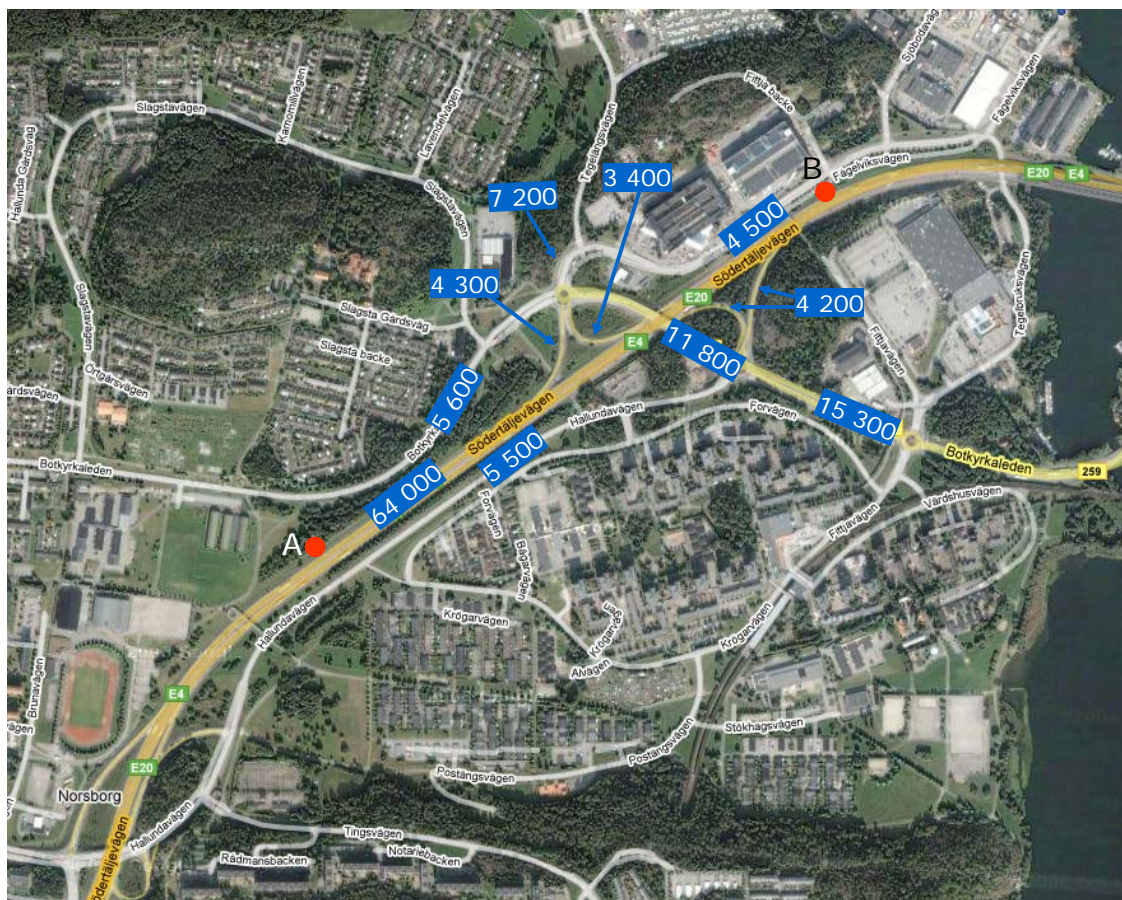
2.2 Stationära mätningar

De stationära mätningarna har innefattat två mätstationer, vars placering framgår av figur 3. Ena mätstationen (A), se figur 4, registrerade halterna av PM10 och kväveoxider (Nox) intill provsträckan. Den andra (B) registrerade PM10 och NOx-halterna intill en orörd, referenssträcka. PM10 mättes med TEOM-instrument¹ och NOx 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.

¹ TEOM är en förkortning för Tapered Element Oscillating Microbalance

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 pågick mellan 1 mars och 20 juni 2006. Samtliga mätvärden omvandlades 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 lokaliseringen vid referenssträckan var inte helt optimal eftersom andra förhållandena var något annorlunda där jämfört med provsträckan. Dels var topografin annorlunda; motorvägen ligger lägre 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 svänger 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. Vid jämförelse av kvoten PM₁₀/NO_x för referenssträckan respektive provsträckan tar effekterna sväng och motlut delvis ut varandra. För att minimera denna osäkerhet (effekternas påverkan) analyseras enbart sydliga-sydvästliga vindar.



Figur 3. Mätstationernas placering. A) Mätsträcka längs provsträckan, B) referenssträcka. Trafikflödessiffror anges som medelvärden för alla dygn under ett år (årsmedeldygn).



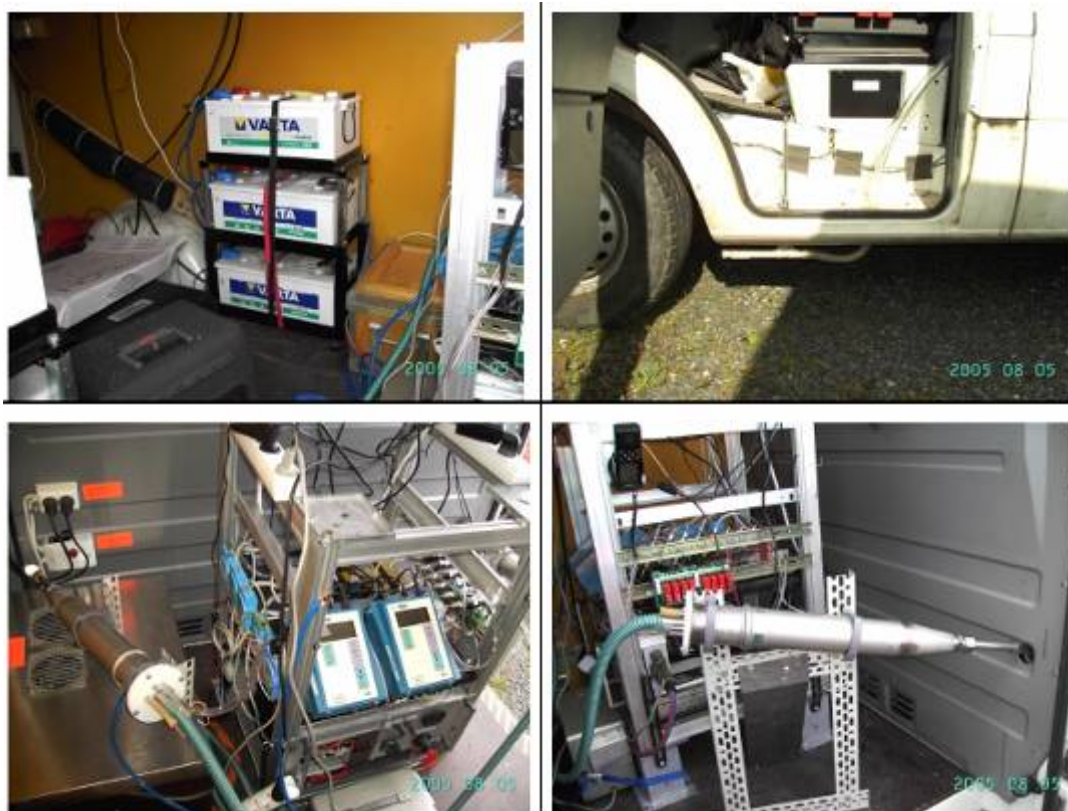
Figur 4. Den fast mätstationen för mätningar av PM10- och NOx-halter samt meteorologi intill provbeläggningen i Hallunda (mätplats A i figur 3).

2.3 Mobila mätningar

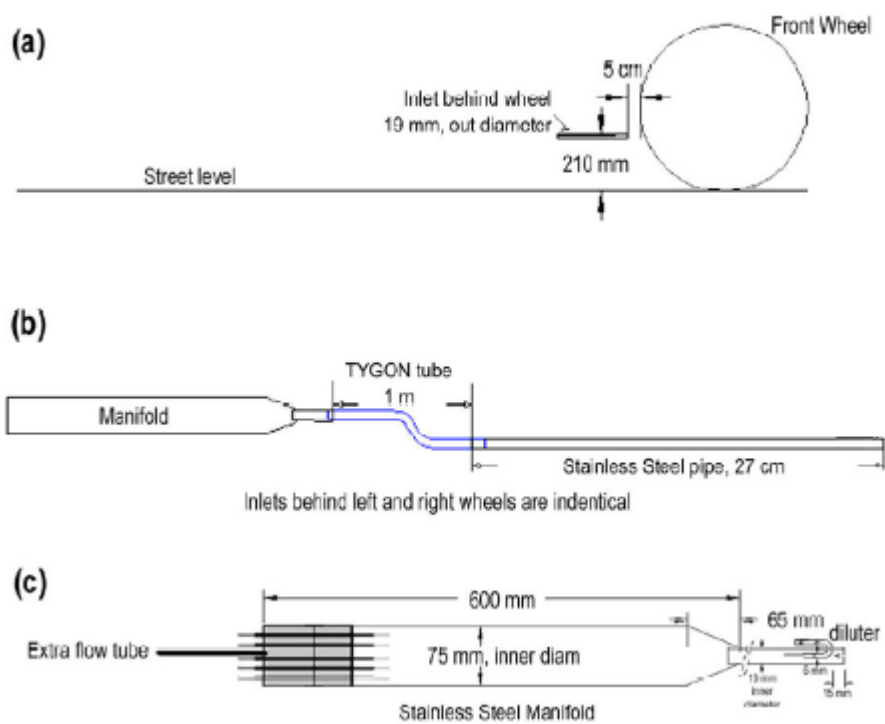
En skåpbil (VW LT 35 TDI) utrustad med instrument för mätning av partikelhalter samt batterier och annan utrustning så att instrumenten skulle kunna mäta under ca 8 timmar utan laddning. Partikelinstrumenten som använts för bestämning av emissionerna från vägbanorna består av

- 3 stycken Dust Trak (TSI) för mätning av totala partikelhalterna (masskoncentrationerna) bakom de båda framhjulen och framför bilen
- 2 stycken instrument för mätning av partikelstorleksfördelningen bakom hjulen (GRIMM OPC).

Luftintag placerades framför bilen samt bakom varje framhjul (Figur 5 och 6). Skillnaden mellan koncentrationerna bakom hjulen och framför antas vara proportionell mot emissionen av partiklar från vägbanan. Relativa förhållanden fås genom att samtidigt mäta emissionerna hos olika däck på framhjulen. De mobila mätningarna genomfördes längs olika vägtyper i Stockholms län, se figur 7. Samtliga mätningar avser torra vägbanor. Under maj 2007 genomfördes även jämförande mätningar av PM10 mellan ITM:s metod och den finska mätmetoden (SNIFFER; Pirjola et al., 2006).



Figur 5. Batterier (över vänster), Luftintag bakom framhjul (över högre), instrumentrack med Dust Trak (nedre vänster) och insugsfördelare inne i bilen (nedre höger).



Figur 6. Skisser över luftintagen och hur luften fördelas till instrumenten.



Figur 7. Mätsträckor för mobilmätning norr om Stockholm. B

2.4 Laborativa mätningar

VTI:s provvägsmaskin (PMV) är installerad i ett slutet rum med kontrollerad ventilation. Dubbdäcken var av fabrikatet Nokia Hakkapeliitta 4. Mätningarna genomfördes enligt körschemat i Tabell 2.

Hastighet	Tid	Fläkt och filterprovtagning
30	1 tim 30 min	nej
50	1 tim 30 min	nej
70	2 tim	nej
70	1 tim	ja

Tabell 2. Körschema för PVM.

Fyra olika instrumenttyper användes för att mäta inandningsbara partiklar. Dessa beskrivs översiktligt nedan.

- *Tapered Element Oscillating Microbalance (TEOM)*
Instrumentet bygger på gravimetri och ger ett värde var femte minut för masskoncentration PM10. Metoden är en referensmetod inom EU.
- *DustTrak (DT)*
Två av dessa optiska instrument användes vid undersökningen: det ena mätte masskoncentration av PM2,5 och det andra masskoncentration av PM10. Tidsupplösningen för båda var tre sekunder.
- *Aerodynamic Particle Sizer (APS)* och *Scanning Mobility Particle Sizer (SMPS)*

Instrumenten mäter tillsammans i storleksintervallen 16 nm–18 µm. Data i intervallet 16–750 nm presenteras som antalsfördelning, medan grövre partiklar i intervallet presenteras som masskoncentration. Detta beror på nanopartiklarnas mycket låga massa.

Utöver partiklar mättes luft-, däck- och beläggningstemperatur. Även relativ luftfuktighet registrerades under mätningarna. Innan undersökningen startades kylde hallen. Målet var att efterlikna realistiska vinterförhållanden. Vid start var beläggningstemperaturen ca 4°C.

För att ge en uppfattning om den tysta belägningens partikelgenererande egenskaper jämfördes koncentrationerna av PM10 med några tidigare provade beläggningar;

- en norsk SKA-beläggning FIB 11 Durasplitt m/Lyngåsgrus (NCC Roads AS, 4/8-06) med stenmaterial 8-11 mm (52 %), 2-4 mm (20 %) och 0-2 mm (16 %) vilket utgörs av mylonit från Tau, sand 0-8 mm (5 %) utgjordes av Lyngåsgrus och 7 % var filler. Kulkvarnsvärde på ca 7. Nedan kallad ”norsk beläggning”, Ska, material 8-11 mm (52 %), 2-4 mm (20 %) och 0-2 mm (16 %)
- en svensk ABS16-beläggning med kvartsit som bl.a. förekommer på Hornsgatan (PEAB, 27/6-05) i Stockholm. Stenmaterial större än 8 mm (63 %) utgjordes av kvartsit från Dalbo i Dalsland (finkornig ljus kvartsit med lokala inslag av granit, glimmerrika metasediment och grönsten). Materialet mindre än 8 mm kom från tåkten i Löten (bergtåkt, Ekerö, Stockholmsgranit). Kulkvarnsvärde på ca 6. Nedan kallad ”svensk beläggning” eller ”Hornsgatan”,
- för jämförelser av storleksfördelningar för APS finns även med en tidigare provad ABS-beläggning också med kvartsit, men från en annan bergtåkt kallad ”kvartsit”.

Resultaten av de undersökningarna är jämförbara då samma däck användes (Hakkapelitta 4) och beläggningstemperaturerna vid start var ungefär desamma.

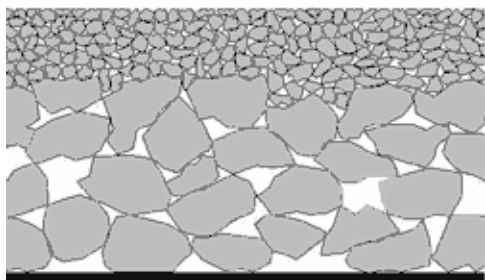
3. Beskrivning av den tysta asfalten

Tyst Asfalt är ett samlingsbegrepp för Skanskas egenutvecklade lågbullrande specialbeläggningar, se figur 8 för principskiss. De är i grunden slitlagerbeläggningar som kombinerar effektiv bullerdämpning med ökad trafiksäkerhet och beständighet. Tyst Asfalt finns som två olika produkter vilka benämns utifrån största möjliga initiala bullerreduktion (angett i dBA), Tyst Asfalt 6 och Tyst Asfalt 9. En reduktion på 9 dBA upplevs av oss människor som en halvering av ljudnivån. Tyst Asfalt 9 ligger på alla körfält på E4.

Tyst Asfalt 9 läggs i två lager där det övre lagret är mer finkornigt och därmed fungerar som ett filter mot igensättning av bottenlagrets porstruktur. Det översta lagret är ca 25-30mm tjock. Största stenstorlek är 8 till 11 mm (nere i Europa används vanligtvis 2/4 eller 6 mm som största stenstorlek). I Sverige används inte dessa mindre stenstorlekar p.g.a. av dubbdäckslitage. Det nedre lagret har stenstorlek mellan 16 och 22 mm. Livslängden för det övre lagret är ca 6-7 år och för det undre ca 14 år enligt Holländska erfarenheter. Livslängden för en traditionell ABS är ca 8-12 år beroende på trafikmängd, andel tungtrafik etc.

På E4 vid Hallunda består belägningens övre lager (30 mm) av stenar med en maximal stenstorlek på 11 mm och ett kulkvarnsvärde på mindre än 6. Det undre lagret har en maximal stenstorlek på 16 mm samt ett kulkvarnsvärde på mindre än 9.

Före läggning av Tyst Asfalt 9 måste vattenavrinningen på underliggande asfaltlager säkerställas genom att den befintlig beläggning fräses ned. Resultatet blir en jämn yta så att inget vatten ska kunna bli stående på den frästa ytan. Beläggningen läggs varmt i varmt vilket innebär att en läggare lägger ut det undre dränlagret och en annan läggare utför det övre lagret. Ingen klistring sker heller mellan lagren.



Figur 8. Principskiss av tyst asfalt.

Tyst Asfalt 9 (TA) har en extremt öppen sammansättning så att en hög hålrums halt fås. Detta reducerar uppkomst av däck/vägbanebuller samt förbättrar vattengenomsläppligheten och förbättrade köregenskaper i speciellt vått väglag. Då beläggningen dränerar bort vatten och vägbanan alltid är ”torr” och fri från vatten. Hålrummet i färdig beläggning ligger mellan 20-25 %. Eftersom Tyst asfalt är så öppen krävs ett bra bindemedel som kan ”hålla ihop” beläggningen. Det kan också krävas att fibrer och något vidhäftningsfrämjande medel tillsätts.

4. Resultat

4.1 Stationära mätningar

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 emissionsskillnader 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 $0,7 \text{ g}/\text{fordonskilometer}$. För PM10 blir då den genomsnittliga emissionsfaktorn $330 \text{ mg}/\text{fordonskilometer}$ ($0,7 \cdot 470$), vilket kan jämföras med den genomsnittliga emissionsfaktorn för ett helt år som uppskattats för Hornsgatan på ca $240 \text{ mg}/\text{fordonskilometer}$. Med tanke på att PM10-emissionerna påverkas av dubbdäcksandelen, fordons hastigheten och av de meteorologiska förhållandena (fuktigheten på vägbanorna) så förefaller emissionsfaktorn som fått för E4/E20 ganska rimlig.

En osäkerhet i denna jämförelse är att emissionerna av NO_x 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 ett visst extra tillskott till halterna. Om tillskottet varit lika stort för NO_x och PM₁₀ har detta ingen betydelse för kvoterna men om tillskottet är större för NO_x 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 %.

4.2 Mobila mätningar

Resultaten visar att dubbdäck ger upphov till betydligt högre emissioner från vägarna jämfört med friktionsdäck och sommardäck. I genomsnitt varierade förhållandet mellan dubbdäckens och friktionsdäckens emissioner mellan 2 och 6,4. Förhållandet mellan dubbdäck och sommardäck varierade mellan 4 och 17.

Dubbdäckens betydelse för emissionerna ökar kraftigt med ökad fordonshastighet. Emissionens hastighetsberoende varierar beroende på tiden på året och är sannolikt avhängig av hur mycket material som ligger ackumulerat på vägbanan. Under våren är den ackumulerade mängden material sannolikt betydligt större än under hösten. En jämförelse mellan beläggningar med olika stenmaterial visar att den dubbdäcksemitterade partikelmängden är högre längs en vägsträcka med mjukare stenmaterial kulkvarnsvärde <9, jämfört med en beläggning med kulkvarnsvärde <6. Vägsträckorna skiljer sig dock också med avseende på mängden fordon som passerar per dygn. Längs sträckan med hårdare beläggning var fordonströendet betydligt högre och där noterades också betydligt (faktor 3) högre halter bakom friktionsdäcket, vilket indikerar att mera material ackumulerats och kan virvlas upp. Skillnaden i absoluta halter bakom dubbdäcken mellan sträckorna var betydligt mindre än för friktionsdäcken vilket indikerar att friktionsdäcken är effektivare på att virvla upp partiklar jämfört med dubbdäck.

Mätningarna indikerar att emissionerna från den tysta beläggningen är i samma storleksordning som emissionerna från andra beläggningar. Detta indikerar att beläggningens struktur inte är avgörande för emissionerna av partiklar. Sannolikt är stenmaterialkvalitet och stenhalt betydligt viktigare.

4.3 Laborativa mätningar

Den tysta beläggningen gav upphov till relativt låga halter av PM₁₀ när dubbdäck användes. I relation till den svenska beläggningen (Hornsgatan) uppmättes ca 200 – 400 µg/m³ lägre halter med den tysta beläggningen i 70 respektive 50 km/h. Skillnaden mellan de två beläggningarna minskar med ökande hastighet. Dock var skillnaden mellan storleksfördelningarna (0,5 – 10 µm) relativt liten vilket pekar på att de tre beläggningarna som här jämförs (tyst, svensk, norsk) avger samma typer av partiklar inom detta storleksintervall.

När det gäller de ultrafina partiklarna (< 0,1 µm) visades att den tysta beläggningen var den beläggning som gav upphov till flest ultrafina partiklar; antalstoppen för den tysta beläggningen var mer än dubbelt så hög som för den svenska beläggningen i 70 km/h. Vid mätningarna med den norska beläggningen genererades ännu färre ultrafina partiklar. Tilläggas bör att den tysta beläggningen gav upphov till de grövsta partiklarna inom det ultrafina spannet. Då den ultrafina storleksfraktionen

bedöms härstamma från däcken och möjligen även kan ha en koppling till däckens ålder och inslittningsgrad, kan inga långtgående slutsatser om beläggnings inverkan på denna partikelfraktion göras. Uppenbart är dock att ultrafina partiklar bildas i större omfattning än för andra provade beläggningar. Det noterades även att däcken var påtagligt slitna efter körningen på den tysta beläggnings med flera avslagna eller lossade dubbar. Porfyren i den tysta beläggnings är mycket hård. Möjligen påverkar även stensläpp (se nedan) däckens slitage.

Den tysta beläggnings uppvisade ett slitage som var avsevärt större än den beläggnings som bl.a. återfinns på Hornsgatan. Efter samma belastning hade den tysta beläggnings slitits fem gånger så mycket som den svenska. Det bör här påpekas att den tysta beläggnings yta till stor del består av håligheter. Detta kan påverka resultatet av hur lasermätningarna utfaller. Dessutom kunde vid mätningarna med den tysta beläggnings en mängd stensläpp observeras. Rimligtvis orsakar håligheter och stensläpp huvuddelen av det uppmätta medelslitaget, då porfyren i sig själv har minst lika goda nötningssegenskaper som kvartsiten i den jämförda svenska beläggnings.

Slutsatsen visar dock att tyst asfalt inte är en lågemitterande beläggnings, baserat på gjorda mätningar (stationära, mobila och laborativa). Påverkande faktorer på generering av PM10 är:

- hastigheten
- ytans textur (sliter mer på däck och ger fler ultrafina partiklar)
- kulkvarnsvärde
- stenstorlek
- stenmaterial

Självklart hade det varit önskvärt den tysta asfalten skulle ha varit en lågemitterande beläggnings. Slutsatsen visar dock att den är jämförbar med övriga beläggningar avseende generering av PM10, vilket även det kan vara en fördel. När det gäller att prioritera mellan minskade bullernivåer eller förbättrad luftkvalitet, visar studien att tyst asfalt åtminstone inte bidrar till försämrade luftkvalitet.

5. Diskussion

5.1 Stationära mätningar

Ingen skillnad kan ses mellan beläggningsarna avseende partikelgenerering. Om en skillnad hade funnits borde den ha varit dubbelt så stor mellan beläggningsarna för att vara av betydelse för resultatet. Det förefaller som att det inte är den tysta asfaltens struktur som är det viktigaste för PM10 produktionen utan främst stenstorlek och stenmaterialets kvalitet. Dessa egenskaper betyder troligen mer än effekten av den Tyst asfaltens porösa struktur. Porositeten borde vara viktigast för den uppvirvlingbara fraktionen. Det kan ju vara så att det man mäter i fält såväl som i PVM i huvudsak är direktemitterat och att den porösa konstruktionens eventuella positiva effekter på uppvirvling behöver studeras på annat vis.

Norska och svenska studier visar att mer partiklar genereras vid beläggningar med en stenstorlek på 11 istället för 16. I denna studie kan inte den skillnaden visas vilket möjligen kan bero på stenmaterialets kvalitet alternativt den porösa strukturen hos Tyst asfalt. Ytterligare åtgärder kan vara att ta ut en borrhärd och göra tunnskiktanalys för analys av porerna i syfte att se vad som finns kvar i Tyst asfalt. Smuts kan spolats bort men inte krossat material.

5.2 Laborativa mätningar

I de laborativa mätningarna gjordes ingen jämförelse mellan stenmaterialets kvalitet och porositet

avseende referensbeläggningsen vid Hallunda, utan jämförelse gjordes med Hornsgatan.

Stenmaterialets kvalitet (hårdhet) tycks vara viktigare än storleken. Möjligen kan egenskapen att binda fukt i Tyst asfalt ge skillnaden.

Tyst asfalt ger lägre halter av PM10 än norska 11 som har sämre stenmaterial kvalitet än Tyst asfalt. Tyst asfalt ger även lägre halt än Hornsgatan 16, vars kvartsit kvalitet är något sämre än Tyst asfalts. Bedömningen är att Tyst asfalt med porfyrt och 11 mm största stenstorlek ger något lägre halter än en ABS16 med kvartsit, vilket pekar på porfyrens större slitstyrka. Resultaten visar att porositeten inte påverkar PM10 genereringen utan enbart stenmaterialets kvalitet. Därför är Tyst asfalt bättre än Hornsgatan, som har en tätare struktur. Däremot genererar Tyst asfalt fler ultrafina och grövre ultrafina partiklar. Teorin är att beläggningar med grövre makrotextur sliter mer på däck, vilket konstaterats även vid okulärbesiktning av de använda däck. Troligen bidrar även Tyst asfalts yttextur till ökad slitning av däck.

Det finns skillnader i partikelgenerering vid olika hastigheter, så är genereringen av PM10 från Tyst asfalt beroende av hastigheten precis som vilken annan beläggning som helst.

5.3 Mobila mätningar

Det är stora skillnader mellan olika körningar och emissioner. Skillnaden mellan dubbdäck och sommardäck är en faktor på 4 till 17. TA är inte lågemitterande av PM10 enligt gjorda mätningar utan den ligger i linje med övriga beläggningar. Ett kulkvarnsvärde 6 ger lägre halter av PM10 än ett värde på 9. Beläggningar med kulkvarns värde på 6 ligger vid vägar som har högre grad av trafikbelastning och även av tung trafik. Beläggningar med kulkvarnsvärde 9 ligger inte i tätorter utan mer på landet i närhet av exempelvis lantbruk, vilket kan bidra till ökade emissioner. Mätningar visar att stenmaterialets kvalitet har betydelse. Inga teorier finns till de stora variationerna mellan olika körningar på den aktuella sträckan vid Hallunda.

6. Vidare forskning

Ytterligare mätning skulle vara att VTI testar traditionell tät 11-porfyrt och jämför med Tyst asfalt. Det enda som skulle skilja är just den porösa strukturen och inget annat.

Det skulle vidare vara intressant att göra en jämförelse mellan en traditionell tät 11 porfyrt beläggning med tyst asfalt så att enbart strukturen skiljer beläggningarna åt, till exempelvis samma stenstorlek, material, kulkvarnsvärde. Mer information om beläggningen kan fås genom att ta ut en borrkärna ur den tysta beläggningen som ligger vid Hallunda och på den göra tunnskikts- och/eller poranalys. Ytterligare skulle det vara av intresse att få mer kunskap kring vad de ultrafina partiklarna består av. En teori är att en stor del vid slitaget genereras av däck. Nanowear är en studie som kommer att undersöka nanopartiklar. När det gäller slitage kan det vara önskvärt att säkerställa om använd lasermetod ger en rättvis bild av tyst asfalt med hänsyn till stenlossning vid ytan. Den gjorda studien har enbart utgått från dubbdäck men det vore även intressant att beakta friktionsdäck.

I denna studie är respirabla partiklar i fokus, men det skulle även vara intressant att studera effekten av dränerande beläggning på förorenings-spridningen runt vägen. Porositeten bidrar ju dels till att spridningen via "splash and spray" minskar kraftigt och dels till att material fastläggs i beläggningen istället för att föras med dagvattnet till vägens sidoområden och eventuellt vidare till sjöar och vattendrag.

Litteraturförteckning

Brunekreef, B. and Forsberg, B., 2005. Epidemiological evidence of effects of coarse airborne particles on health. *Eur. Respir. J.*, 26, 309-318., 2357-2362.

Dahl, A., Gharibi, A., Swietlicki, E., Gudmundsson, A., Bohgard, M., Ljungman, A., Blomqvist, G., Gustafsson, M., 2006. Traffic-generated emissions of ultrafine particles from pavement-tire interface. *Atmos. Environ.*, 40, 1314-1323.

Eriksson L-Å. (2005). Öppen asfalt halverar bullret från trafiken. Tillgänglig från <http://www.nyteknik.se/art/39070> [2005 16th of Aug].

Etyemezian, V., Kuhns, H., Gillies, J., Green, M., Pitchford, M., Watson, J., 2003. Vehicle-based road dust emissions measurements: I-methods and calibration. *Atmospheric Environment* 37, 4559-4571.

Gustafsson M. (2005b). Vägdamm små partiklar - stora problem. Tillgänglig från www.vti.se [2005 15th of Aug].

Gustafsson, M., 2001. Icke avgasrelaterade partiklar i vägmiljön. VTI meddelande nr 910. VTI, 581 95 Linköping.

Gustafsson M. (2005a). 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].

Gustafsson M. (2003). "Emissioner av slitage- och resuspensionspartiklar i väg- och gatumiljö," VTI meddelande 944:2003, Väg och transportforskningsinstitutet,(Linköping), 53

Gustafsson, M., Blomqvist, G., Dahl, A., Gudmundsson, A., Ljungman, A., Lindbom, J., Rydell, J., Swietlicki, E. 2005. Inhalable particles from the interaction between tyres, road pavement and friction materials. Final report from the Wear tox project. Report no. 520 (in Swedish with summary in English). Swedish National Road and Transport Research Institute, SE-581 95 Linköping, Sweden.

Gustafsson, M., m fl., 2006, Effekter av vinterdäck - En kunskapsöversikt. VTI, 543. VTI, Linköping.

Gustafsson, M., m fl., 2007. Particle characteristics and toxicological effects of particles from the interaction between tyres, road pavement and winter traction material. Insänd för publicering i *The Science of the Total Environment*, februari, 2007.

Hagen et al., 2005. Miljøfartsgrense i Oslo Effekt på luftkvaliteten av redusert hastighet på rv 4. NILU OR 41/2005.

Hussein, T., Johansson, C., Karlsson, H., Hansson, H.-C., 2007. Factors affecting particle emissions from paved roads – on road measurements in Stockholm, Sweden. Submitted to *Atmospheric Environment*, feb. 2007.

Jacobson, T. & Wågberg, L.-G., 2007. Slitagemodellen – faktorer som är kopplade till vägbeläggnings slitstyrka och dubbdäckslitaget på vägen. Kursdokumentation, Slitagemodellen. VTI, Linköping, februari, 2007.

Jacobson, T., & Wågberg, L.-G., 2004. Prediction models for pavement wear and associated costs. Swedish National Road and Transport Research Institute, SE-581 95 Linköping, Sweden.

Johansson, C., 2006. Betydelsen av bullerreducerande beläggning för partikelhalterna. SLB rapport 2006:3. Miljöförvaltningen, Stockholm, Box 8136, 104 20 Stockholm.

Johansson, C., m fl., 2004. Partiklar i stadsmiljö – källor, halter och olika åtgärders effekt på halterna mätt som PM10. SLB analys 2:2004 (http://www.slb.nu/slb/rapporter/pdf/pm10_4_2004_050117.pdf).

Johansson, C., Norman, M., Gidhagen, L. 2006. Spatial & temporal variations of particle mass (PM10) and particle number in urban air – Implications for health impact assessment. Environ. Monit. Assess. DOI:10.1007/s10661-006-9296-4 18

Johansson C. (2003). Kvantifiering av relativa betydelsen av dubbdäck, sandning/saltning och vägmaterial för PM10 halten längs vägarna. Tillgänglig från <http://www20.vv.se/fudinfoexternwebb/pages/ProjektVisaNy.aspx?ProjektId=1129> [2005 15th of Aug].

Johansson, C. (2007). Hälsoeffekter av partiklar. Stockholms och Uppsala läns Luftvårdsförbund (http://slb.nu/slb/rapporter/pdf/lvf2007_14_Halsa_v2.pdf)

Ketzel, M; Omstedt; G., Johansson; C., Düring; I., Pohjola; M., Öttl; D., Gidhagen; L., Wählin; P., Lohmeyer; A., Haakana; M., Berkowicz, R., 2006. Estimation and validation of PM2.5/PM10 exhaust and nonexhaust emission factors for practical street pollution modelling. Submitted for publication in Atmos Environ., dec 2006.

Kristensson, A., Johansson, C., Westerholm, R. Swietlicki, E., Gidhagen, L., Wideqvist, U. & Vaclav Vesely, 2003. Real-World Traffic Emission Factors of Gases and Particles Measured in a Road Tunnel in Stockholm, Sweden. Accepted for publication in Atmospheric Environment, Sept., 2003.

Kupiainen, K. H., Tervahattu, H., Räisänen, M., Mäkelä, T., Aurela, M., och Hillamo, R., 2005. Size and composition of airborne particles from pavement wear, tires, and traction sanding. Environ Sci Technol., 39, 699-706.

Kupiainen, K., Pirjola, L. & Tervahattu, H. 2006. Effect of tire studs and traction sanding on emissions of road dust. (personal communication). Abstract for ISCORD 2007.

Kupiainen, K., Tervahattu, H., och Räisänen, M., 2003. Experimental studies about the impact of traction sand on urban road dust composition. The Science of the Total Environment, 308, 175-184. Larsen och Haugsbakk, 1996; Statens vegvesen; 1911, Veg-grepsprosjektet.

Mårtensson, E.M., Nilsson, E. D., Buzorius, G., Johansson, C. 2006. Eddy correlation measurements and parameterisation of particle emissions in an urban environment, 2006 Atmos. Chem. Phys. pages:769- 785 DOI:1680-7324/acp/2006-6-769.

Nicholson, K. W., Branson, J. R., 1990. Factors affecting resuspension by road traffic. *Sci. Total Environ.* 93: 349-358.

Nicholson, K. W., Branson, J. R., Giess, P., Cannell, R. J. 1989. The effects of vehicle activity on particle resuspension. *J. Aerosol Sci.* 20(8): 1425-1428.

Patraa, A. Colvile, R., Arnold, S., Bowen, E., Shallcross, D., et al. 2007. On street observations of particulate matter movement and dispersion due to traffic on an urban road. *Atmos Environ.*, 2007, doi:10.1016/j.atmosenv.2006.10.070.

Riksdagen. (2001). *SFS 2001:527*, Miljökvalitetsnormer för utomhusluft, Miljödepartementet.

Vegvesen. (2003). "Miljøvennlige vegdekker - vegdekkers støv- og støyegenskaper," Intern rapport nr 2336, Teknologaavdelingen, (Oslo), 86

WHO. (2005). European Union can save up to €161 billion a year by reducing air-pollution deaths. Tillgänglig från http://www.euro.who.int/mediacentre/PR/2005/20050414_1 [2004 15th of Aug].

Bilaga 1 – Delrapport Stationära mätningar

Bilaga 2 – Delrapport Laborativa mätningar

Bilaga 3 – Mobila Mätningar