



Utvärdering av städmaskiners förmåga att reducera vägdammsförrådet i gatu- och tunnelmiljöer i Trondheim

Sara Janhäll
Mats Gustafsson
Karl Andersson
Ida Järllskog
Thomas Lindström

Utvärdering av städmaskiners förmåga att reducera vägdammsförrådet i gatu- och tunnelmiljöer i Trondheim

Sara Janhäll

Mats Gustafsson

Karl Andersson

Ida Järskog

Thomas Lindström

Diarienummer: 2015/0265
Omslagsbilder:
Tryck: LiU-Tryck, Linköping 2016

Referat

För att undvika överskridande av miljö kvalitetsnormerna för partiklar (PM₁₀) har Statens vegvesen Vegdirektoratet i Trondheim genomfört ett försök att rengöra en vägtunnel och en vägsträcka med tre olika städmaskiner för att minska mängden vägdamm. Ett stort antal andra tester redovisas i huvudrapporten (Snilsberg och Gryteselv, 2015), medan föreliggande rapport fokuserar på hur stort vägdammsförrådet varit före och efter städningen med olika maskiner i de olika miljöerna.

Resultatet visar att städning minskar vägdammsförrådet effektivt i gatumiljö med två av de tre olika maskinerna, medan vägdammsförrådet ökar av städning i tunnelmiljö. En teori kan vara att detta kan bero på att även väggar och tak städas i tunnelmiljön, vilket skulle kunna medföra att städningen flyttar partiklar från tak och väggar till vägytan. Tunnelstädningen utförs med rengöringsmedel, vilket ger en annan kemisk miljö, som kan lösa upp vägdammet längre ner i texturen och tillgängliggöra det för provtagningsutrustningen.

Titel:	Utvärdering av städmaskiners förmåga att reducera vägdammsförrådet i gatu- och tunnelmiljöer i Trondheim
Författare:	Sara Janhäll (www.orcid.org/0000-0002-2679-2611) Mats Gustafsson (www.orcid.org/0000-0001-6600-3122) Karl Andersson, Ida Järskog, Thomas Lindström (VTI)
Utgivare:	VTI, Statens väg och transportforskningsinstitut www.vti.se
Serie och nr:	VTI rapport 883
Utgivningsår:	2016
VTI:s diarienummer:	2015/0265
ISSN:	0347-6030
Projektname:	Vägdammsmätningar i Trondheim
Uppdragsgivare:	Statens vegvesen, Norge
Nyckelord:	Vägdamm, städmaskin, DL180, tunnel, gata
Språk:	Svenska
Antal sidor:	29

Abstract

To avoid exceeding the environmental air quality standards for particulate matter (PM₁₀) Statens vegvesen Vegdirektoratet i Trondheim, Norway, has implemented an attempt to clean a road tunnel and a stretch of road with three different cleaning machines to reduce the amount of dust of the road. A large number of other tests is presented in the main report (Snilsberg and Gryteselv, 2015), while the present report focuses on how large the road dust depot has been before and after cleaning with different machines in the different environments.

The results show that two of the three different machines will reduce the road dust depot efficiently in the street environment, while the road dust depot increases of cleaning in the tunnel environment. One theory might be that this may be due to the fact that even the walls and ceiling are cleaned in the tunnel environment, which could lead to the cleaning moves particles from the ceiling and walls to the road surface. Tunnel cleaning is carried out with the cleaning solution, which gives a different chemical environment, which can dissolve way the dust further down in the texture and make it for the sampler.

Title:	Evaluation of sweepers' ability to reduce road dust load in street and tunnel environments in Trondheim
Author:	Sara Janhäll (www.orcid.org/0000-0002-2679-2611) Mats Gustafsson (www.orcid.org/0000-0001-6600-3122) Karl Andersson, Ida Järskog, Thomas Lindström (VTI)
Publisher:	Swedish National Road and Transport Research Institute (VTI) www.vti.se
Publication No.:	VTI rapport 883
Published:	2016
Reg. No., VTI:	2015/0265
ISSN:	0347-6030
Project:	Measurements of Road Dust in Trondheim
Commissioned by:	Statens vegvesen, Norway
Keywords:	Road dust, DL180, sweepers, tunnel, road
Language:	Swedish
No. of pages:	29

Förord

Rapporten utgör en beskrivning och analys av en mätning avseende hur städning av gatu- och tunnelmiljöer påverkar vägdammsförrådet på vägytan. Studien är beställd av Statens vegvesen, Vegdirektoratet i Trondheim, Norge, där tre olika städmaskiners effektivitet har studerats avseende ett flertal variabler, vilka hanteras i en huvudrapport: ”Renholdsforøk i Trondheim - 20.-21. april 2015 i Strindheimtunnelen og Haakon VII gate” (Snilsberg och Gryteselv, 2015). Här redovisas endast effekterna på vägdammsförrådet.

Projektledare har varit Mats Gustafsson och Sara Janhäll har haft huvudansvaret för rapport-skrivningen och analysen. Karl Andersson och Thomas Lindström har deltagit i mätningarna. Ida Järllskog har ansvarat för laboratorieanalysen.

Rapporten utgör slutrapport för projektet ” Vägdammsmätningar i Trondheim”.

Författarna vill tacka Brynhild Snilsberg och Dagfin Gryteselv för kommentarer på en tidig version av manuskriptet och Joacim Lundberg för granskning av det slutliga manuskriptet.

Linköping, januari 2016

Mats Gustafsson
Projektledare

Kvalitetsgranskning

Intern peer review har genomförts 11 december 2015 av Joacim Lundberg. Sara Janhäll har genomfört justeringar av slutligt rapportmanus. Forskningschef Mattias Viklund har därefter granskat och godkänt publikationen för publicering 21 december 2015. De slutsatser och rekommendationer som uttrycks är författarens/författarnas egna och speglar inte nödvändigtvis myndigheten VTI:s uppfattning.

Quality review

Internal peer review was performed on 11 December 2015 by Joacim Lundberg. Sara Janhäll has made alterations to the final manuscript of the report. The research director Mattias Viklund examined and approved the report for publication on 21 December 2015. The conclusions and recommendations expressed are the author's/authors' and do not necessarily reflect VTI's opinion as an authority.

Innehållsförteckning

Sammanfattning	9
Summary	11
1. Introduktion.....	11
2. Metod.....	14
2.1. Wet Dust Sampler – beskrivning av instrumentet.....	15
2.1.1. Analys av proverna	15
2.2. Mätplan	16
2.2.1. Tunnel	16
2.2.2. Gata.....	17
3. Resultat och diskussion.....	19
3.1. Vägdammsförråd av mindre partiklar	23
3.2. Partikelstorleksfördelningar för vägdamm.....	23
3.3. Organiskt material i vägdamm	26
3.4. Vägytans textur	27
4. Slutsatser	29
Referenser	30

Sammanfattning

Utvärdering av städmaskiners förmåga att reducera vägdammsförrådet i gatu- och tunnelmiljöer i Trondheim

av Sara Janhäll (VTI), Mats Gustafsson (VTI), Karl Andersson (VTI), Ida Järskog (VTI), Thomas Lindström (VTI)

För att undvika överskridande av miljö kvalitetsnormerna för partiklar (PM_{10}) har Statens vegvesen Vegdirektoratet i Trondheim genomfört ett försök att rengöra en vägtunnel och en vägsträcka med tre olika städmaskiner, och genomfört ett stort antal andra tester som redovisas i huvudrapporten (Snilsberg och Gryteselv, 2015). Föreliggande rapport fokuserar på hur stort vägdammsförrådet varit före och efter städning med olika maskiner i de olika miljöerna.

Vägdammsförrådet är de partiklar som har ansamlats på vägbanan och som i ett senare skede riskerar att virvlas upp och bidra till halterna av PM_{10} i luften. Vägdammet består av partiklar från några millimeter ner till cirka $1\ \mu\text{m}$, men en standardiserad definition saknas. I det mått, DL180, som används i VTI:s mätmetod Wet Dust Sampler (WDS) används en övre gräns på $180\ \mu\text{m}$, som approximering för partiklar som kan virvlas upp av trafiken. PM_{10} , som är det mått som främst används för att reglera partikelhalter i luften, är i princip massan av partiklar mindre än $10\ \mu\text{m}$ i diameter. Det grövre vägdammet mals ned av trafikens däck och kan således i ett senare skede utgöra en del av de partiklar som blir luftburna och därmed bidra till PM_{10} -halterna.

Vägdammet är inte jämnt fördelat över vägytan då trafikrörelserna flyttar dammet. Normalt är vägdammsförrådet mindre i hjulspåren, då däckerna hela tiden transporterar dammet till andra ytor. Om trafiken alltid flyter i samma hjulspår blir detta allt tydligare, medan filbyten, och stor andel tung trafik (som har en annan axelbredd) kan jämna ut vägdammsförrådet över vägen. Detta har tagits i beaktande vid utveckling av provtagningsmetoden som används i denna studie –Wet Dust Sampler, se nedan. Mätmetoden använder avjoniserat vatten för att samla in vägdammsprovet och är således inte beroende av en torr vägyta, en funktion som varit en förutsättning i denna studie.

Studien har beskrivits kortfattat då mer information om städmaskintekniker, mätupplägg, mätplatser med mera, finns i den centrala rapporten. Här har fokus legat helt på vägdammsförrådet och det som kan påverka resultaten från mätningarna av vägdammsförrådet. Först beskrivs mätmetoden och mätplanen, sedan resultaten och sist de slutsatser som kan dras av resultaten.

Resultatet visar att städning minskar vägdammsförrådet effektivt i gatumiljö med två av de tre olika maskinerna, medan vägdammsförrådet ökar av städning i tunnelmiljö. En teori kan vara att detta kan bero på att även väggar och tak städas i tunnelmiljön, vilket skulle kunna medföra att städningen flyttar partiklar från tak och väggar till vägytan. Tunnelstädningen utförs med rengöringsmedel, vilket ger en annan kemisk miljö, som kan lösa upp vägdammet längre ner i texturen och tillgängliggöra det för provtagningsutrustningen.

Summary

Evaluation of sweepers' ability to reduce road dust load in street and tunnel environments in Trondheim

by Sara Janhäll (VTI), Mats Gustafsson (VTI), Karl Andersson (VTI), Ida Järleskog (VTI), Thomas Lindström (VTI)

To avoid exceeding the environmental air quality standards for particulate matter (PM₁₀) Statens vegvesen Vegdirektoratet i Trondheim, Norway, has implemented an attempt to clean a road tunnel and a stretch of road with three different cleaning machines to reduce the amount of dust of the road. A large number of other tests is presented in the main report (Snilsberg and Gryteselv, 2015), while the present report focuses on how large the road dust depot has been before and after cleaning with different machines in the different environments.

Road dust depots are the particles that have accumulated on the roadway and that at a later stage risks being stirred up and contribute to concentrations of PM₁₀ in ambient air. Road dust consists of particles from a few millimetre down to about 1 µm, but a standard definition is missing. The measure used here; DL180, sampled by VTI's Wet Dust Sampler (WDS) used an upper particle size limit of 180 µm as an approximation for particles stirred up by traffic. PM₁₀, which is the measure that is mainly used to control particle levels in the air, is basically the mass of particulate matter less than 10 µm in diameter. The rougher road dust is ground down by traffic decks and is therefore at a later stage a source of particles that can become airborne and thus contribute to PM₁₀ levels.

Road dust is not evenly distributed over the road surface when the traffic movements move the dust. Typically, less road dust deposits in the wheel tracks, where the tires all the time carry the dust to other surfaces. If the traffic always flows in the same rut, this becomes increasingly apparent, while a change of lanes, as well as a high proportion of heavy traffic (which has a different shoulder width) can smooth the road dust depot across the road. This has been taken into account in the development of the sampling method used in this study – the Wet Dust Sampler, described in the report. The method uses deionized water to collect road dust samples and is thus not dependent on a dry road surface, a feature that was a prerequisite in this study.

The study has been described briefly as more info on cleaning machine techniques, test plans, test facilities, etc. are available in the main report. The focus in this report has been entirely on road dust depots and the effects on the results of measurements of road dust depots. First the method of measurement and the measurement plan is described, then the results and finally the conclusions drawn from the results.

The results show that two of the three different machines will reduce the road dust depot efficiently in the street environment, while the road dust depot increases of cleaning in the tunnel environment. One theory might be that this may be due to the fact that even the walls and ceiling are cleaned in the tunnel environment, which could lead to the cleaning moves particles from the roof and walls to the road surface. Tunnel cleaning is carried out with the cleaning solution, which gives a different chemical environment, which can dissolve the dust further down in the texture and make it available to the sampler.

1. Introduktion

För att undvika överskridande av miljökvalitetsnormerna för partiklar har Statens vegvesen, Vegdirektoratet i Trondheim genomfört ett försök att rengöra en vägtunnel och en vägsträcka med tre olika städmaskiner, och genomfört ett stort antal andra tester som redovisas i huvudrapporten (Snilsberg och Gryteselv, 2015). Föreliggande rapport fokuserar på hur stort vägdammsförrådet varit före och efter städningen med olika maskiner i de olika miljöerna, vilket tidigare studerats i till exempel Norman m.fl. (2006), Gustafsson m.fl. (2009) Amato m.fl. (2010) och Gustafsson m.fl. (2011).

Vägdammsförrådet är de partiklar som har ansamlats på vägbanan och som i ett senare skede riskerar att virvlas upp och bidra till halterna av partiklar i luften. Vägdammet består av partiklar från några mm ner till ca 1 μm , men en standardiserad definition saknas. I det mått, DL180), som används i VTI:s mätmetod Wet Dust Sampler (WDS, Jonson m.fl., 2008) anges vägdammsförrådet (Dust Load) med en övre gräns på 180 μm , som approximation för partiklar som kan virvlas upp av trafiken. PM_{10} , som är det mått som främst används för att reglera partikelhalter i luften är i princip massan av partiklar mindre än 10 μm i diameter.¹ Det grövre vägdammet mals, om det finns kvar på vägbanan, ned av trafikens däck och kan således i ett senare skede utgöra en del av de partiklar som blir luftburna och därmed bidra till PM_{10} -halterna

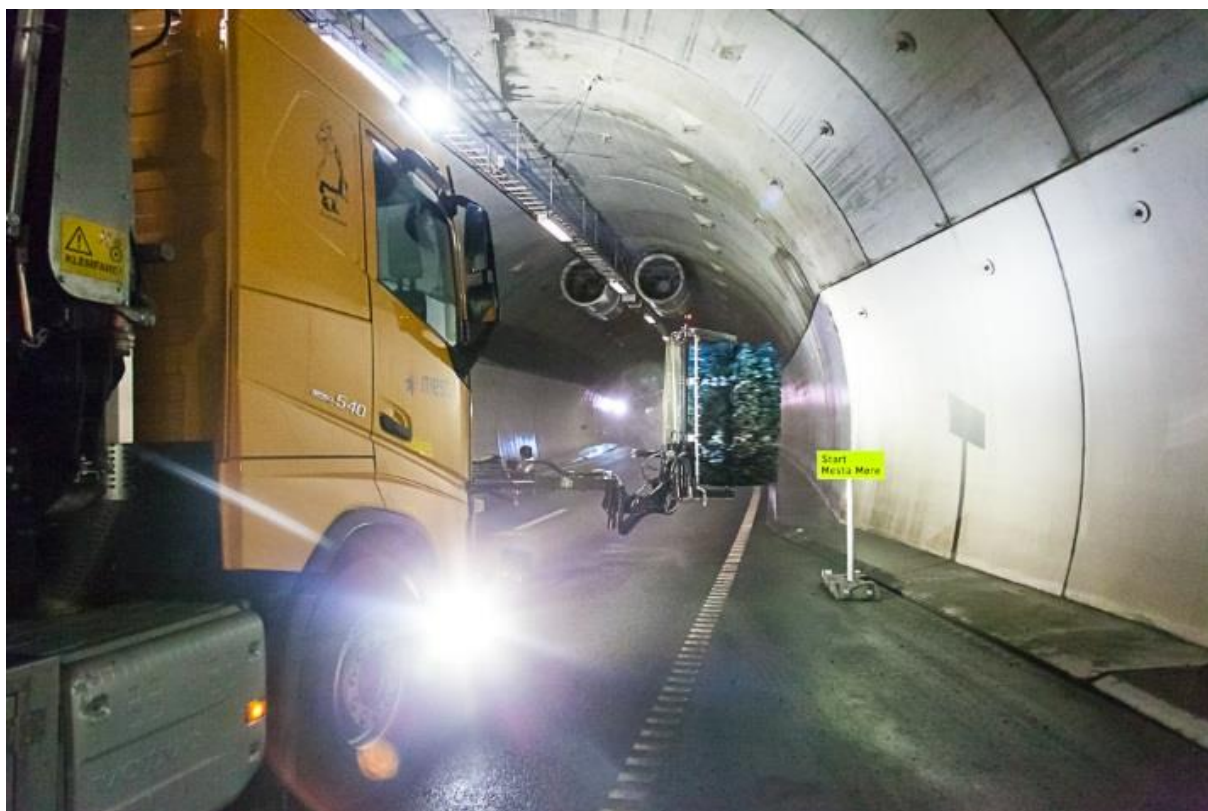
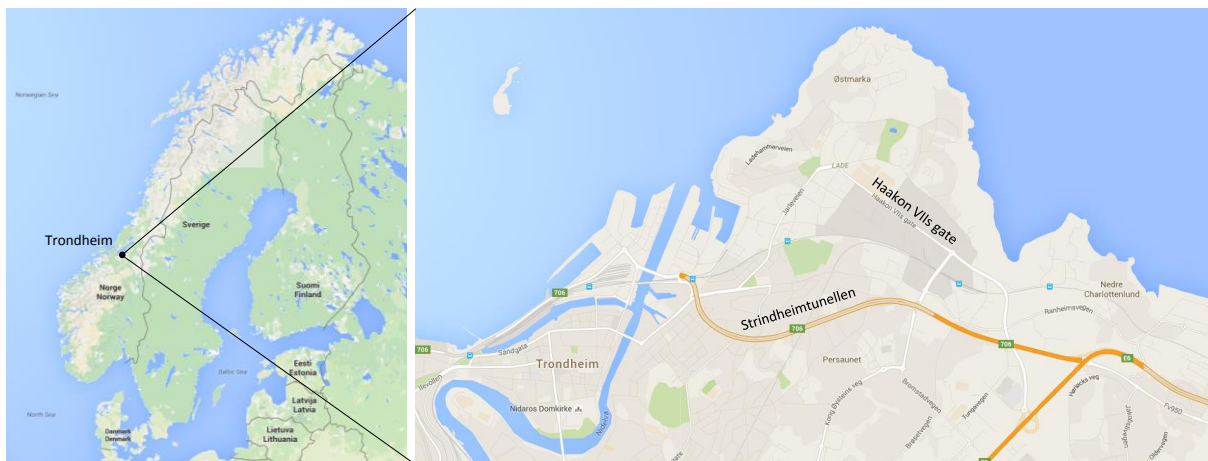
Vägdammet är inte jämnt fördelat över vägytan då trafikrörelserna flyttar dammet. Normalt är vägdammsförrådet mindre i hjulspåren, där däcken hela tiden transporterar dammet till andra ytor. Om trafiken alltid flyter i samma hjulspår blir detta allt tydligare, medan filbyten, och stor andel tung trafik (som har en annan axelbredd) kan jämna ut vägdammsförrådet över vägen. Detta har tagits i beaktande vid utveckling av provtagningsmetoden som används i denna studie – Wet Dust Sampler, se avsnitt 2.1. Mätmetoden använder avjoniserat vatten för att samla in vägdammsprovet och är således inte beroende av en torr vägyta, en funktion som varit en förutsättning i denna studie.

Studien har beskrivits kortfattat då mer information om städmaskintekniker, mätupplägg, mätplatser m.m. finns i den centrala rapporten. Här har fokus legat helt på vägdammsförrådet och det som kan påverka resultaten från mätningarna av vägdammsförrådet. Först beskrivs mätmetoden och mätplanen, sedan resultaten och sist de slutsatser som kan dras av resultaten.

¹ För PM_{10} används aerodynamisk diameter medan partikeldiametern för DL180 begränsas av siktning och dessa sätt att mäta diameter är inte helt jämförbara

2. Metod

Principen för mätningarna är att effekten av tre olika städmaskiner ska studeras i två olika miljöer. De två miljöerna har stängts av för trafik för att möjliggöra studien, en natt per miljö, se Figur 1. Först genomförs mätningar på alla sträckor som sedan ska städas, sedan städas alla sträckor och sist genomförs nya mätningar på de sträckor som har städats. Mätningarna före städningen behöver visa eventuella skillnader mellan de valda sträckorna för att minska risken att sträckan påverkas mer än städmaskinen.

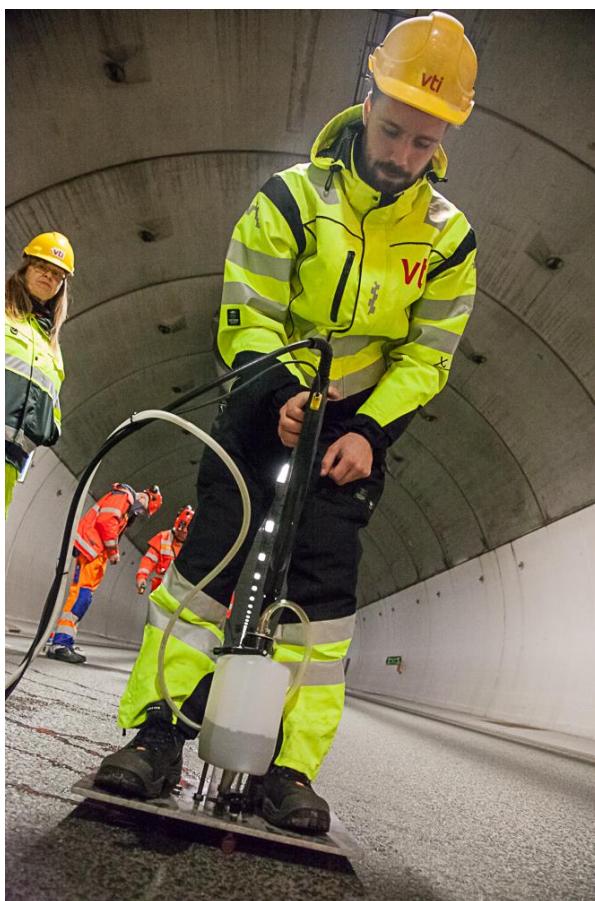


Figur 1. Mätgatornas placering i Trondheim och en av städmaskinerna under städning i tunnelmiljön (Källa: Google Maps, Foto: Mats Gustafsson, VTI).

2.1. Wet Dust Sampler – beskrivning av instrumentet

I detta projekt är det av stor vikt att insamlingen av prov kan ske under våta förhållanden i och med att städningen sker med vatten och vägbanan således är våt vid provtagning efter städning.

WDS tvättar upp och provtar damm på en liten yta av vägen med hjälp av en högtryckstvätt, som kopplats till en provtagningsenhet (se Figur 2). Sprutbildens, det vill säga formen på den yta som tvättas av strålen, är bottenytan av en fylld kon (41 cm²). Tvättvolymen (ca 400 ml) i varje ”skott” styrs av en kontrollenhet, som även startar en luftkompressor en viss tid efter tvättens start, för att trycka ut provet från provtagningsenheten till provflaskan.



Figur 2. Provtagning med Wet Dust Sampler (WDS) (Foto: Mats Gustafsson, VTI).

2.1.1. Analys av proverna

De prover som samlats in med WDS består av plastdunkar med destillerat vatten och vägdamm. Dessa prover analyseras genom att de skakas för hand direkt före analys, för att undvika att en del vägdamm stannar kvar i provbehållaren. Blandningen siktas först genom en 180 µm-sikt. Detta för att undvika oproportionerligt bidrag från enstaka större korn och då detta är den största storlek som kan användas för bestämning av storleksfördelning i den ursprungliga lasergranulometer som använts sedan WDS-provtagningarna startade. Provet vägs och filtreras sedan med hjälp av undertryck och vägdammets samlas upp på filterpapper. Filter torkas, konditioneras, vägs och bränns, varefter kvarvarande inorganiskt material vägs. Av relationerna mellan vattenmängd, provvikt och vikten av den inorganiska delen beräknas DL180 (Dust Load <180 µm) och organisk andel.

Ur provflaskor från provytor mellan hjulspår på respektive mätplats togs prov på 50 ml ut för storleksanalys med en lasergranulometer Malvern Mastersizer 3000. Genom att kombinera DL180 med storleksfördelningen beräknas DL10 (Dust Load <10 µm). Lasergranulometerns definition av

partikeldiameter är inte densamma som den aerodynamiska diameter som används för 10 µm i måttet PM₁₀ varför måtten inte är direkt jämförbara. Övrigt provvatten filtrerades genom filter av typen Munktell 001 (retention rate 2–3 µm). Filtren placerades i invägda deglar och brändes vid 550°C varefter mängden oorganiskt material kunde beräknas.

2.2. Mätplan

Både tunneln och gatan är uppdelad i tre fält där mätningar sker före och efter städning med respektive maskin. Mätningen direkt efter städningen förskjuts bakåt i färdriktningen, för att undvika att prover tas på samma plats där vägdammets redan har samlats in och för att den efterföljande provytan inte ska kunna påverkas av att trafik drar med sig vatten från föregående provyta. I detta fall var trafiken avstängd och det har inte körts mer än något enstaka fordon på ytan mellan mätningarna, men metoden har trots det följts. För att få ett representativt prov har sex ”skott” längs varje provyta samlats i ett prov, då småskaliga skillnader i vägdammsförråd längs vägen inte ska studeras, utan istället den samlade bilden av respektive yta. De olika placeringarna tvärs vägbanan har dock hållits konstant inom varje prov, så att provet representerar till exempel situationen i hjulspåret eller i vägkanten, se Figur 4.

Mängden vatten som finns kvar efter rengöring skiljer sig mellan de olika fordonen, och har mätts upp med Wettex-metoden av Statens vegvesen, se Figur 3.

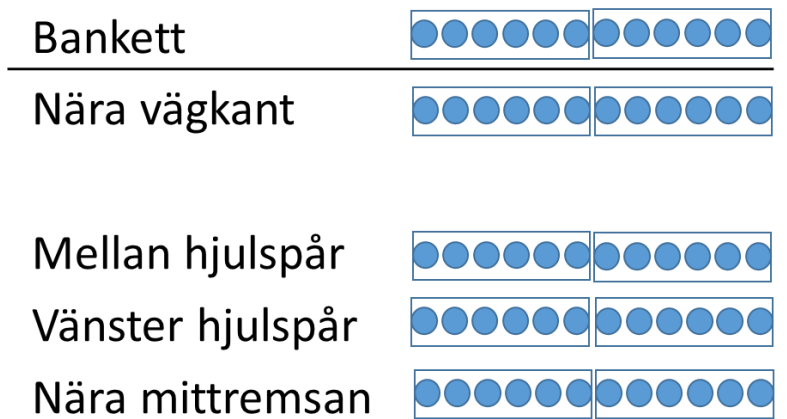


Figur 3. Personal från Statens vegvesen tar Wettex-prover (Foto: Mats Gustafsson, VTI).

2.2.1. Tunnel

Strindheimtunnelen är en vägtunnel i centrala Trondheim, med hastighetsgräns 80 km/h och en mer detaljerad beskrivning finns i den centrala rapporten (Snilsberg och Gryteselv, 2015). I tunneln tvättas inte bara vägbanan med städmaskinerna, utan också väggar och tak. Det används också tvättmedel, vilket inte används i gatumiljö (Snilsberg och Gryteselv, 2015). I tunneln tas prover nära mittmarkeringen mellan filerna, i vänster hjulspår, mellan hjulspåren, nära vägkant och på banketten, det vill säga den förhöjning längs hela tunneln som liknar en trottoar, se Figur 4 eller 5. Varje provtagning (före och efter städning på tre mätplatser) gjordes med 2 prover à 6 WDS-skott på varje provyta, tagna i direkt anslutning till varandra. Totalt togs 20 prover med totalt 120 skott per mätplats,

det vill säga 60 prover totalt i tunneln. Hälften av proverna togs före rengöring och hälften efter rengöring.



Figur 4. Principskiss för provtagning i tunneln där varje blå cirkel är ett "skott" och sex av dessa skott har samlats i en provflaska (inringade med en blå ruta).



Figur 5. Provtagning i hjulspår i Strindheimstunellen. Restvatten i provpunkter från provytorna mellan hjulspår och vid väggkant ses också i bilden (Foto: Mats Gustafsson, VTI).

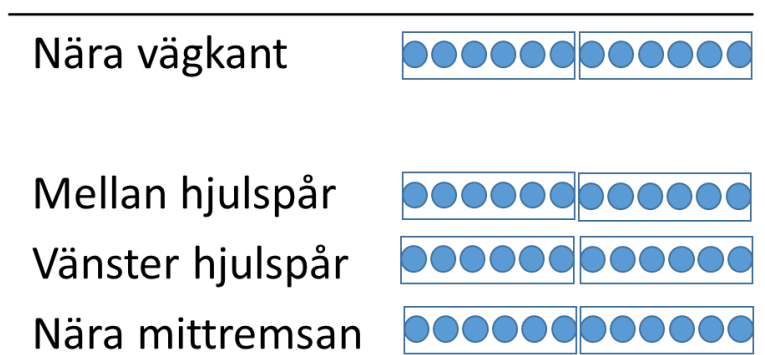
2.2.2. Gata

Haakon VII gate är en rak gata med relativt få avtagsvägar förbi ett köpcentrum, vilket underlättar mätning under nattetid då trafiken av naturliga skäl är begränsad utanför affärernas öppettider (Figur 6). Mätning har skett längs den körriktning av vägen som ligger i anslutning till ett antal fotbollsplaner och därför saknar avtagsvägar. I den andra körriktningen kan man köra in till de olika affärerna, vilket eventuellt kan påverka fördelningen av vägdamn på vägbanan. Hastighetsgränsen är 50 km/h.



Figur 6. Provtagning i provytan mellan hjulspår på Haakon VII gate (Foto: Mats Gustafsson, VTI).

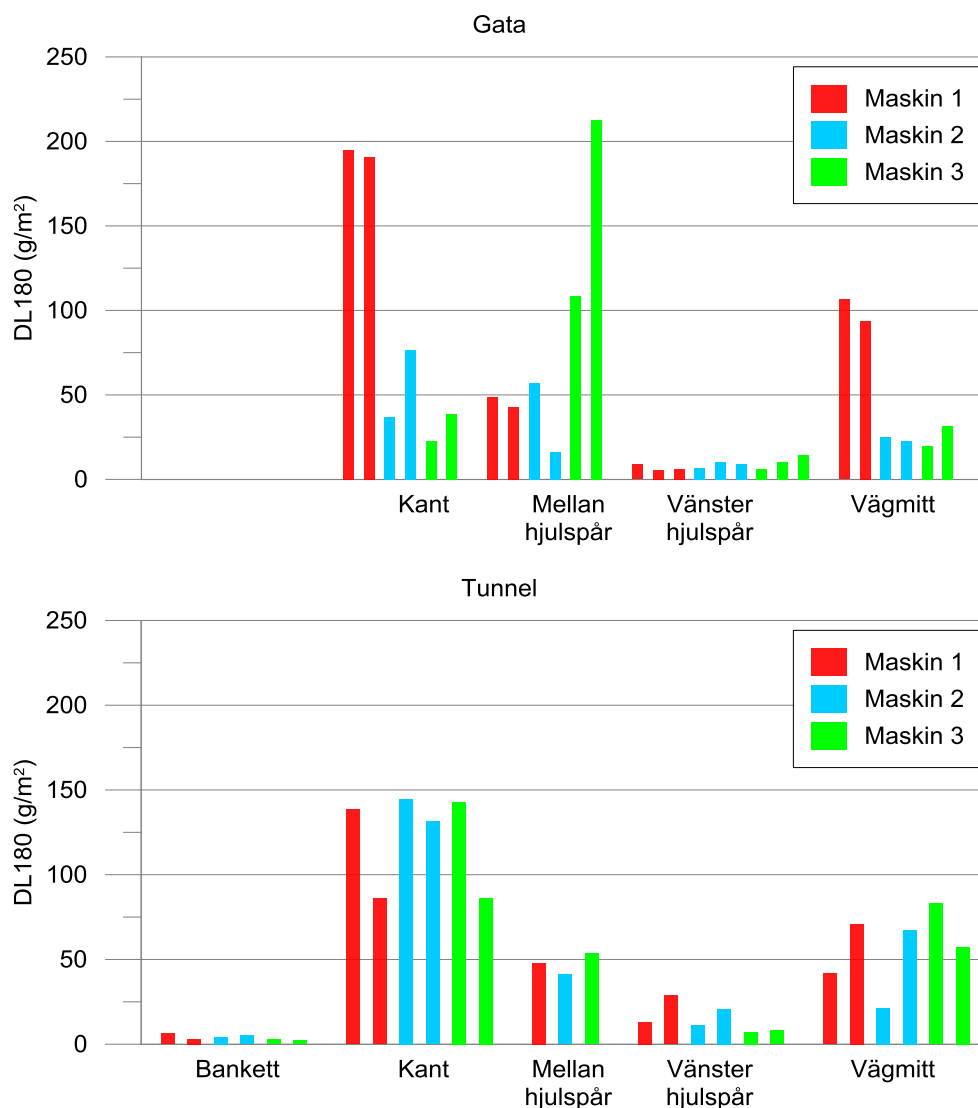
På gatan finns ingen trottoar eller bankett, och de prover som tas är vägkant, mellan hjulspår, vänster hjulspår och vägmitt. Varje provtagning (före och efter städning på tre mätplatser) gjordes med 2 prover à 6 WDS-skott i varje provyta, vilket resulterade i 16 prover, eller 96 skott per mätplats, det vill säga 48 prover totalt på vägen. Hälften av dessa prover tog före rengöring och hälften efter rengöring, se Figur 7.



Figur 7. Principskiss för provtagning på gatan där varje blå cirkel är ett "skott" och sex av dessa skott har samlats i en provflaska (inringade med en blå ruta).

3. Resultat och diskussion

Mätningarna visar att situationen varierar längs vägsträckorna redan innan rengöring. Detta gäller främst för gatumiljön medan tunnelmiljön är mer kontinuerlig i längsriktningen, se Figur 8, där mängden vägdamm i respektive prov i alla mätningar före städning visas. Detta beror sannolikt på att gatan har avtagsvägar, mer filbyten och är utsatt för nederbörd och vind i större utsträckning än i tunneln. Vad som däremot är tydligt är att vägdammsförrådet är litet i hjulspåret för båda vägmiljöerna och högre i delar av vägen där fordonens hjul inte verka.



Figur 8. Fördelningen av vägdamm före städning för alla mätplatser. Varje maskin motsvarar en mätsträcka.

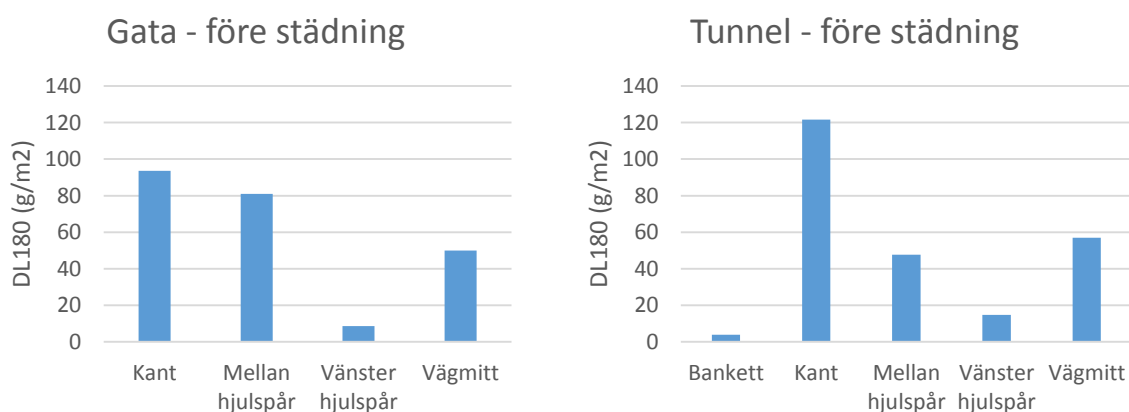
För sträcka 1 (maskin 1) på gatan är förrådet mycket stort i kanten av vägen, Figur 8. Här låg alldeles intill kantstenen ofta en större mängd vägdamm/grus, se Figur 9. Detta material kan vid rengöring delvis borstas ut på vägbanan och påverka förrådet av vägdamm på övriga provytor efter städning. Provtagningen vid vägkanten har dock skett innanför den påtagliga dammansamlingen, då WDS ståplatta inte tillåter provtagning närmre än ca 15 cm från kantstenen. Mellan hjulspåren och mellan körbanorna (vägmitt) är förrådet relativt stort, medan hjulspåret har låga vägdammsförråd. För alla tre mätningarna visar duplikatprovet samma resultat som den första mätningen. På sträcka 3 (maskin 3) är dammförrådet stort mellan hjulspåren, och här finns också en stor skillnad mellan duplikatproven. Sträcka 2 (maskin 2) har relativt stor skillnad mellan duplikatproven för de större förråden, det vill

såga kanten och mellan hjulspår. Sträcka 2 har i genomsnitt lägre damnmängder än sträcka 1 och 3. Både sträcka 2 och 3 har mindre vägdammsförråd i vägmitt än sträcka 1. Medelvärdena av de två duplikaten kan dock ge en god bild av vägdammsförrådet på plats, och i Figur 10 visas ett medelvärde före rengöring över alla tre vägsträckorna i respektive tunnel och gata.



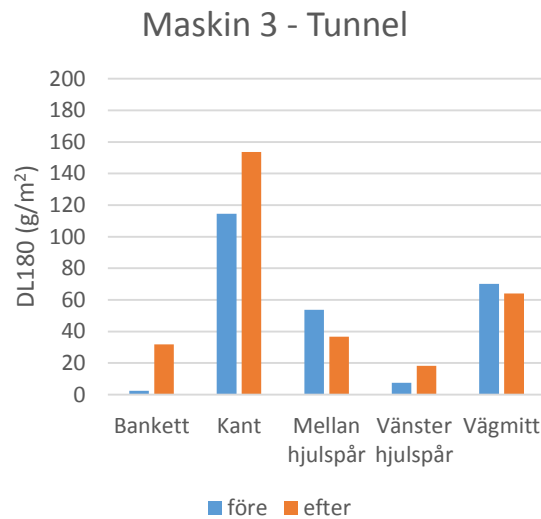
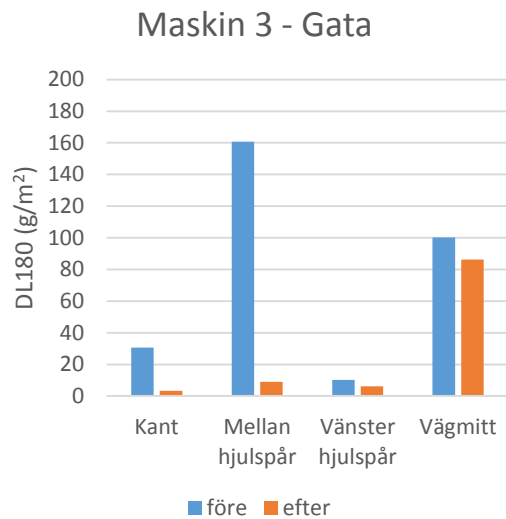
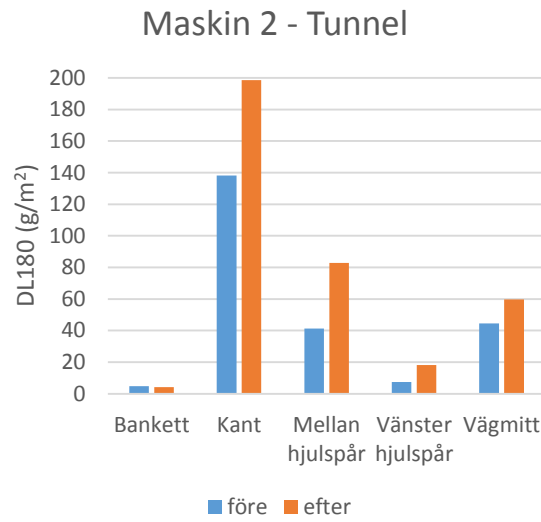
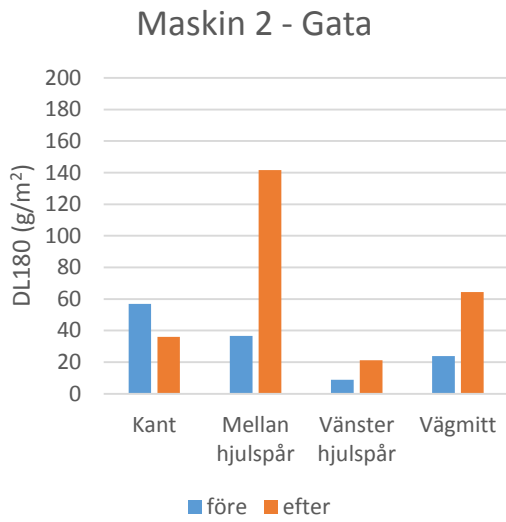
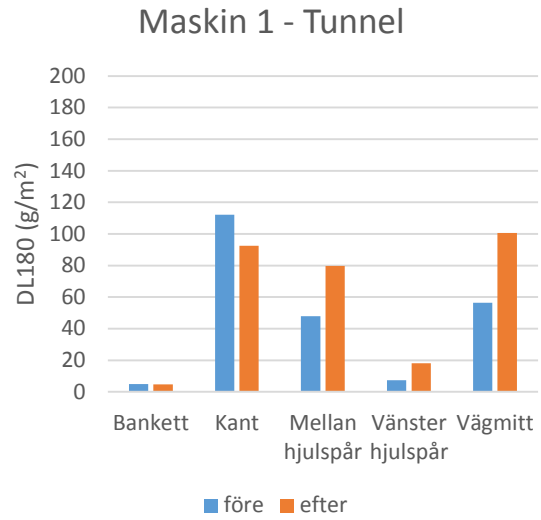
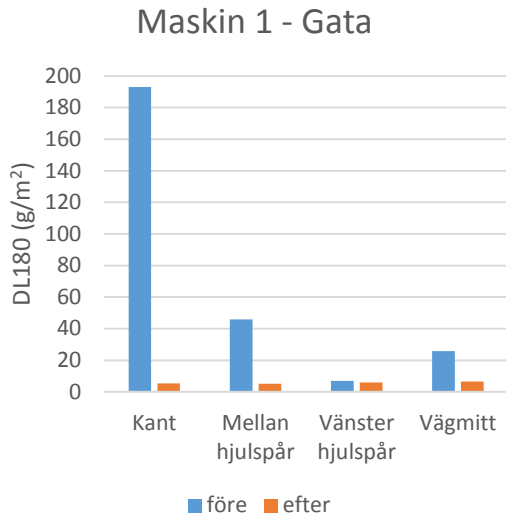
Figur 9. Stora mängder vägdamm har ansamlats vid kantstenen på Haakon VII gate (Foto: Mats Gustafsson, VTI).

Trots de höga halterna av damm mycket nära kantstenen på sträcka 1 i gatumiljön är damnmängden i medeltal högre vid kanten i tunneln. I tunneln har vi också banketten, som är slätare i sin struktur och inte utsätts för direkt trafik, och med mycket små dammförråd. Tydligt för alla mätplatser är de lägre dammförråden i hjulspåren, vilket är den bild vi ser i de flesta mätningar.



Figur 10. Mängden vägdamm för olika lägen i medel över väglängden för gatan och tunneln.

Effekten av städning visas i Figur 11 genom medelvärdet av vägdammsförrådet DL180 för de olika lägena på respektive sträcka före och efter städning. Datat redovisas också i tabellform i Tabell 1. Det är tydligt att städningen i tunneln ökade vägdammsförrådet i de flesta försöken, medan städningen på gatan minskade förrådet för maskin 1 och 3, medan maskin 2 endast minskade förrådet i vägkant och ökade förrådet i övriga lägen.



Figur 11. Vägdammsförrådet för de fem lägena tvärs tunneln och för fyra lägena tvärs gatan för all tre maskinerna.

Städningen med maskin 1 är i tunneln, se Figur 11, positiv för vägdamm i kanten av vägen, men för övriga platser ökar dammängden. På gatan ser vi å andra sidan att dammängden minskar stort för alla lägen tvärs vägen. Minskningen är där i genomsnitt 92 %.

Maskin 2 ger i tunnelförsöken en ökad mängd vägdamm för alla lägen tvärs vägen, vilket också är fallet för de flesta tvärlägen på gatan. Endast banketten har samma låga mängd vägdamm som före städningen. På gatan minskar dammförrådet i vägkanten något, medan övriga lägen ger ökade mängder.

Tunnelförsöken avseende maskin 3 ger ökade förråd både på banketten, i kanten, och i hjulspåret, medan förråden minskar något mellan hjulspår och i vägmitt. Gatuförsöket ger å andra sidan minskade förråd för alla lägen, framförallt mellan hjulspår. Det finns också en del vägdamm kvar i vägmitt. Minskningen på gatan är i genomsnitt 65 %.

Sammanfattningsvis ger städningen små eller negativa effekter på vägdammsförrådet i tunneln, medan både städmaskin 1 och 3 ger tydliga rengöringseffekter på förråden i gatumiljön. Då variationen över vägytan är stor, kan sopande maskiner ibland omfördela dammet på vägytan. Finare damm som inte maskinen klarar att ta upp kan därför öka dammängderna på ytor med lite damm före städning.

Före städning finns ett tydligt mönster på mätplatserna, med lägre dammängder i hjulspår vilket, i de fall städningen gett ett negativt resultat, kvarstår efter städning. Detta tyder på att städmaskinerna inte förmått ta upp dammet i ytans textur medan WDS tar upp mer material, vilket kan bero på att dammet är mer uppblött och lättillgängligt. I de fall då städningen varit effektiv och/eller att damm tillförts från städningen av väggar och tak i tunneln är dammängderna utjämnade över ytan (se till exempel resultaten från Maskin 1 på gatan i Figur 11).

Tabell 1. DL180 uppmätt före och efter städning med de tre olika maskinerna, uppdelat på försöket på gata och i tunnel.

	Maskin 1		Maskin 2		Maskin 3	
	före	efter	före	efter	före	efter
Gata	[g/m ²]	[g/m ²]	[g/m ²]	[g/m ²]	[g/m ²]	[g/m ²]
Kant	193	5,2	57	36	31	3,4
Mellan hjulspår	46	5,1	67	142	161	9
Vänster hjulspår	6,9	6	8,7	21	10	6,1
Vägmitt	26	6,5	24	64	100	86
Tunnel						
Bankett	4,8	4,8	4,8	4,1	2,4	32
Kant	112	83	138	198	115	154
Mellan hjulspår	48	80	41	83	54	37
Vänster hjulspår	7,4	18	7,4	18	7,4	18
Vägmitt	56	101	44	60	70	64

I tunnelmiljön minskar städningen inte vägdammsförrådet och ofta till och med ökar det. Om det antas att mätpunkterna sammantaget representerar hela den tvättade ytan, kräver en genomsnittlig ökning av dammängden ett tillskott av damm. Detta tillskott kan antingen tillföras från andra källor eller vara damm på vägytan som WDS inte klarat att provta före städningen. Då även tak och väggar städas samtidigt som vägytan kan en källa vara damm från dessa ytor som sköljs ner på vägbanan.

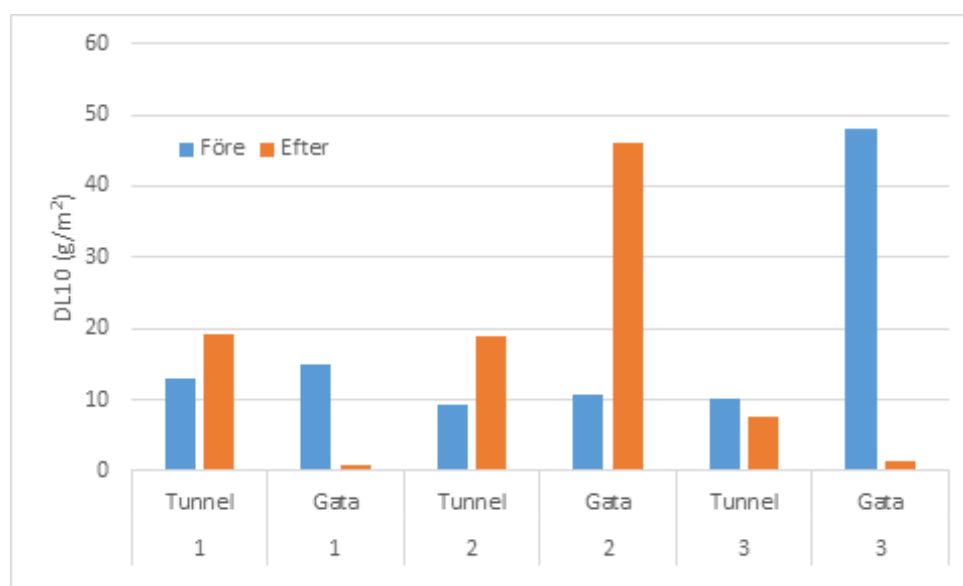
Användningen av tvättmedel i tunneln kan ha tillgängliggjort damm i vägytans textur som WDS inte lyckades provta före städningen, men som kunde tas upp efter. Detta kan förklara varför städningen var effektiv på gatan där tvättmedel inte användes, men ineffektiv i tunneln där tvättmedel kan ha tillgängliggjort en större del av dammet. Att damm cementerar i vägytans textur genom inverkan av vatten och trafik är väl känt och har observerats vid tidigare mätningar med WDS, men även i

tunnelmiljön i Trondheim. Möjligen kan tvättmedel från tidigare tunneltvättar även påverka denna cementering. Texturen kan även påverka städningens effektivitet, genom att en grov textur kan försvåra för städmaskiner att ta upp lika mycket finmaterial från vägytan som en fin textur.

3.1. Vägdammsförråd av mindre partiklar

De partiklar som ingår i PM_{10} är mindre än $10\ \mu m$ och därmed en delmängd av DL180. Den grövre delen av DL180 kan bidra till PM_{10} genom att de successivt mals ned av trafiken och därefter suspenderas till luften. För att underlätta en beskrivning av förrådet av partiklar som direkt kan bidra till PM_{10} -halterna har storleksfördelningen av partiklarna i DL180 analyserats med en lasergranulometer. Detta instrument definierar inte partikeldiameter på samma sätt som man gör i definitionen av PM_{10} (aerodynamisk diameter), varför jämförelser bör göras med en viss försiktighet. Lasergranulometerns data utnyttjats för att studera vilken andel av DL180 som utgörs av partiklar i samma storlekskategori som PM_{10} , här kallat DL10. Analysen har gjorts för proverna som har tagits mellan hjulspåren i de olika försöken.

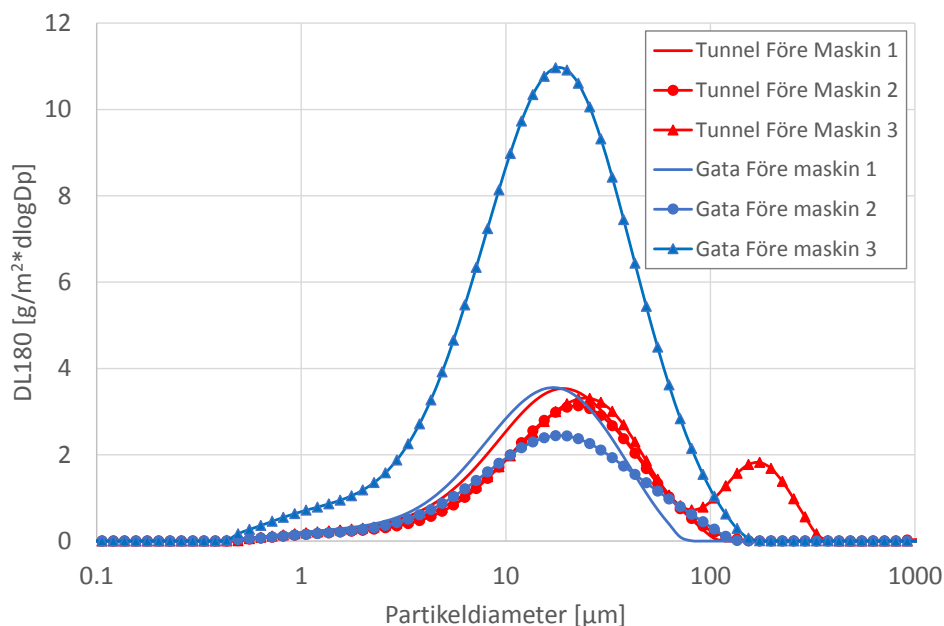
Beräkningen av DL10 baseras på DL180 tillsammans med lasergranulometerns analys av andelen partiklar mindre än $10\ \mu m$ i diameter. Andelen DL10 av DL180 är mindre i tunnelförsöken än i gatumiljön; 7-20% i tunneln och 15-33% i gatumiljön. Andelen DL10 av DL180 har också sjunkit i gatumiljön vid städningen med maskin 1 och 3. Den resulterade DL10 i ett av proverna mellan hjulspår för alla mätplatser visas i figur 12. Den stora minskningen av DL10 har skett vid städning med maskin 1 och maskin 3 i gatumiljö, medan maskin 2 ger ökade förråd av DL10 i båda miljöerna, vilket är samstämmigt med resultatet för DL180 mellan hjulspår.



Figur 12. Vägdammsförrådet med mindre partiklar, DL10, mellan hjulspår i de sex försöken.

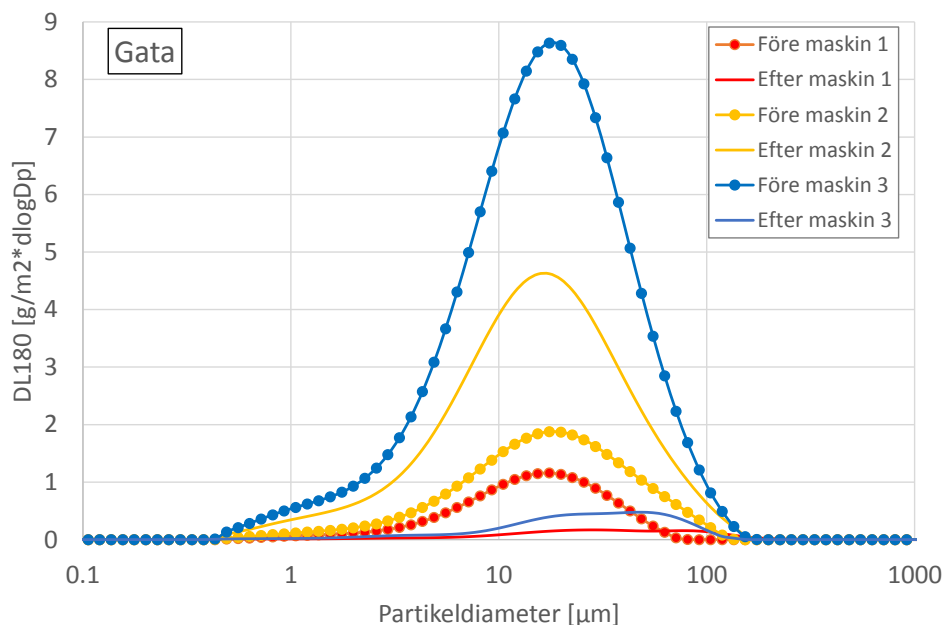
3.2. Partikelstorleksfördelningar för vägdamm

Storleken på de partiklar som finns i vägdammsproverna har analyserats med lasergranulometer, där andelen partiklar i varje storleksintervall anges. Resultatet har sedan multiplicerats med DL180 för respektive prov och DL180 fördelat på olika partikelstorlekar visas i gatumiljö i Figur 14 och i tunnelmiljö i Figur 16. Partiklarna har ett storleksmaximum runt ca $20\ \mu m$. I kurvan för ”Tunnel före Maskin 3” finns en sekundär grövre topp (Figur 13 och 16). Denna är sannolikt resultatet av ett mät- eller analysfel, då partiklar större än $180\ \mu m$ ska ha siktats bort i dessa prover.

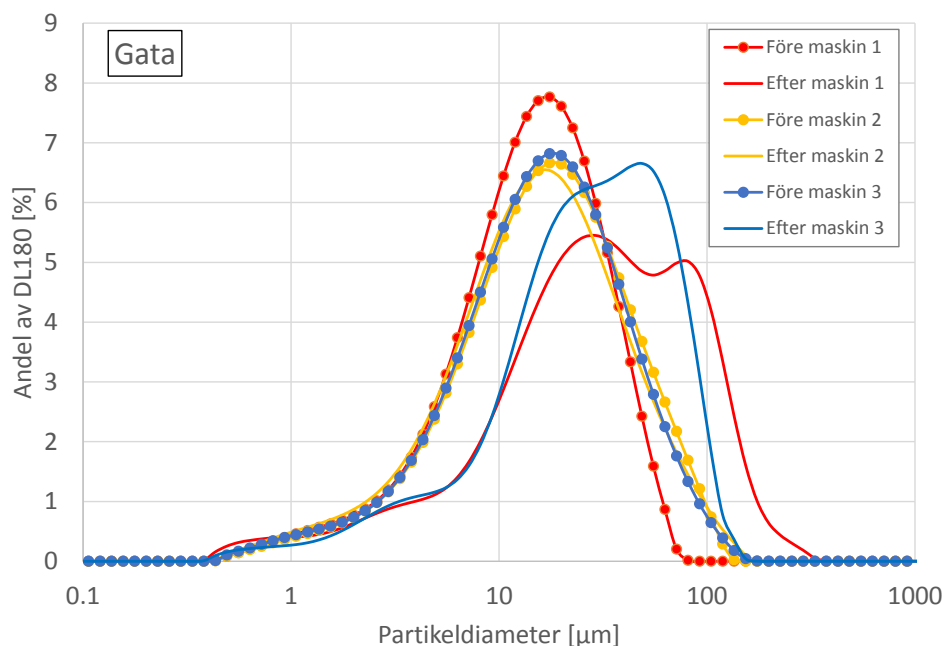


Figur 13. Partikelstorleksfördelningen (<180 μm) före städning för partikelprover tagna mellan hjulspår i Strindheimstunellen (röd) respektive på Hakon VII gate (blå).

Som tidigare visat var städningen mest effektiv för maskinerna 1 och 3 på Haakon VII gate, se Figur 11. Det kvarvarande vägdammets storleksfördelning mot grövre fraktioner medan formen på storleksfördelningen för maskin 2 var i princip oförändrad (se Figur 14). Resultaten tyder alltså på att maskinerna som är effektiva, är något mer effektiva för finare fraktioner inom DL180. Observera dock att den sekundära grövre toppen i kurvan ”Före maskin 3 ” i Figur 13 och 16 sannolikt är felaktig.

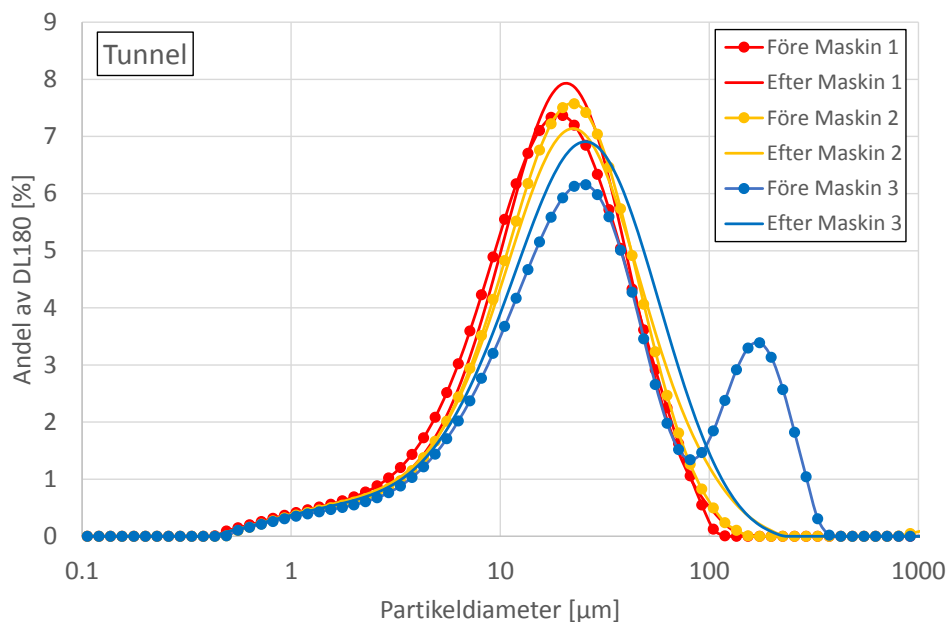


Figur 14. Partikelstorleksfördelningen, (<DL180) för partikelprover tagna mellan hjulspår på Haakon VII gate före och efter städning. Före är markerat med punkt och efter endast med linje, sträcka 1 är röd, sträcka 2 är gul och sträcka 3 är blå.



Figur 15. Den relativa partikelstorleksfördelningen ($<180 \mu\text{m}$) för partikelprover tagna mellan hjulspår på Haakon VII gate före och efter städning. Före är markerat med punkt och efter endast med linje, sträcka 1 är röd, sträcka 2 är gul och sträcka 3 är blå.

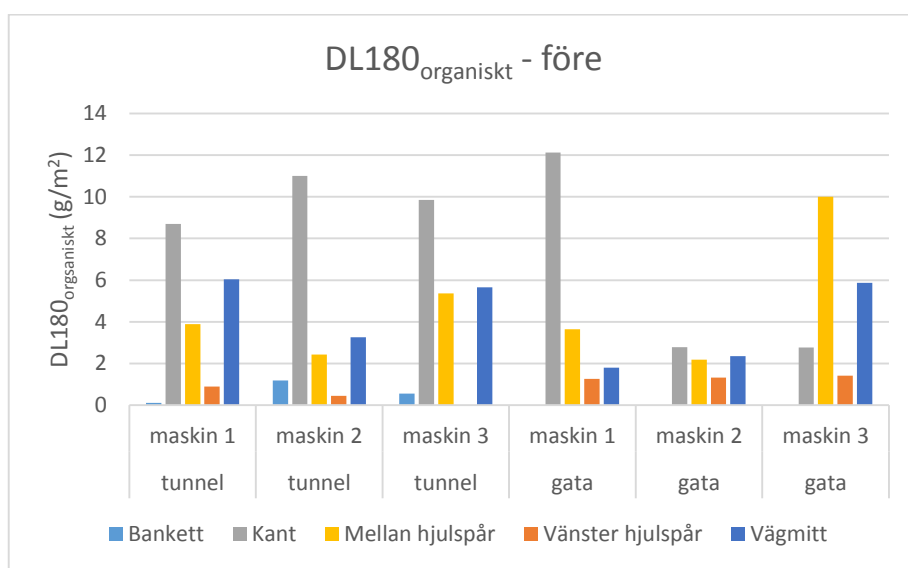
För tunnelmätningarna (se Figur 16), där vägdammsförrådet ökade mellan hjulspår efter städning med maskin 1 och 2 har storleksfördelningen i princip inte ändrats. Partiklarna i toppen kring $20 \mu\text{m}$ är något grövre (förskjutna mot större diameter i figuren) för sträckan där maskin 3 testades, både före och efter städning. Före städning visas i figur 13 att partiklarna är något grövre i tunnelmiljön än på gatan.



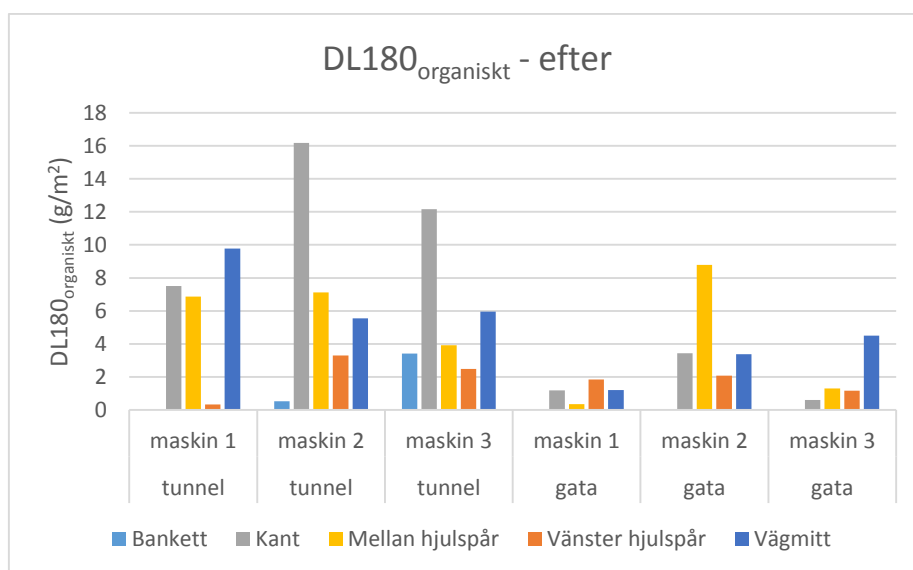
Figur 16. Den relativa partikelstorleksfördelningen ($<180 \mu\text{m}$) för partikelprover tagna mellan hjulspår i Strindheimstunellen före och efter städning. Före är markerat med punkt och efter endast med linje, sträcka 1 är röd, sträcka 2 är gul och sträcka 3 är blå.

3.3. Organiskt material i vägdamm

I och med att det organiska materialet bränns bort i analysen kan även det organiska vägdammets skiljas ut från den genomförda analysen, och rapporteras här. Denna del av metoden är inte kontrollerad på samma noggranna nivå som den inorganiska; DL180. Dock visar figur 17 att före städning har framförallt kanten i tunneln och delvis på gatan relativt mycket organiskt material på vägbanan. Det organiska materialet visar, på samma sätt som för det inorganiska som presenterats tidigare i rapporten, en större likhet mellan de olika mätsträckorna före städning i tunneln än på gatan. Figur 18 visar DL180_{organiskt} efter städning. Det går inte att se några tydliga mönster i skillnader mellan före och efter städningen i dessa data, annat än att mängderna organiskt material är lägre på de ytor där maskinerna varit effektiva. Andelsmässigt varierar halten organiskt material generellt mellan någon upp till knappt 25 %, men de flesta värdena varierar mellan 5-10 %.



Figur17. Organiskt vägdamm uppmätt före städning för alla sträckorna.



Figur18. Organiskt vägdamm uppmätt efter städning för alla sträckorna.

3.4. Vägytans textur

Vägytans textur kan påverka mängden vägdamm i ytan samt hur effektiv städningen blir. Den kan även påverka provtagningens effektivitet. En grov textur (hög mean profile depth, MPD) medför att damm kan gömmas djupare ner i texturen och inte nås av städmetoden. Om provtagningen med WDS samtidigt är effektivare än städmetoden kan därför skillnaden mellan före- och eftermätningen antas vara liten, särskilt då WDS-proverna analyseras avseende DL180, det vill säga förhållandevis små partiklar som sannolikt lättare cementerar i belägningens textur.

Figur 19 visar texturen (MPD) i hjulspår och mellan hjulspår i tunnel och på gata före och efter städning. Texturen på ytorna på gatan är lägre, särskilt mellan hjulspår. Som synes i Figur 11 är det denna yta som maskin 1 och 3 städar effektivast. Skillnaderna mellan de tre fälten är dock inte konsekvent för hjulspår och mellan hjulspår och det är inte sannolikt att skillnaderna mellan maskinernas tvätteffekt avgjorts av dessa texturskillnader. Från Figur 19 ser vi också att texturen i tunnelmiljön blir något grövre efter städning både mellan hjulspår och i höger hjulspår. Detta ser vi inte i gatumiljön och inte heller i vänster hjulspår i tunneln. Den grövre texturen efter städning skulle kunna betyda att städningen har kommit åt att rengöra från vägdamm längst ner i texturen. Detta stödjer tesen att en större mängd av det otillgängliga vägdamm i tunneln tillgängliggörs av städningen, till exempel via inverkan av tvättmedel.



Figur19. Textur (MPD = mean profile depth) uppmätt före och efter städning i två ytor på gatan och tre ytor i tunneln.

4. Slutsatser

Effekten av städning skiljer sig i försöken mellan tunnelmiljön och gatamiljön, där vägdammsförrådet minskar på gatans beläggning för två av maskinerna, men generellt ökar på beläggningen i tunneln. En sannolikt viktig skillnad mellan städningen i de båda miljöerna är att i tunneln städas, förutom vägytan, också väggar och tak. Dessa ytor städas med tvättmedel, som rinner över vägbanan efter tvätt. Från väggar och tak kan mindre partiklar spolras ner och bidra till dammförrådet på vägytan efter städning. Det är också möjligt att de tvättmedel som används vid tunnelstädning löser upp cementerat damm i vägytans textur bättre, vilket kan ge mer lättillgängligt vägdammsförråd efter städning i tunneln. Ett annat möjligt skäl är att den grövre texturen i tunnelmiljön kan medföra att städningen har svårare att komma åt vägdammet.

Skillnaden mellan de olika maskinerna är tydligast i gatamiljön där maskin 2 inte lyckades minska förråden, medan maskin 1 och 3 minskade förråden påtagligt. Vägdammsförrådet i tunneln ökade också mest vid städning med maskin 2, men här var skillnaden mellan maskinerna mindre.

Andelen DL10 av DL180 minskar i gatamiljö med städmaskin 1 och 3, medan andelen DL10 inte påverkas av städningen i tunneln. Storleksfördelningen av vägdammspartiklar påverkas inte av städningen i tunneln medan städningen av maskin 1 och 3 i gatamiljön minskar mängden av de mindre partiklarna kraftigare än de grövre (inom DL180). Den organiska andelen i DL180 varierar mellan några få procent i hjulspår till runt 20 %. Då information om skillnader i städteknik inte varit tillgänglig har inga slutsatser kunnat kopplas till dessa aspekter.

Referenser

Amato F, Querol X, Johansson C, Nagl C, Alastuey A. A review on the effectiveness of street sweeping, washing and dust suppressants as urban PM control methods. *Science of the Total Environment* 2010; 408: 3070–3084.

Gustafsson M, Bennet C, Blomqvist G, Johansson C, Norman M, Sjövall B. Utvärdering av städmaskiners förmåga att minska PM10-halter. VTI Rapport 707. VTI - Statens väg- och transportforskningsinstitut, Linköping, 2011.

Gustafsson M, Blomqvist G, Jonsson P. Damningsminimerad vinter- och barmarksdrift av belagda vägar. Mått, medel och strategier. VTI rapport 701. VTI - Statens väg- och transportforskningsinstitut, Linköping, 2009, pp. 90.

Jonsson P, Blomqvist G, Gustafsson M. Wet Dust Sampler: Technological Innovation for Sampling Particles and Salt on Road Surface. Seventh International Symposium on Snow Removal and Ice Control Technology, Transportation Research Circular 2008; E-C126: 102-111.

Norman M, Johansson C: Studies of some measures to reduce road dust emissions from paved roads in Scandinavia. *Atmospheric Environment* 2006; 40: 6154-6164.

Snilsberg B, Gryteselv D: Renholdsforsøk i Trondheim - 20.-21. april 2015 i Strindheimtunnelen og Haakon VII gate, 2015

VTI, Statens väg- och transportforskningsinstitut, är ett oberoende och internationellt framstående forskningsinstitut inom transportsektorn. Huvuduppgiften är att bedriva forskning och utveckling kring infrastruktur, trafik och transporter. Kvalitetssystemet och miljöledningssystemet är ISO-certifierat enligt ISO 9001 respektive 14001. Vissa provningsmetoder är dessutom ackrediterade av Swedac. VTI har omkring 200 medarbetare och finns i Linköping (huvudkontor), Stockholm, Göteborg, Borlänge och Lund.

The Swedish National Road and Transport Research Institute (VTI), is an independent and internationally prominent research institute in the transport sector. Its principal task is to conduct research and development related to infrastructure, traffic and transport. The institute holds the quality management systems certificate ISO 9001 and the environmental management systems certificate ISO 14001. Some of its test methods are also certified by Swedac. VTI has about 200 employees and is located in Linköping (head office), Stockholm, Gothenburg, Borlänge and Lund.

HEAD OFFICE
LINKÖPING
SE-581 95 LINKÖPING
PHONE +46 (0)13-20 40 00

STOCKHOLM
Box 55685
SE-102 15 STOCKHOLM
PHONE +46 (0)8-555 770 20

GOTHENBURG
Box 8072
SE-402 78 GOTHENBURG
PHONE +46 (0)31-750 26 00

BORLÄNGE
Box 920
SE-781 29 BORLÄNGE
PHONE +46 (0)243-44 68 60

LUND
Medicon Village AB
SE-223 81 LUND
PHONE +46 (0)46-540 75 00

