

Slitagepartiklar från vägbeläggningar med gummiinblandad bitumen

Jämförelser med referensbeläggning

Mats Gustafsson
Göran Blomqvist
Cecilia Bennet

Förord

Detta projekt initierades av Thorsten Nordgren, Trafikverket, för att studera om två beläggningskonstruktioner med gummiinblandad bitumen ger upphov till andra partikelemissioner än en referensbeläggning med samma beläggningssten.

VTI har utfört uppdraget med hjälp av VTI:s provvägsmaskin, som använts för studier av partikelbildning i ett flertal projekt. Projektledare har varit Mats Gustafsson. Projektledare vill rikta ett stort tack till Tomas Halldin och Romuald Banek, utan vars tekniska kompetens projektet varit omöjligt att genomföra.

Linköping maj 2011

Mats Gustafsson
projektledare

Kvalitetsgranskning

Intern peer review har genomförts 2011-05-10 av Leif Viman. Mats Gustafsson har genomfört justeringar av slutligt rapportmanus 2011-05-12. Projektledarens närmaste chef, Maud Göthe-Lundgren, har därefter granskat och godkänt publikationen för publicering 2010-05-13.

Quality review

Internal peer review was performed on 10 May 2011 by Leif Viman. Mats Gustafsson has made alterations to the final manuscript of the report on 12 May 2011. The research director of the project manager, Maud Göthe-Lundgren, examined and approved the report for publication on 13 May 2011.

Innehållsförteckning

| | |
|--|----|
| Sammanfattning | 5 |
| Summary | 7 |
| 1 Inledning | 9 |
| 2 Förkortningar | 10 |
| 3 Metod..... | 11 |
| 3.1 Provvägsmaskin | 11 |
| 3.2 Beläggningstyper och däck..... | 11 |
| 3.3 Inkörning av beläggning..... | 12 |
| 3.4 Försöksdesign | 12 |
| 3.5 Partikelmätning | 12 |
| 3.6 Mätning av slitage och dubbutstick | 13 |
| 4 Resultat..... | 14 |
| 4.1 Partikelkoncentration | 14 |
| 4.2 Storleksfördelningar | 17 |
| 4.3 Slitage och dubbutstick..... | 18 |
| 5 Diskussion | 20 |
| 6 Slutsatser | 23 |
| Referenser..... | 24 |

Appendix: Temperaturer och luftfuktighet

Slitagepartiklar från vägbeläggningar med gummiinblandad bitumen – jämförelse med referensbeläggning

av Mats Gustafsson, Göran Blomqvist och Cecilia Bennet

VTI

581 95 Linköping

Sammanfattning

Dubbdäcksslitage av vägbeläggningar orsakar emissioner av inandningsbara partiklar (PM_{10}) vars tillåtna halt i omgivningsluften är reglerad enligt en miljö kvalitetsnorm. Ett sätt att minska partikelemissionen är att anpassa beläggningarnas egenskaper.

Föreliggande projekt har undersökt betydelsen för partikelbildningen av inblandning av gummi från bildäck i två beläggningars bitumenfas. Undersökningen genomfördes i VTI:s provvägsmaskin där två gummiinblandade beläggningar av olika konstruktion (GAP11 och GAÖ11) och en referensbeläggning (ABS11) undersöktes. De bildade partiklarnas halter och storleksfördelningar studerades.

Resultaten visar att GAP11 ger upphov till 20–25 % lägre halter av PM_{10} än referensbeläggningen, medan GAÖ11 inte skiljer sig från referensbeläggningen vad gäller PM_{10} . Storleksfördelningar visar att partikelmassan för PM_{10} har två maxima vid 4–5 och 7–8 μm . GAP11 sänker koncentrationen av den finare moden jämfört med ABS11, medan GAÖ11 främst påverkar den grövre moden. Ultrafina partiklar bildas och en mod vid ca 20–30 nm dominerar partikelantalsfördelningarna. Dessa partiklar är relaterade till däckdubbarnas interaktion med beläggning och/eller däckgummi. Högre hastighet medför högre koncentrationer av ultrafina partiklar.

Sammantaget tyder resultaten på en sänkande effekt av PM_{10} -emissionerna av gummiinblandning i konstruktionen GAP11, medan GAÖ11 inte verkar sänka emissionerna jämfört med en ABS11.

Wear particles from road pavements with rubber mixed bitumen – comparison with reference pavement

by Mats Gustafsson, Göran Blomqvist and Cecilia Bennet
VTI (Swedish National Road and Transport Research Institute)
SE-581 95 Linköping Sweden

Summary

Studded tyre wear of road pavements causes emissions of inhalable particles (PM_{10}). Allowed concentration of PM_{10} is regulated by an EU directive which is implemented in an environmental quality standard in Sweden. One way of reducing pavement wear particles is to adjust the properties of the road pavement. In the present project the effect on particle emission from mixing milled tyre rubber into the pavement bitumen has been investigated. Tests were made by the VTI road simulator using two pavement constructions containing rubber (GAP11 and GAÖ11) and one reference pavement (ABS11). GAP=GAR (Gap Graded Asphalt Rubber), ABS=SMA (Stone Mastic Asphalt) and GAÖ=OGAR (Open Graded Asphalt Rubber). The concentrations and size distributions of the emitted particles were measured.

The results show that GAP11 causes lower PM_{10} concentrations (in this laboratory environment 20–25%) than the reference pavement ABS11, while the GAÖ11 does not differ from the reference. Size distributions show that PM_{10} has a bi-modal distribution with two mass maxima at 4–5 and 7–8 μm . GAP11 decreases the mass size distribution mainly in the finer mode, while GAÖ11 seems to affect mainly the coarser mode. Ultrafine particles are emitted during all tests and have number distribution maxima at around 20–30 nm. These particles are formed in the interaction between tyre studs and pavement and/or tyre rubber. Higher speed generates higher concentrations of ultrafine particles.

All in all, the results indicate a lowering effect on PM_{10} emissions caused by GAP11, while the GAÖ11 does not seem to lower the emissions as compared to the reference pavement ABS11.

1 Inledning

Syftet med uppdraget var att jämföra partikelbildande egenskaper hos en konventionell ABS11-beläggning med två beläggningar där innehållet av bitumen modifierats med inblandning av gummikomponenter. Beläggningarna var identiska med avseende på steninnehållet, som var ryolit. I föreliggande rapport benämns de GAP11 och GAÖ11.

Undersökningen gjordes i VTI:s provvägsmaskin i ett samarbete mellan VTI och Avdelningen för ergonomi och aerosolteknik, Institutionen för designvetenskaper, Lunds tekniska högskola.

2 Förkortningar

| | |
|-------------------|--|
| ABS | asfaltsbetong, stenrik |
| APS | Aerodynamic Particle Sizer (instrument för partikelstorleksfördelning) |
| DT | DustTrak (mäter PM ₁₀ eller PM _{2,5}) |
| GAP | Gummi-asfalt med partikelsprång |
| GAÖ | Gummi-asfalt, öppen |
| PM ₁₀ | masskoncentrationen av partiklar mindre än 10 µm (inandningsbara partiklar) |
| PM _{2,5} | masskoncentrationen av partiklar mindre än 2,5 µm |
| PVM | provvägsmaskin |
| SMPS | Scanning Mobility Particle Sizer (instrument för partikelstorleksfördelning) |
| TEOM | Tapered Element Oscillating Microbalance (mäter PM ₁₀) |

3 Metod

3.1 Provvägsmaskin

Projektet genomförs med hjälp av VTI:s provvägsmaskin (PVM) (*Figur 1*). För att studera slitagepartiklarna separat, utan inblandning av partiklar från avgaser och andra antropogena och naturliga källor, krävs att partiklarna kan genereras och provtas i en miljö där andra källor är minimerade. Detta kunde åstadkommas genom att mätinstrumenten placerades i den slutna hallen runt VTI:s provvägsmaskin, som vanligtvis använts för att studera slitage av olika typer av vägbeläggningar och däck.

Provvägsmaskinen består av en cirkelrund 0,5 m bred bana med en diameter av 16 m som kan beläggas med valfri vägbeläggning. Maskinen roterar kring en centralt placerad vertikal axel på vilken sex hjulaxlar är monterade. På dessa kan olika typer av däck monteras. Fyra av axlarna är i drift och drivs av elmotorer. Vid provning sänks hjulen ner mot banan till önskat axeltryck ställts in och hjulen driver sedan maskinen att rotera. Hastigheten kan varieras steglöst upp till 70 km/h. I hastigheter över 50 km/h kan en excentrerrörelse kopplas in vilket gör att hjulen inte kör i samma spår utan rör sig över nästan hela banbredden.



Figur 1 Provvägsmaskinen.

3.2 Beläggningstyper och däck

I detta projekt testas två olika konstruktioner med gummimodifierat bitumen (gummiasfalt) och en referensbeläggning:

- GAP11 (Gummiasfalt med partikelsprång)
- GAÖ11 (Gummiasfalt, öppen)
- ABS11 (Asfaltsbetong, stenrik, referens).

Stenmaterialet är detsamma i samtliga beläggningar och största stenstorleken är 11 mm.

Samtliga beläggningar provades med dubbdäck av typen Nokian Hakkapeliitta 4.

3.3 Inkörning av beläggning

Inkörning av beläggningsytan innebär att det ytliga bitumenskiktet slits bort med hjälp av dubbdäckskörning under vattenbegjutning av banan enligt ett standardförfarande. Detta görs för att frilägga stenmaterialet från bitumen så att beläggningsytan är mer lik en normalt sliten beläggning. Standardinkörning innebär ca 20 000–30 000 varv i 70 km/h. Då de gummiinblandade beläggningarna visade sig vara svårare att strippa, ökades inkörningen till ca 40 000 varv, vilket frilade stenmaterialet. Detta är troligen en effekt av högre bitumeninnehåll i gummiinblandade beläggningar, vilket medför att tjockare bitumenhinnor behöver slitas ner innan en normalt insliten beläggning erhålls.

3.4 Försöksdesign

VTI:s provvägsmaskin (PVM) är installerad i ett slutet rum med kontrollerad ventilation. Vid användande kan beläggning, däcktyp och starttemperatur i rum och beläggning väljas. Dubbdäcken som användes var av fabrikatet Nokian Hakkapeliitta 4. Samtliga tester genomfördes enligt samma körschema (Tabell 1)

Tabell 1 Körschema för PVM. Sänka avser en filterförsedd fläkt som används för att sänka partikelhalterna i hallen för bättre kontroll på provtagning.

| Hastighet | Tid |
|-----------|-----------------|
| 30 | 1 tim 30 min |
| 50 | 1 tim 30 min |
| 70 | 2 tim |
| 70 | 1 tim med sänka |

3.5 Partikelmätning

De instrumenttyper som användes för att mäta förekomsten av inandningsbara partiklar beskrivs översiktligt nedan.

- Tapered Element Oscillating Microbalance (TEOM)
Instrumentet bygger på gravimetri och ger ett värde var femte minut för masskoncentration av PM₁₀ (masskoncentrationen av partiklar mindre än 10 µm).
- DustTrak (DT)
Två av dess optiska instrument användes vid undersökningen: det ena mätte PM_{2,5} (masskoncentrationen av partiklar mindre än 2,5 µm) och det andra PM₁₀. Tidsupplösningen för båda var tre sekunder. Metoden är inte godkänd för luftkvalitetsövervakning men har högre tidsupplösning än TEOM.
- Aerodynamic Particle Sizer (APS) och Scanning Mobility Particle Sizer (SMPS)
Instrumenten mäter partiklar i storleksintervallen 7,64–300 nm (SMPS) och 0,523–17,14 µm (APS). Data i det lägre storleksintervallet presenteras som antalsfördelning, medan det grövre intervallet presenteras som massfördelning. Detta beror på att nanopartiklarna har en mycket låg massa, men är i gengäld väldigt många och motsvarande har de grövre partiklarna en hög massa men är

endast ett fåtal till antalet. Vid APS-mätningarna användes ett PM₁₀-inlet som avskiljer partiklar större än 10 µm.

Utöver partiklar mättes luft-, däck- och beläggningstemperatur. Även relativ luftfuktighet registrerades under mätningarna. Innan undersökningen startades kylde hallen. Målet var att uppnå någon minusgrad vid testerna för att efterlikna realistiska vinterförhållanden. Vid försöken uppnåddes starttemperaturer på ca -1°C, sedan stiger värmen under försökets gång pga. friktionsvärme (se Tabell 2)

3.6 Mätning av slitage och dubbutstick

Slitaget mättes på fyra beläggingsplattor med laserprofilometer efter inkörningen (ca 40 000 varv) och efter partikelmätningen på varje beläggning.

Dubbutstick mättes på samtliga fyra däck före och efter partikelmätningen. Medelvärde av dubbutsticket på tio dubbar per däck användes. Se figur 8 och 9.

4 Resultat

4.1 Partikelkoncentration

Optimalt är samtliga omgivningsparametrar desamma vid varje mätning start. I Tabell 2 visas samtliga medelvärden för omgivningsparametrarna vid start, 30, 50 och 70 km/h. Värdena är medel för perioder om 15 minuter i slutet av respektive hastighetsintervall. Erfarenhetsmässigt är beläggningstemperaturen och luftfuktigheten viktig för PM₁₀-halterna. Då ABS11 testas är RH något högre än för GAP11 och GAÖ11. Temperaturen i luft och däck är något högre vid testet med GAÖ11. Samtliga temperaturer ökade under försöket. Relativ luftfuktighet, som är beroende av främst lufttemperatur, sjunker därför under försöken.

Tabell 2 Temperaturer och luftfuktighet under partikelmätningarna.

ABS11

| Parameter | Start | 30 km/h | 50 km/h | 70 km/h |
|----------------------------|-------|---------|---------|---------|
| Beläggningstemperatur (°C) | -0.9 | 1.3 | 4 | 6.9 |
| Lufttemperatur (°C) | -0.8 | 3.2 | 5.8 | 9.0 |
| Däcktemperatur (°C) | -0.3 | 9.9 | 13.7 | 17.4 |
| RH (%) | 80 | 84 | 80 | 76 |

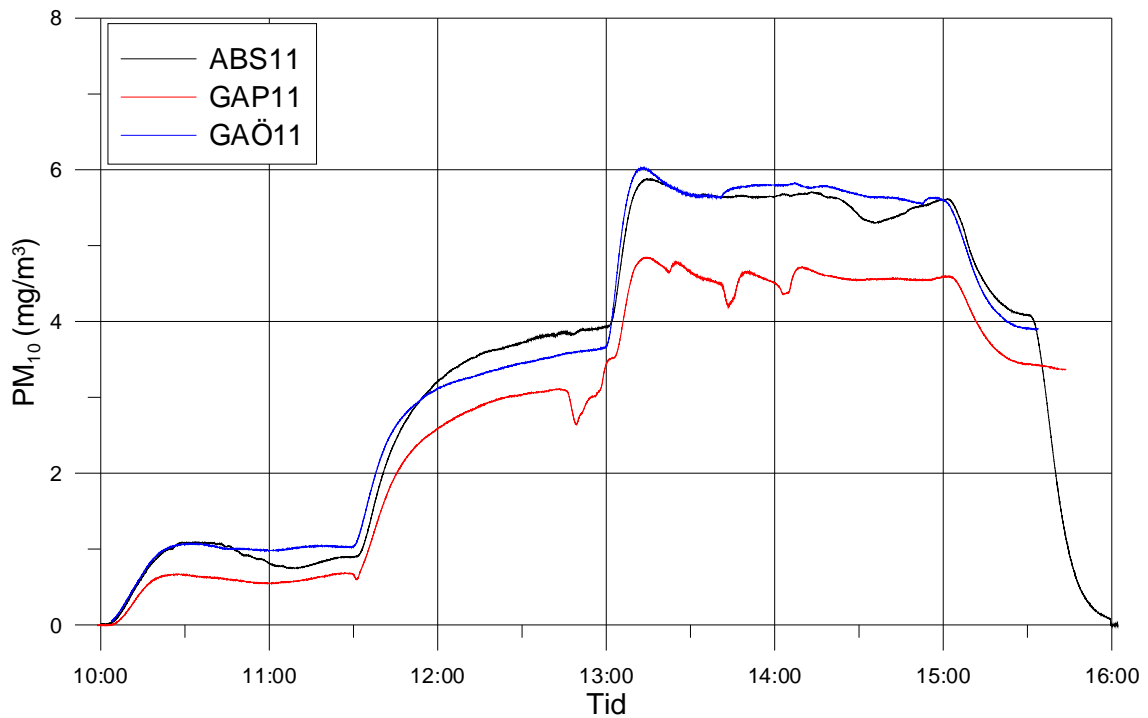
GAP11

| Parameter | Start | 30 km/h | 50 km/h | 70 km/h |
|----------------------------|-------|---------|---------|---------|
| Beläggningstemperatur (°C) | -0.9 | 0.6 | 2.9 | 6.7 |
| Lufttemperatur (°C) | -1.2 | 2.2 | 4.4 | 8.7 |
| Däcktemperatur (°C) | -0.6 | 8.9 | 12.4 | 16.9 |
| RH (%) | 74 | 81 | 78 | 73 |

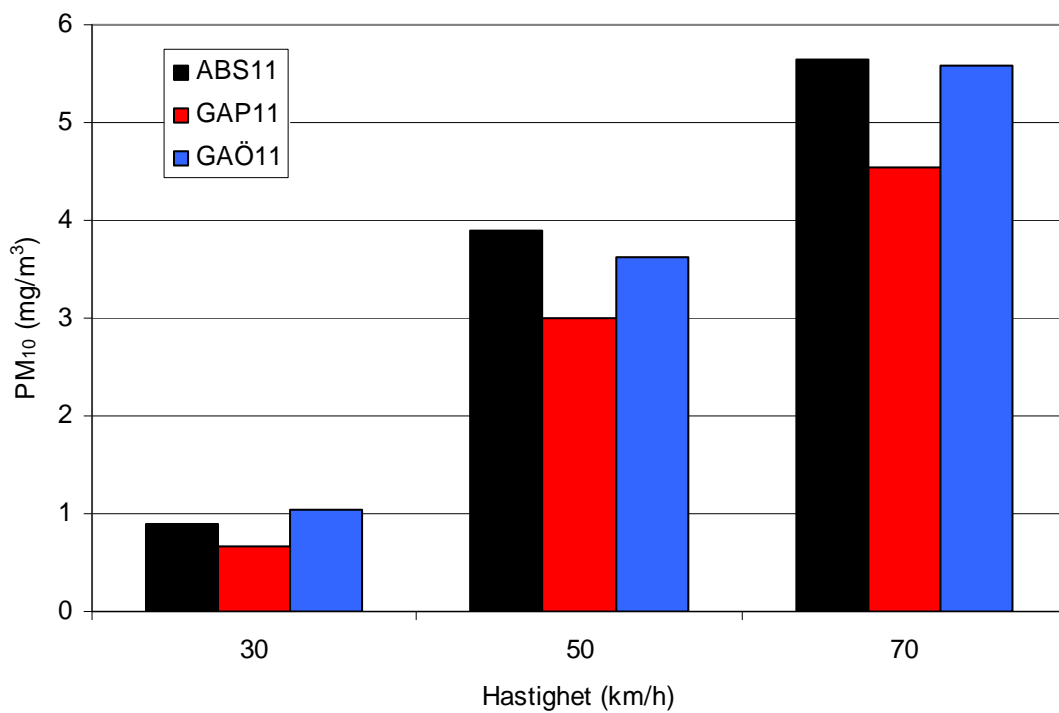
GAÖ11

| Parameter | Start | 30 km/h | 50 km/h | 70 km/h |
|----------------------------|-------|---------|---------|---------|
| Beläggningstemperatur (°C) | -0.7 | 0.8 | 3.1 | 6.7 |
| Lufttemperatur (°C) | 2.0 | 2.6 | 4.6 | 8.5 |
| Däcktemperatur (°C) | 1.2 | 9.3 | 12.6 | 16.7 |
| RH (%) | 76 | 76 | 71 | 62 |

Figur 2 visar utvecklingen av halterna för PM₁₀ uppmätt med TEOM. Då TEOM är ett gravimetriskt instrument, bedöms data från detta uppvisa den mest korrekta skillnaden mellan de olika beläggningarnas partikelgenerering. Halterna stiger vid varje hastighetsökning för att plana ut mot en förhållandevis konstant koncentrationsnivå. Som synes (även i Figur 3) är halterna för ABS11 och GAÖ11 mycket lika, medan GAP11 genererar ca 20 % lägre PM₁₀-koncentration.

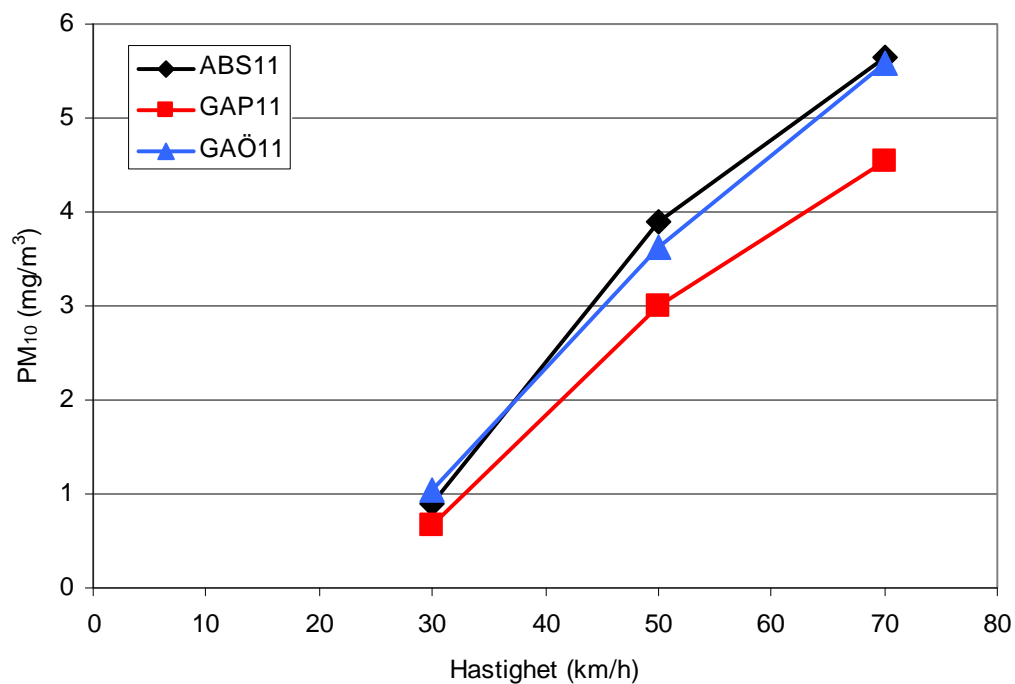


Figur 2 Tidsserier av PM_{10} uppmätt med TEOM.

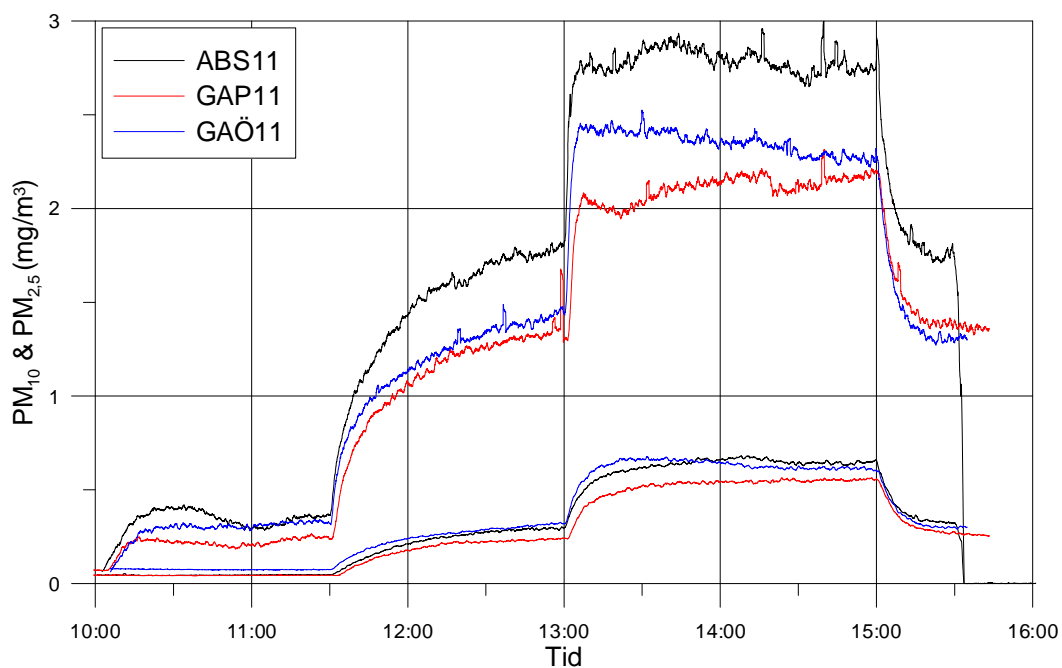


Figur 3 Medianvärden av PM_{10} (TEOM) under en femtonminutersperiod i slutet av hastighetsintervallen 30, 50 respektive 70 km/h.

Om data från Figur 3 avsätts mot hastighet framgår att hastighetsrelationen är nära linjär (Figur 4).



Figur 4 PM₁₀ uppmätt med TEOM avsatt mot hastighet.

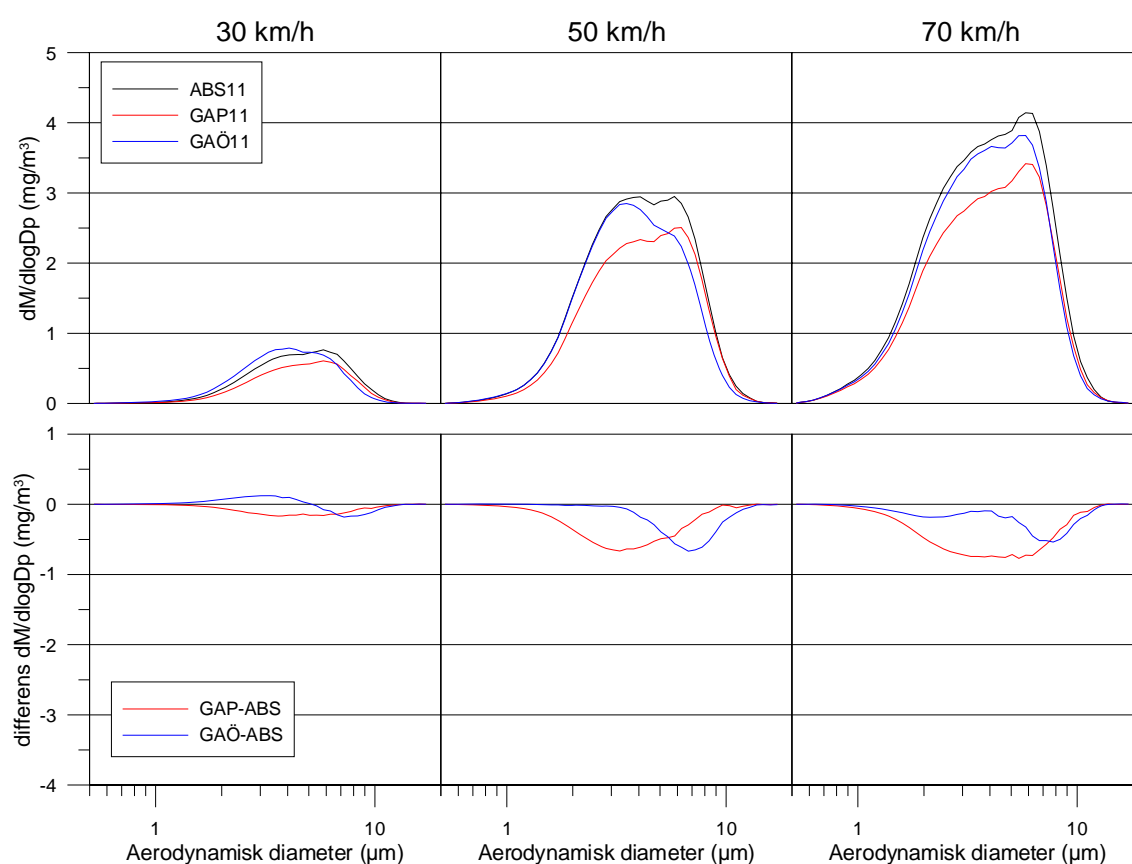


Figur 5 Tidsserier för PM₁₀ (övre tre kurvorna) och PM_{2,5} (nedre tre kurvorna) uppmätt med DustTrak.

Mätningarna med DustTrak uppvisar samma mönster som för TEOM, men med lägre koncentrationer. Till skillnad från TEOM-resultaten har dock GAÖ11 lägre PM₁₀-koncentration än referensen ABS11, särskilt vid 50 och 70 km/h (Figur 5). I figuren framgår även koncentrationen av PM_{2,5} uppmätt med DustTrak. I denna fraktion genererar ABS11 och GAÖ11 snarlika koncentrationer medan GAP11 orsakar lägre koncentrationer.

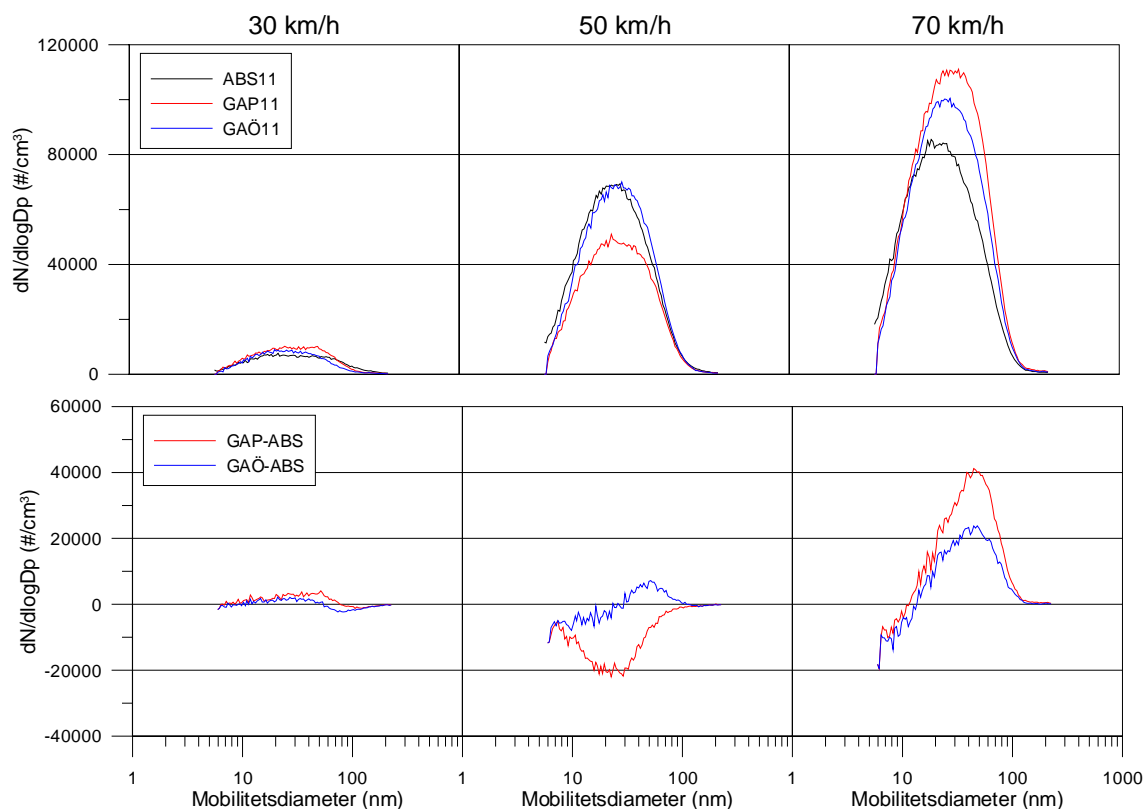
4.2 Storleksfördelningar

I Figur 6 visas utsnitt av APS-data ($0,523\text{--}17,14\ \mu\text{m}$) för hastigheterna 30, 50 och 70 km/h. Utsnitten är medelvärden av storleksfördelningarna under tiominutersperioder i slutet på hastighetsintervallen 30, 50 och 70 km/h. Det snabba avtagandet i den grövre delen av kurvorna orsakas av PM_{10} -insuget, som skiljer av grövre fraktioner. Här framgår att fördelningarna tenderar att vara bi-modala, det vill säga vara uppbyggda av två fraktioner (moder) med maxima vid olika partikelstorlek. Fördelningarna vid 50 och 70 km/h har två tydliga max, ett vid ca $3\text{--}4\ \mu\text{m}$ och ett vid $7\text{--}8\ \mu\text{m}$. Maxima för de gummiinblandade beläggningarna skiljer sig något i förhållande till referensbeläggningen. I den nedre delen av Figur 6 är differenserna mellan fördelningarna beskrivna. Här framgår att moden vid $3\text{--}4\ \mu\text{m}$ minskas främst av GAP11, medan GAÖ11 främst påverkar den grövre moden $7\text{--}8\ \mu\text{m}$.



Figur 6 Övre graferna visar partikelmassfördelningar för PM_{10} för beläggningarna. Undre graferna visar differensen mellan massfördelningarna för de gummiinblandade beläggningarna och referensbeläggningen.

Liksom för alla mätningar där beläggningar testas med dubbdäck, bildas ultrafina partiklar ($< 100\ \text{nm}$) även vid föreliggande studier. I Figur 7 visas utsnitt av dessa partiklar ($7,64\text{--}300\ \text{nm}$, SMPS-data) för hastigheterna 30, 50 och 70 km/h. Utsnitten är medelvärden av storleksfördelningarna under femtonminutersperioder i slutet på hastighetsintervallen 30, 50 och 70 km/h. Notera att förekomsten av partiklar i de olika storlekarna anges som antal per cm^3 .



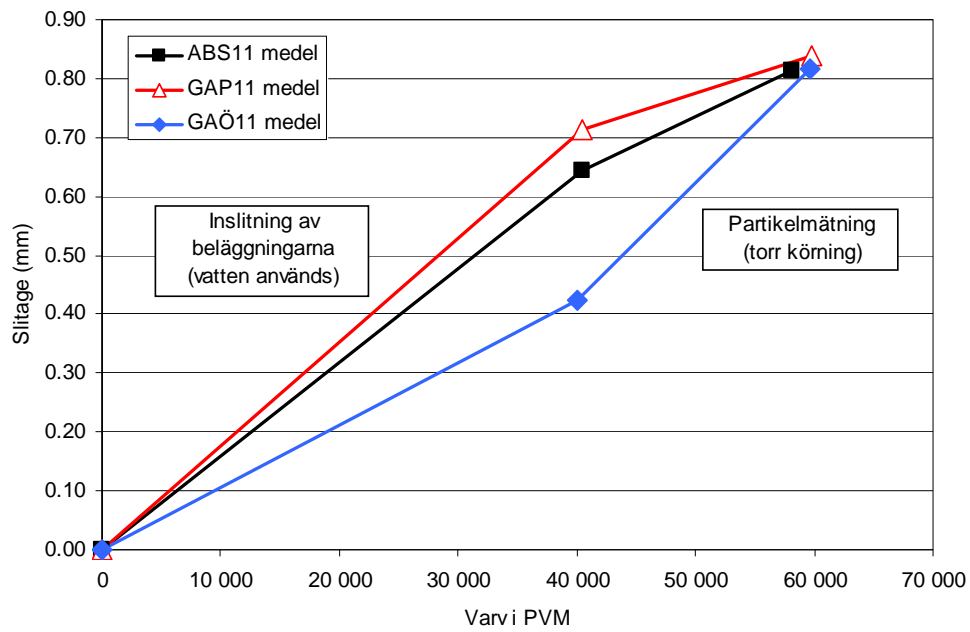
Figur 7 Övre graferna visar partikelantalsfördelningar för belägningarna vid olika hastigheter. Undre graferna visar differensen mellan antalsfördelningarna för de gummiinblandade belägningarna och referensbeläggningsen.

Vid 30 km/h är antalsfördelningarna mycket lika. Vid 50 km/h ger GAP11 upphov till lägre halter, men fördelningarnas utseende är mycket lika (maxima vid ca 20–30 nm). Vid 70 km/h tenderar de gummiinblandade belägningarna att producera högre koncentrationer än referensbeläggningsen. Även fördelningens form påverkas något, så tillvida att de gummiinblandade belägningarna ger upphov till något grövre fraktioner, medan referensbeläggningsens maxima skjivas mot något mindre storlekar.

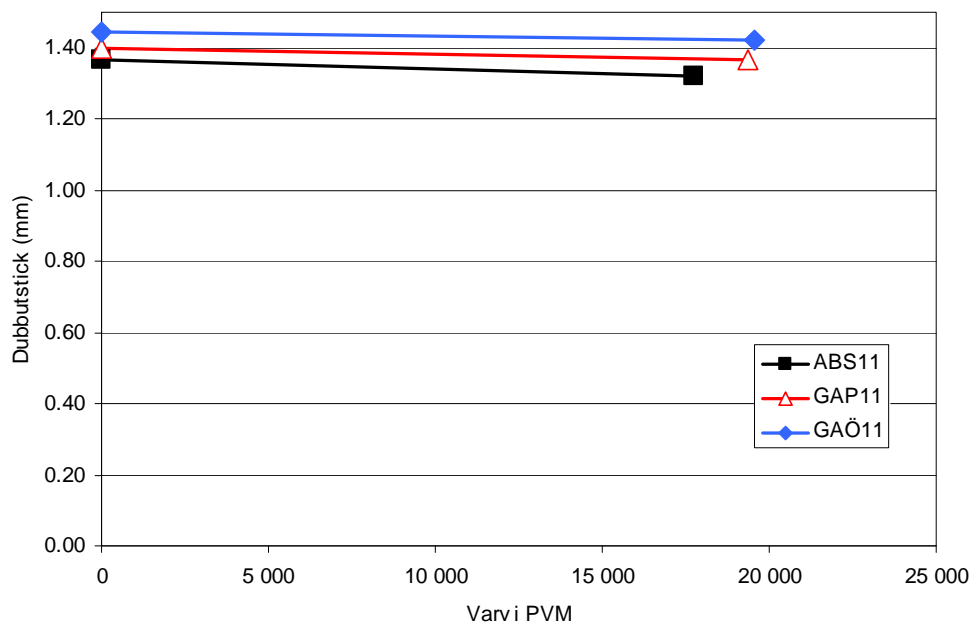
4.3 Slitage och dubbutstick

Slitageutvecklingen under inkörning och partikelmätning för båda belägningarna visas i Figur 8. GAÖ11 skiljer sig från ABS11 och GAP11. Detta beror sannolikt på att laserprofilometern inte är pålitlig då öppna beläggningar mäts, eftersom beläggningsens håligheter kan bidra till mätningarna, men inte utgör slitage. GAP11 slits något snabbare än ABS11 under den vattenbegjutna inslitningen, men något långsammare under den torra mätningen. Möjligen beror den något snabbare inslitningen på tjockare bitumenhinnor i den gummiinblandade beläggningsen. Dessa slitagemätningar utgör dock bara indikationer. En regelrätt slitagemätning görs med vattenbegjutning med avsevärt högre antal varv.

Slitaget, och därmed partikelgenereringen, är bland annat en funktion av dubbkraften som i sin tur påverkas av dubbutsticket. I Figur 9 framgår att dubbutsticket endast skiljt högst en tiondels mm före och efter mätningarna, vilket bedöms påverka resultaten marginellt.



Figur 8 Genomsnittligt slitage under inslitning och partikelmätning.



Figur 9 Dubbutstick före och efter partikelmätning.

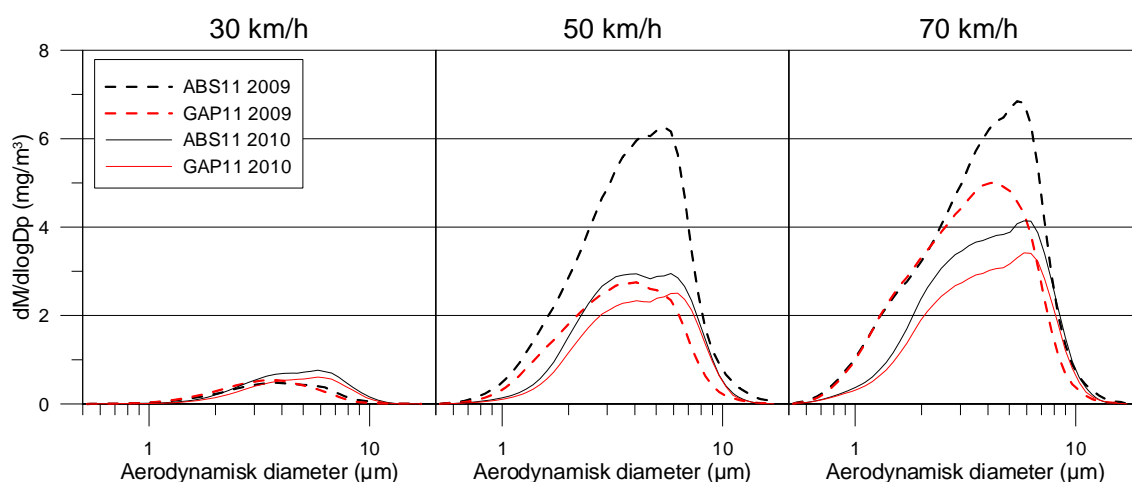
5 Diskussion

Resultaten från föreliggande undersökning stärker slutsatsen från föregående test där slutsatsen drogs att en gummiinblandad beläggning sänker bildningen av PM_{10} något i förhållande till en identisk beläggning utan gummi (Gustafsson m.fl., 2009). Slutsatsen gäller för GAP11 jämfört ABS11, medan det är mer tveksamt om den gäller för den öppna beläggningen GAÖ11. Data från TEOM, som bör vara de pålitligaste för jämförelse, visar inte på någon tydlig skillnad. DustTrak och APS (storleksfördelning) visar dock på något lägre halter för GAÖ11 jämfört ABS11.

För GAP11 är minskningen i PM_{10} -koncentration vid de tre hastigheterna ca 20–25 % i förhållande till ABS11. Minskningen är procentuellt något högre vid högre hastighet.

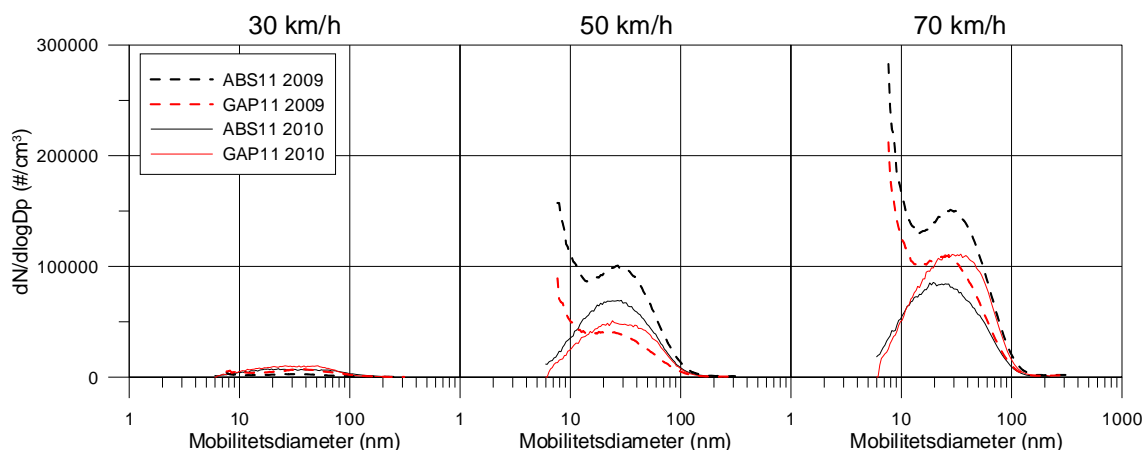
Partikelmasskoncentrationerna visar på bimodala fördelningar för alla beläggningarna, vilket indikerar att det finns två olika källor eller processer som bildar PM_{10} -partiklar. För att få en uppfattning om vilka dessa är krävs provtagning och analys, vilket inte ingått i föreliggande projekt. Tills vidare är källorna oklara, men då GAÖ11 är en öppen beläggning med mindre mellanmassa är en möjlig förklaring att den grövre moden härrör från mellanmassan, medan den något finare moden härrör från ballaststenen.

GAP11 och ABS11 kan jämföras med motsvarande beläggningar i Gustafsson m.fl. (2009). Beläggningsstenen var då kvartsit från Dalby. Skillnaderna i masstorleksfördelningarna är främst en mindre tydlig bimodalitet hos de tidigare beläggningarna och en större andel finare partiklar Figur 10. Dessa skillnader tillskrivs främst beläggningsstenens egenskaper.



Figur 10 Masstorleksfördelningen för jämförbara ABS- och GAP-beläggningar i föreliggande och tidigare tester.

Beläggningarna med gummiinblandning tenderar att producera högre halter av ultrafina partiklar vid 70 km/h, medan GAP11 ger lägre halter vid 50 km/h och skillnaden alla beläggningar emellan är obefintlig vid 30 km/h. Detta står i viss kontrast till tidigare försök (Gustafsson m.fl., 2009) där den gummiinblandade beläggningen producerade påtagligt lägre halter ultrafina partiklar vid 50 och 70 km/h (Figur 11).



Figur 11 Antalsfördelningar av ultrafina partiklar under föreliggande försök jämfört med resultat från Gustafsson m.fl., 2009.

Figur 11 visar även att partikelantalsfördelningarna från försöken i Gustafsson m.fl. (2009) uppvisar början till ett kraftigt maximum mot mätinstrumentets nedre storleksgräns. Denna partikelfraktion har sporadiskt uppstått vid olika försök utan att något samband till beläggningar eller däck har kunnat påvisas.

Nyligen har visats att produktionen av ultrafina partiklar är knutna till dubbarnas kontakt med sten eller bitumen eller i dubb/däck-kontakten. Då skillnaderna är påtagliga mellan olika beläggningstyper är det troligast att källan återfinns i dubbarnas kontakt med antingen sten eller bitumen i beläggningen. Det går dock inte att dra några vidare slutsatser om källan påverkas av inblandningen av gummi i bitumen utifrån föreliggande tester.

Slitaget på GAP11 utvecklas snabbare under den våta inslitningsfasen och långsammare under den torra partikelmätningen än ABS11. Orsakerna till detta kan bara spekuleras i. Möjligen visar det att GAP11:a ytskikt med inblandat gummi slits snabbare än det på ABS11, medan slitaget på det framslitna stenmaterialet blir något lägre.

Skillnaderna i dubbutstick mellan försöken var mycket små. GAÖ11 hade ca 0,05–0,1 mm större dubbutstick än ABS11 och GAP11 ungefär 0,02–0,05 mm större. Den rimligtvis lilla effekten av dessa skillnader skulle ge att partikelhalterna för GAP11 och ABS11 borde justeras något uppåt, vilket sammantaget skulle ge GAÖ11 ett något fördelaktigare resultat avseende partikelbildning. Erfarenhetsmässigt påverkar dock så här små skillnader i dubbutstick partikelbildningen marginellt.

I syfte att möjliggöra korrigering av hur uppmätta halter påverkas av yttre faktorer har en multipel regressionsanalys genomförts utifrån körningar på några olika standardbeläggningar (ABS) under olika yttre förhållanden. De styrande faktorerna har varit stenmaterialets kulkvarnsvärde, däckens dubbutstick och den relativa luftfuktigheten (RH) i lokalen. Den multipla regressionen ger följande formel för bestämning av förväntad halt PM_{10} :

$$PM_{10} = 1,38 \cdot Kulkvarn - 0,087 \cdot RH + 2,90 \cdot Dubbutstick$$

Starkast signifikans har kulkvarnsvärdet, därefter kommer RH och minst signifikans har dubbutsticket.

Om man jämför de modellerade värdena med de uppmätta värdena (Tabell 3) finner man att den uppmätta halten för ABS11 (vid 50 km/h) inte ligger särskilt långt från den förväntade halten. Däremot visar det sig att de båda gummiinblandade beläggningarna

båda ligger cirka 1 g/m^3 lägre än vad modellen förutsett (GAP: -0,9 och GAÖ: -1,0). Detta skulle kunna tolkas som att den haltminskande effekten av gummiinblandning i beläggningen ligger i storleksordningen 1 g/m^3 . Nu måste man dock komma ihåg att modellen för att justera värdena utifrån RH, dubbutstick och kulkvarnsvärde ännu så länge endast bygger på en begränsad mängd data, varför resultaten bör ses som en indikation på en haltsänkande effekt snarare än ett bevis på densamma.

Tabell 3 Resultat av multipel regression för PM_{10} vid 50 km/h med parametrarna kulkvarnsvärde, dubbutstick och RH.

| Beläggning: | Uppmätt: | Modellerat: | Kulkvarn: | Dubbutstick: | RH: |
|-------------|----------|-------------|-----------|--------------|------|
| ABS11 | 3,9 | 3,7 | 4,9 | 1,34 | 79,6 |
| GAP11 | 3,1 | 4,0 | 4,9 | 1,38 | 78,3 |
| GAÖ11 | 3,7 | 4,7 | 4,9 | 1,43 | 71,0 |

6 Slutsatser

- Samtliga mätmetoder visar att GAP11 ger upphov till lägre partikelemissioner än referensbeläggningsen ABS11. I laboratoriet är skillnaderna ca 20–25 % för PM₁₀ uppmätt med TEOM.
- Enligt den gravimetriska metoden (TEOM) ger GAÖ11 inte upphov till lägre PM₁₀-koncentrationer än ABS11, medan såväl DustTrak- som APS-metoderna visar på något lägre halter för GAÖ11.
- Partiklarnas massfördelningar är bimodala för alla tre beläggningar, med toppar på 4–5 respektive 7–8 µm.
- I massfördelningsdata ger både GAP11 och GAÖ11 något lägre halter än ABS11, men GAP11 sänker främst den finare moden (4–5 µm) medan GAÖ11 främst påverkar den grövre moden (7–8 µm).
- Antalsfördelningarna visar att ultrafina partiklar, med ett antalsmaximum vid 20–30 nm, bildas vid försöken. Detta är i enlighet med alla undersökningar i provvägsmaskinen där dubbdäck används.
- Sammantaget tyder resultaten på en positiv effekt på partikelemissionerna av gummiinblandning i konstruktionen GAP11 och i något mindre mån även för GAÖ11 jämfört med en ABS11.

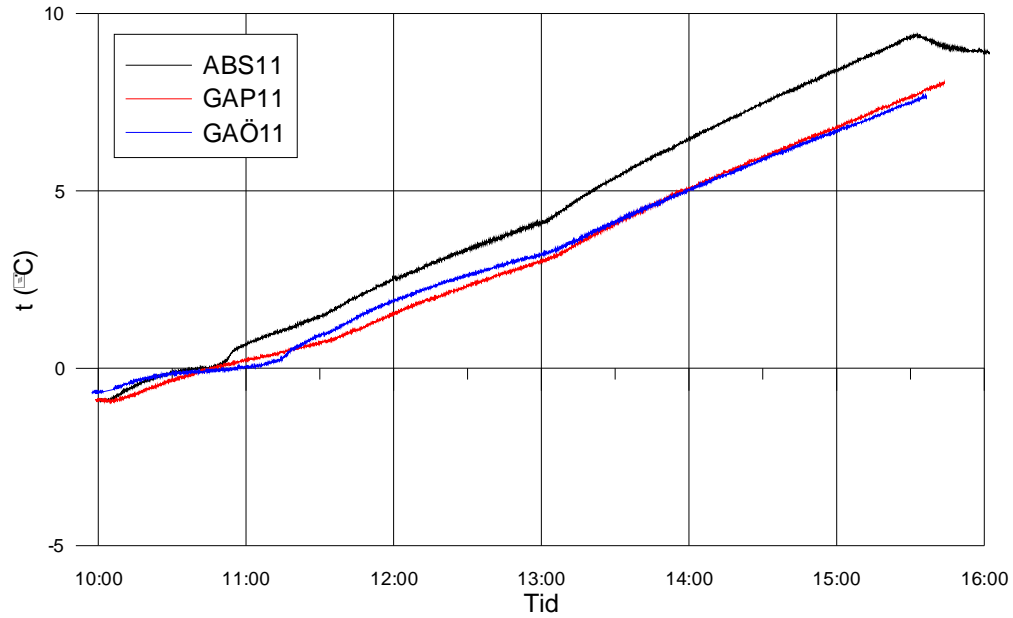
Referenser

Gustafsson, M., et al., 2009. NanoWear – nanopartiklar från däck- och vägbaneslitage? VTI Rapport (in press).

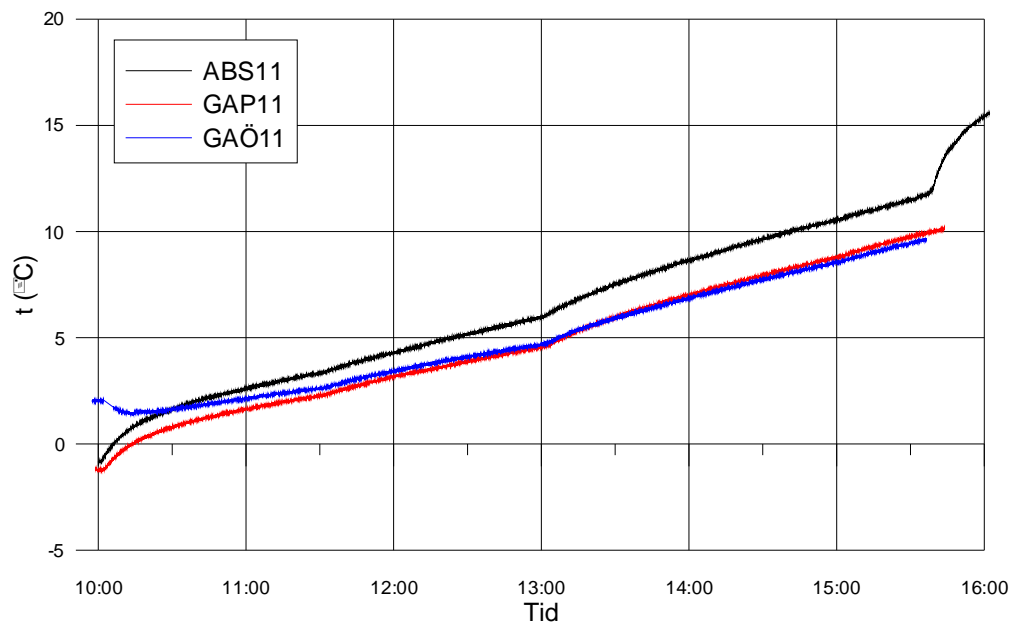
Gustafsson, M., et al., 2008. Properties and toxicological effects of particles from the interaction between tyres, road pavement and winter traction material. *Science of the Total Environment* 393, 226–240.

Appendix

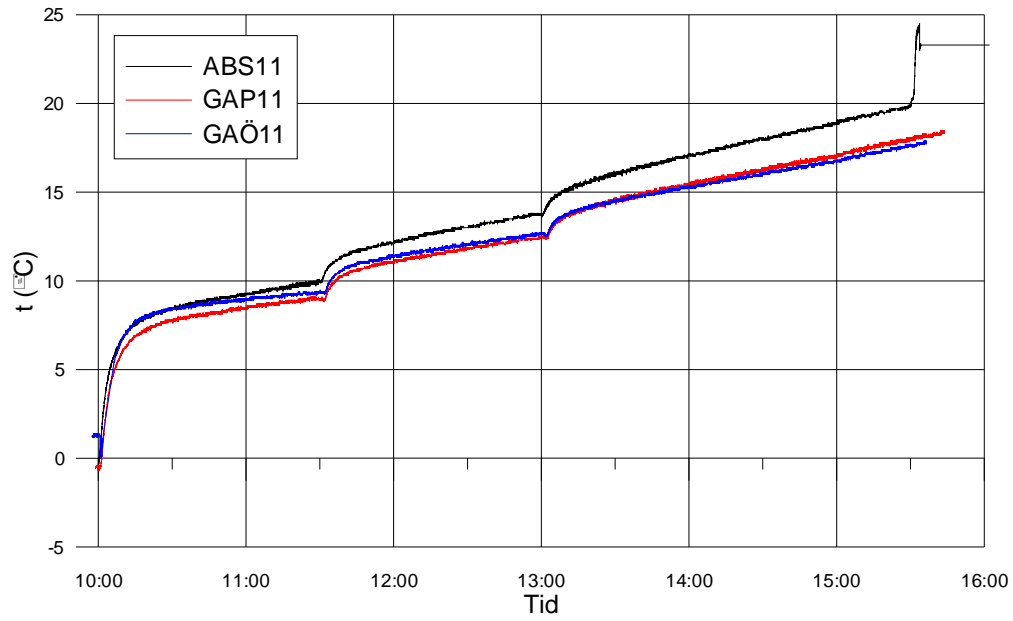
Temperaturer och luftfuktighet



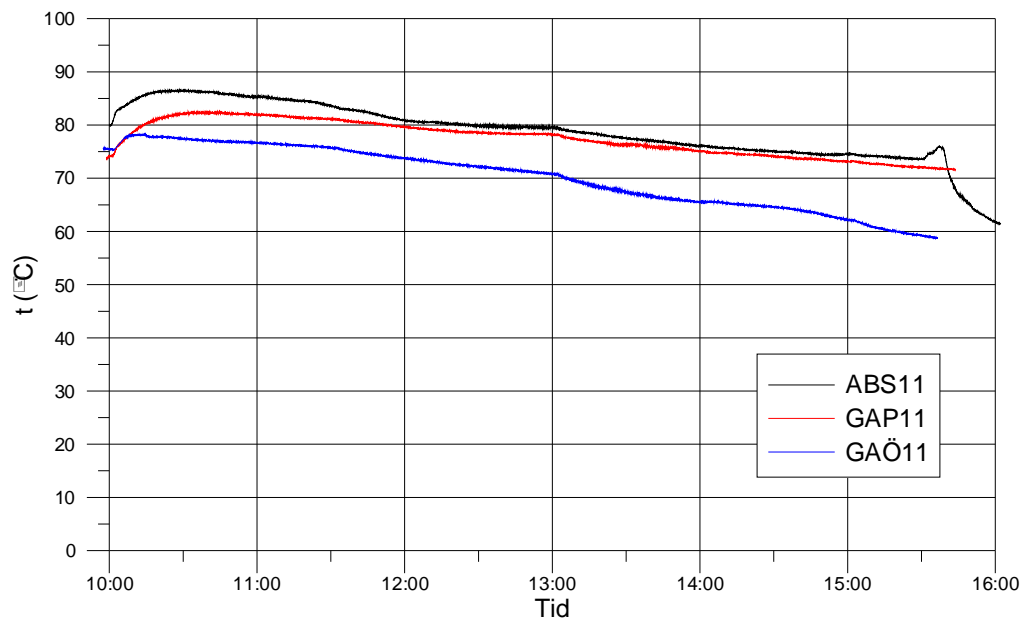
Figur A1. Förändring i beläggningstemperaturer under försöken.



Figur A2. Förändring i lufttemperatur under försöken.



Figur A3. Förändring i däcktemperatur under försöken.



Figur A4. Förändring i relativ luftfuktighet under försöken.

VTI är ett oberoende och internationellt framstående forskningsinstitut som arbetar med forskning och utveckling inom transportsektorn. Vi arbetar med samtliga trafikslag och kärnkompetensen finns inom områdena säkerhet, ekonomi, miljö, trafik- och transportanalys, beteende och samspel mellan människa-fordon-transportssystem samt inom vägkonstruktion, drift och underhåll. VTI är världsledande inom ett flertal områden, till exempel simulatorteknik. VTI har tjänster som sträcker sig från förstudier, oberoende kvalificerade utredningar och expertutlåtanden till projektledning samt forskning och utveckling. Vår tekniska utrustning består bland annat av körsimulatorer för väg- och järnvägstrafik, väglaboratorium, däckprovsningsanläggning, krockbanor och mycket mer. Vi kan även erbjuda ett brett utbud av kurser och seminarier inom transportområdet.

VTI is an independent, internationally outstanding research institute which is engaged on research and development in the transport sector. Our work covers all modes, and our core competence is in the fields of safety, economy, environment, traffic and transport analysis, behaviour and the man-vehicle-transport system interaction, and in road design, operation and maintenance. VTI is a world leader in several areas, for instance in simulator technology. VTI provides services ranging from preliminary studies, highlevel independent investigations and expert statements to project management, research and development. Our technical equipment includes driving simulators for road and rail traffic, a road laboratory, a tyre testing facility, crash tracks and a lot more. We can also offer a broad selection of courses and seminars in the field of transport.

