



# Driftåtgärder mot $PM_{10}$ i Stockholm

Utvärdering av vintersäsongen 2016/2017

Mats Gustafsson  
Göran Blomqvist  
Max Elmgren  
Sara Janhäll  
Christer Johansson  
Ida Järllskog  
Joacim Lundberg  
Michael Norman  
Sanna Silvergren



# **Driftåtgärder mot PM<sub>10</sub> i Stockholm**

## **Utvärdering av vintersäsongen 2016/2017**

Mats Gustafsson

Göran Blomqvist

Max Elmgren

Sara Janhäll

Christer Johansson

Ida Järskog

Joacim Lundberg

Michael Norman

Sanna Silvergren

Författare: Mats Gustafsson, VTI, Göran Blomqvist, VTI, Max Elmgren, SLB-analys,  
Sara Janhäll, RISE, Christer Johansson, SLB-analys och Stockholms universitet,  
Ida Järleskog, VTI, Joacim Lundberg, VTI, Michael Norman, SLB-analys,  
Sanna Silvergren, SLB-analys  
Diarienummer: 2011/0515-24  
Publikation: VTI rapport 970  
Omslagsbilder: Mats Gustafsson, VTI  
Utgiven av VTI, 2018

---

## Referat

---

Stockholms stad bedriver sedan 2011 ett arbete med att, genom förbättrade och specifika gatudrifts-åtgärder minska uppvirvlingen av vägdamm för att minska partikelhalter i luften. Sedan starten har effekterna på såväl dammförråd som luftkvalitet följts upp av VTI och SLB-analys vid Miljöförvaltningen i Stockholm.

Specifika åtgärder har omfattat främst dammbindning med kalciummagnesiumacetat (CMA) och städning med vakuumsug (Disa-Clean). Luftkvalitetsmätningarna visar att miljökvalitetsnormen för PM<sub>10</sub> klaras för fjärde året i Stockholm vilket delvis bedöms beror på driftåtgärderna. Den extra dagtida dammbindningen kunde visas sänka dygnsmedelvärdet av PM<sub>10</sub> med 6 %, medan den kvartervalsvisa behandlingen inte kunde visas ha någon tydlig effekt. Vägdammsmängderna mätt som DL180 (vägdamm mindre än 180 µm) tenderar att i genomsnitt ha ökat något jämfört med föregående säsong, särskilt i ytorna mellan hjulspåren. Omläggningen av Folkungagatan har resulterat i kraftigt ökade vägdammsmängder, men också lägre PM<sub>10</sub>-halter än föregående säsonger. Utvärderingen av möjligheterna att optimera dammbindningen visar att flera dagar med överskridanden på hösten missas, medan flera dagar i januari behandlas med CMA utan att behov egentligen föreligger. Högre precision med prognosbaserade åtgärder behövs för optimering av insatserna.

**Titel:** Driftåtgärder mot PM<sub>10</sub> i Stockholm. Utvärdering av vintersäsongen 2016/2017

**Författare:** Mats Gustafsson (VTI, <http://orcid.org/0000-0001-6600-3122>)  
Göran Blomqvist (VTI, <http://orcid.org/0000-0002-0124-0482>)  
Max Elmgren (SLB-analys)  
Sara Janhäll (VTI, numera RISE, <http://orcid.org/0000-0002-2679-2611>)  
Christer Johansson (ACES Stockholms universitet/SLB-analys, <http://orcid.org/0000-0002-8459-9852>)  
Ida Järleskog (VTI, <http://orcid.org/0000-0003-4815-8299>)  
Joachim Lundberg (VTI, <http://orcid.org/0000-0002-0138-0768>)  
Michael Norman (SLB-analys)  
Sanna Silvergren (SLB-analys, <http://orcid.org/0000-0001-6674-8108>)

**Utgivare:** VTI, Statens väg och transportforskningsinstitut  
[www.vti.se](http://www.vti.se)

**Serie och nr:** VTI rapport 970

**Utgivningsår:** 2018

**VTI:s diarienumr:** 2011/0515-24

**ISSN:** 0347-6030

**Projektnamn:** PM<sub>10</sub> Stockholm 2016–2017

**Uppdragsgivare:** Trafikkontoret, Stockholms stad

**Nyckelord:** PM<sub>10</sub>, miljökvalitetsnorm, partiklar, luftkvalitet, åtgärder, Stockholm, NORTRIP

**Språk:** Svenska

**Antal sidor:** 75

---

## Abstract

---

Since 2011, Stockholm City has been working to reduce the impact of road dust through improved and specific street operations to reduce particulate levels in the air. Since its inception, effects on dust load and air quality have been investigated by VTI and SLB-analys at the Environmental Management in Stockholm. Specific measures have mainly included dust binding with calcium magnesium acetate (CMA) and vacuum cleaning with a Disa-Clean sweeper. The air quality measurements show that the environmental quality standard for PM<sub>10</sub> is maintained for the fourth year in a row in Stockholm, which is partly due to operational measures. Additional daytime dust binding could be shown to lower the daily average PM<sub>10</sub> concentration by 6%, while blockwise CMA treatment could not be shown to have any clear effect. Road dust load, measured as DL180 (road dust less than 180 µm), tend to have increased slightly compared to the previous season, especially in between the wheel tracks. The re-paving of Folkungagatan has resulted in heavily increased dust load levels, but also lower PM<sub>10</sub> levels than previous seasons. Evaluation of the possibilities for optimizing dust binding shows that several days with exceedances in autumn are missed, while several days in January are treated with CMA without an actual need to reach the limit value. Higher precision with forecast-based measures is needed to further optimize the efforts.

**Title:** Operational measures against PM<sub>10</sub> pollution in Stockholm. Evaluation of Winter season 2016/2017

**Authors:** Mats Gustafsson (VTI, <http://orcid.org/0000-0001-6600-3122>)  
Göran Blomqvist (VTI, <http://orcid.org/0000-0002-0124-0482>)  
Max Elmgren (SLB-analys)  
Sara Janhäll (VTI, numera RISE, <http://orcid.org/0000-0002-2679-2611>)  
Christer Johansson (ACES Stockholms universitet/SLB-analys, <http://orcid.org/0000-0002-8459-9852>)  
Ida Järllskog (VTI, <http://orcid.org/0000-0003-4815-8299>)  
Joachim Lundberg (VTI, <http://orcid.org/0000-0002-0138-0768>)  
Michael Norman (SLB-analys)  
Sanna Silvergren (SLB-analys, <http://orcid.org/0000-0001-6674-8108>)

**Publisher:** Swedish National Road and Transport Research Institute (VTI)  
[www.vti.se](http://www.vti.se)

**Publication No.:** VTI rapport 970

**Published:** 2018

**Reg. No., VTI:** 2011/0515-24

**ISSN:** 0347-6030

**Project:** PM<sub>10</sub> Stockholm 2016–2017

**Commissioned by:** Traffic office, City of Stockholm

**Keywords:** PM<sub>10</sub>, air quality directive, particles, air quality, measures, Stockholm, NORTRIP

**Language:** Swedish

**No. of pages:** 75

---

## Förord

---

Denna rapport har tillkommit som resultat av ett gemensamt uppdrag till VTI och SLB-analys vid Miljöförvaltningen, Stockholms stad, beställt av Peter Ringkrans och Susanne Petterson på Trafikkontoret, Stockholms stad. Rapporten redovisar resultaten av uppföljningen av de åtgärder som vidtogs mellan oktober 2016 till maj 2017 mot höga partikelhalter i Stockholm. Den redovisar även unika data rörande vägdammssystemets dynamik och sammansättning i förhållande till gatudriften.

Författarna vill rikta ett stort tack till Peter Ringkrans och Susanne Petterson, Trafikkontoret, som förutom att ha finansierat projektet även följt arbetet med stort intresse och bidragit med mycket information om gatornas drift och underhåll. Tack också till Mikael Kellinsalmi, medarbetare på PEAB, som ställt upp med tungt skydd under mätnätterna och sett till att insatserna loggats och till Håkan Arvidsson vid VTI för analyser av storleksfördelningen i vägdammproverna. Vidare vill vi tacka alla inblandade fordonsförare på PEAB och Svevia som bidragit med sin erfarenhet, visat intresse och varit hjälpsamma.

Linköping, september 2018

*Mats Gustafsson*  
*Projektledare*

---

## Kvalitetsgranskning

---

Extern peer review har genomförts 15 juni 2018 av Hung Nguyen, Trafikverket. Mats Gustafsson har genomfört justeringar av slutligt rapportmanus. Forskningschef Mikael Johannesson har därefter granskat och godkänt publikationen för publicering i september 2018. De slutsatser och rekommendationer som uttrycks är författarnas egna och speglar inte nödvändigtvis myndigheten VTI:s uppfattning.

---

## Quality review

---

External peer review was performed on 15 June 2018 by Hung Ngyuen, Swedish Transport Administration. Mats Gustafsson has made alterations to the final manuscript of the report. The research director Mikael Johannesson examined and approved the report for publication on 31 August 2018. The conclusions and recommendations expressed are the authors' and do not necessarily reflect VTI's opinion as an authority.



---

## Innehållsförteckning

---

<b>Sammanfattning .....</b>	<b>9</b>
<b>Summary .....</b>	<b>11</b>
<b>1. Bakgrund .....</b>	<b>13</b>
<b>2. Meteorologi och dubbdäcksanvändning .....</b>	<b>15</b>
2.1. Meteorologi .....	15
2.2. Dubbdäcksanvändning .....	15
<b>3. Utförda åtgärder .....</b>	<b>17</b>
3.1. Gator .....	17
3.2. Dammbindning med CMA .....	19
3.3. Vakuumsug .....	20
3.4. Ordinarie driftåtgärder med inverkan på PM <sub>10</sub> – emissioner .....	21
3.5. Åtgärdslogg .....	22
<b>4. Metodik för utvärdering .....</b>	<b>26</b>
4.1. Vägdammsförrådet och joner på vägytan .....	26
4.2. Mätningar av PM <sub>10</sub> - och NO <sub>2</sub> -halterna under säsongen 2016/2017 .....	27
4.3. Mätningar av meteorologiska parametrar .....	28
4.4. Kemiska analyser av PM <sub>10</sub> .....	28
4.5. Friktion .....	29
<b>5. Resultat .....</b>	<b>30</b>
5.1. Vägdammsförråd och joner på vägytan .....	30
5.1.1. Variation av DL180 i vägdamm under vintersäsongen 2016/2017 .....	30
5.1.2. Variation av DL10 i vägdamm över vintersäsong mellan hjulspår .....	34
5.1.3. Organisk andel i DL180 .....	37
5.1.4. Variation av joner på vägytan över mätperioden .....	37
5.2. Luftkvalitetsmätningar .....	40
5.2.1. PM <sub>10</sub> -halter .....	40
5.2.2. NO <sub>2</sub> -halter .....	43
5.2.3. Jämförelse mot miljökvalitetsnormen för PM <sub>10</sub> .....	45
5.2.4. Kemiska analyser av PM <sub>10</sub> .....	45
5.3. Åtgärdernas effekt på vägytans fuktighet .....	49
5.4. Åtgärdernas effekter på PM <sub>10</sub> -halterna .....	51
5.4.1. Trafikmängd och antal fordon med dubbdäck .....	51
5.4.2. Utvärdering av dammbindning dagtid .....	51
5.4.3. Utvärdering av kvartersvis dammbindning och vakuumsugning .....	56
5.4.4. Optimering av dammbindningen .....	57
5.5. Friktion .....	60
<b>6. Diskussion .....</b>	<b>66</b>
<b>7. Slutsatser .....</b>	<b>70</b>
<b>8. FoU-behov .....</b>	<b>72</b>
<b>Referenser .....</b>	<b>73</b>



---

## Sammanfattning

---

### Driftåtgärder mot PM<sub>10</sub> i Stockholm. Utvärdering av vintersäsongen 2016/2017

av Mats Gustafsson (VTI), Göran Blomqvist (VTI), Max Elmgren (SLB-analys), Sara Janhäll (VTI, numera RISE), Christer Johansson (SLB-analys och Stockholms universitet), Ida Järskog (VTI), Joacim Lundberg (VTI), Michael Norman (SLB-analys) och Sanna Silvergren (SLB-analys)

Stockholms stad bedriver sedan 2011 ett arbete med att minska uppvirvlingen av vägdamm för att minska partikelhalter i luften, genom förbättrade och specifika gatudriftsåtgärder. Sedan starten har effekterna på såväl dammförråd som luftkvalitet följts upp av VTI och SLB-analys vid Miljöförvaltningen i Stockholm. De första åren kunde specifika utvärderingar göras då det fanns tillgång till referensgator med ordinarie driftåtgärder och luftkvalitetsstationer, men sedan 2014 har ett stort nät av centrala gator omfattats av åtgärderna vilket gjort att referensgatorna har saknats. Specifika åtgärder har omfattat främst dammbindning med kalciummagnesiumacetat (CMA) och städning med vakuumsug (Disa-Clean). Under säsongen 2016/2017, som denna rapport omfattar, har fokus legat på ett fast schema med CMA-utlägg tre nätter i veckan (måndag, onsdag, fredag) plus dagtida utläggning på tisdag och torsdag vid behov under mars 2017. Dessutom har städning av hela gatubredderna med vakuumsug genomförts på städnader en gång i veckan. Särskilda utvärderingar omfattade även kvartersvis dammbindning och vakuumsugning kring en av mätstationerna i april, 2017.

Luftkvalitetsmätningarna visar att miljökvalitetsnormen för PM<sub>10</sub> klaras för fjärde året i Stockholm vilket delvis bedöms beror på driftåtgärderna. Den extra dagtida dammbindningen kunde visas sänka dygnsmedelvärdet av PM<sub>10</sub> med 6 %, medan den kvartersvisa behandlingen inte kunde visas ha någon tydlig effekt. Natriumklorid bidrog till överskridanden av PM<sub>10</sub>-gränsvärdet vid 6 av 17 tillfällen. Vägdammsmängderna mätt som DL180 (vägdamm mindre än 180 µm) tenderar att i genomsnitt ha ökat något jämfört med föregående säsong, särskilt i ytorna mellan hjulspåren. Denna ökning har pågått sedan säsongen 2014/2015. Den fuktiga hösten och vintern är sannolikt en viktig faktor som gynnat både bildning av slitagepartiklar och uppbyggnaden av vägdammförrådet. Omläggningen av Folkungagatan har resulterat i kraftigt ökade vägdammsmängder, men också lägre PM<sub>10</sub>-halter än föregående säsonger. Den slitstarka porfyren i asfalten i kombination med grov textur, som lagrar mycket vägdamm bidrar sannolikt till detta resultat, men sannolikt har även ändringar i trafiksammansättning och trafikegenskaper bidragit.

Andelen DL180 som är mindre än 10 µm är högst i proverna tagna i december och januari och ligger runt 20 %. Den organiska andelen i vägdamm är cirka 4–8 viktprocent. Mätningarna av mängden joner på vägytan avspeglar användningen av CMA och NaCl och visar även på mycket effektiv bortspolning/utspädning vid regntillfällen. Friktionen följs upp då ackumulering av CMA kan orsaka halka. Endast vid ett tillfälle i februari uppmättes friktionskoefficienter under eller nära 0,5 på Norrlandsgatan och Sveavägen. Torrfriktion lägre än våtfriktion (tecken på CMA-påverkad halka) noterades i november och februari på Norrlandsgatan, Sveavägen och Hornsgatan. Utvärderingen av möjligheterna att optimera dammbindningen visar att detta är svårt då ett schema med fasta dagar för dammbindning används. Flera dagar med överskridanden på hösten missas, medan flera dagar i januari behandlas med CMA utan att behov egentligen föreligger. En förenklad villkorsbaserad beräkningsmetodik visar att MKN överskridits 9 gånger på våren vid tillfällen då CMA inte lagts ut, men även att CMA lagts ut vid 23 tillfällen då PM<sub>10</sub>-halterna sannolikt hade klarat gränsvärdet ändå. Högre precision med prognosbaserade åtgärder behövs för optimering av insatserna.



---

## Summary

---

### **Operational measures against PM<sub>10</sub> pollution in Stockholm. Evaluation of winter season 2016/2017**

by Mats Gustafsson (VTI), Göran Blomqvist (VTI), Max Elmgren (SLB-analys), Sara Janhäll (VTI currently at RISE), Christer Johansson (SLB-analys and Stockholm University), Ida Järllskog (VTI), Joacim Lundberg (VTI), Michael Norman (SLB-analys) and Sanna Silvergren (SLB-analys)

Since 2011, Stockholm City has been working to reduce the impact of road dust as a source of high particulate matter in air through improved and specific street operation measures. Since its inception, effects on road surface dust load and air quality have been followed by VTI and SLB-analys. During the first years, specific evaluations could be made as there were access to reference streets with regular operating and air quality stations, but since 2014 a large network of central streets has been covered by the measures, reference streets now are missing. Specific measures have mainly included dust binding with calcium magnesium acetate (CMA) and dry vacuum cleaning (Disa-Clean). The 2016/2017 season, presented in this report, has focused on a fixed schedule of CMA spreading three nights a week (Monday, Wednesday, Friday) plus daytime spreading on Tuesday and Thursday, if necessary, in March 2017. In addition, cleaning of the entire street surface with vacuum was carried out on cleaning nights once a week. Special evaluations also included block-wise dust binding and vacuum cleaning around one of the measurement stations in April 2017.

Air quality measurements show that the environmental quality limit value for PM<sub>10</sub> is not exceeded for the fourth year in a row in Stockholm, which is partly expected to be due to the operational measures. The additional daytime dust binding could be shown to lower the daily average of PM<sub>10</sub> by 6%, while the block-wise treatment could not be shown to have any clear effects. Sodium chloride contributed to exceedances of the PM<sub>10</sub> limit value on 6 of 17 occasions during the season. Road dust loads measured as DL180 (road dust smaller than 180 µm) tend to have increased slightly compared to the previous season, especially on the surface area between the wheel tracks. This increase has been ongoing since the 2014-2015 season. The wet autumn and winter are likely to be an important factor promoting both the formation of wear particles and accumulation of the dust load. The re-paving of Folkungagatan has resulted in heavily increased dust load levels, but also lower PM<sub>10</sub> levels than previous seasons. The durable porphyry in the asphalt in combination with rough macro texture, which stores a lot of road dust, is likely to contribute to this result, but changes in traffic amount and composition are likely to have contributed.

The proportion of DL180 smaller than 10 µm is highest in the samples taken in December and January and is around 20%. The organic proportion in the road dust is about 4–8% by weight. The measurements of the amount of ions on the road surface reflect the use of CMA and NaCl and also show a very efficient dilution caused by rainfall. Friction is monitored as accumulation of CMA can cause slippery conditions. Only on one occasion in February, coefficients of friction were measured below or near 0.5 on Norrlandsgatan and Hornsgatan and dry friction values below wet friction (sign of CMA accumulation slipperiness) was detected in November and February. Evaluation of the possibilities for optimizing dust binding shows that this is difficult when a fixed days schedule for dust binding is used. Several days with PM<sub>10</sub> exceedances during autumn are missed, while several days in January are treated with CMA without an actual need being present. A simplified condition-based calculation method shows that the limit value was exceeded 9 times in spring at times when CMA was not used, but also that CMA was released on 23 occasions when PM<sub>10</sub> levels were likely to have been under the limit value. Higher precision with forecast-based measures is needed to optimize the efforts.



---

## 1. Bakgrund

---

Stockholm stad har sedan 2005 testat olika åtgärder för att reducera PM<sub>10</sub>-halterna i staden med hjälp av dammbindning och olika städåtgärder. Resultaten från dessa försök (Johansson m.fl. 2004, Johansson m.fl. 2005b, Johansson m.fl. 2006, Norman 2008) visade att det fanns stor potential att påverka PM<sub>10</sub>-halterna framförallt genom dammbindning. Försöken återupptogs i stor skala 2011 då flera åtgärder implementerades som en del av den storskaliga driften i staden. VTI och SLB-analys har under åren följt upp och studerat de driftåtgärder som implementerats för att kunna utvärdera effekterna och analysera variationen i vägdammsförråd och PM<sub>10</sub>-halt över säsong och år. Detta är den sjätte rapporten i en rapportserie som beskriver just Stockholms stads åtgärder mot PM<sub>10</sub> från vägdamm. Rapporten föreslår även vidare förbättringar av driftmetoder och driftstrategier inför kommande säsonger. Problembilden kring PM<sub>10</sub> beskrivs i de tidigare rapporterna (Gustafsson m. fl., 2012, Gustafsson m. fl., 2014, Gustafsson m. fl., 2015, Gustafsson m. fl., 2016, Gustafsson m. fl., 2017).

Under 2011–2014 utvärderades driftåtgärder mot partikelföroreningar genom att extra åtgärder på Hornsgatan och Sveavägen jämfördes med effekten av normal drift på referensgatorna Folkungagatan och Norrlandsgatan vars PM<sub>10</sub>-nivåer väl följer de på försöksgatorna. Förutom dubbdäcksförbudet på Hornsgatan testades främst dammbindning med kalciummagnesiumacetat (CMA), men även utökad och förbättrad städning och spolning. Resultaten från första säsongen (2011–2012) avrapporterades i Gustafsson m.fl. (2012). Där framgick att antalet överskridanden av PM<sub>10</sub> på Hornsgatan och Sveavägen var betydligt färre än på referensgatorna under den behandlade perioden. Dock var det endast dammbindning som hade en signifikant effekt, medan varken städning eller spolning som enskilda åtgärder medförde någon tydlig sänkning av PM<sub>10</sub>-halterna. Åtgärderna bidrog till att Stockholm klarade luftkvalitetsnormens gränsvärde under 2012. Det gynnsamma vädret var en viktig faktor som bidrog till detta resultat. Under säsongen studerades även vägdammsförrådet kontinuerligt med konklusionen att detta byggdes upp under vintersäsongen på försöksgatorna med ett maximum i mars, då dammbindningsinsatserna var som intensivast. Ett tydligt samband mellan vägytornas makrotextur och mängden vägdamm kunde också konstateras, där grövre textur resulterade i större mängd damm. Jonmängderna på vägytorna avspeglade väl jonerna i vägsalt (NaCl) och CMA vilket kunde relateras till saltning och dammbindningsinsatser.

Säsongen 2012–2013 utvidgades försöken till Fleminggatan och ytterligare en mätstation på Sveavägen upprättades. Då städinsatserna under föregående säsong inte visade några tydliga sänkningar i PM<sub>10</sub> beslutades det att genomföra tester med en modernare städmaskin som jobbar med starkt vakuum och borstar, men utan vattenbegjutning. Denna maskin har i tidigare tester visat sig kunna ge en viss effekt på PM<sub>10</sub>-halterna (Gustafsson m. fl., 2011). Såväl dammbindnings-, som städinsatser ökade i antal denna säsong (Gustafsson m. fl., 2014).

Under säsongen 2013/2014 utvidgades de tidigare försöken på 4–6 gator till att omfatta 35 gator i Stockholm som behandlades med såväl dammbindning som städning med modern vakuumsug (Gustafsson m. fl., 2015). Då möjligheten till obehandlade referensgator försvann, utfördes några specialförsök på Sveavägens två mätstationer, där kvartersvis dammbindning med CMA och dammbindning med CMA blandat med kaliumformiat testades. Miljökvalitetsnormen klarades med bred marginal denna säsong, vilket delvis bedömdes vara en effekt av de intensifierade åtgärderna. Vintern var dock ovanligt mild och snöfattig och bidrog sannolikt till mindre ansamling av vägdamm i snö och fukt på gatorna än vanligt vilket kan ha resulterat i lägre partikelhalter. Under de torra perioderna har dessutom frekvent dammbindning dämpat halterna. Den vanligtvis kraftiga PM<sub>10</sub>-toppen på våren uteblev därför i stort sett helt. Den kvartersvisa behandlingen visade sig möjligen ge ytterligare en liten inverkan på PM<sub>10</sub>-halterna, medan en blandning av CMA och kaliumformiat (COKH<sub>2</sub>, här kallad KF) inte kunde visas ha någon extra effekt.

2014/2015 reducerades användningen av sand på cykelbanor i anslutning till mätgatorna kraftigt till förmån för sopsaltning av desamma inom en satsning på att öka vintercyklingen i Stockholm. Under säsongen uppmättes de lägsta PM<sub>10</sub>-halterna sedan mätningarnas start i Stockholm och miljökvalitetsnormen klarades med bred marginal. Även denna vinter var ovanligt mild och snöfattig och de stora dammängder som vanligtvis ansamlas på vägytan i snö och fukt under vintern har kunnat lämna systemet genom suspension, städning och avrinning utan att resultera i höga partikelhalter. Under de torra perioderna har dessutom frekvent dammbindning dämpat halterna. Den vanligtvis kraftiga PM<sub>10</sub>-toppen på våren uteblev därför i stort sett. Även den minskade dubbdäcksanvändningen har bidragit till de minskande PM<sub>10</sub>-halterna (Gustafsson m.fl., 2016). Den minskade dubbdäcksanvändningen är främst kopplad till dubbdäcksförbudet på Hornsgatan (Norman m.fl. 2011).

Föregående säsong (2015/2016) kompletterades CMA-utläggningen nattetid med utlägg dagtid. Även försök med dammbindning och vakuumsugning hela kvarter runt mätgatorna testades. Då CMA dagtid även applicerades på referensgatan blev utvärderingen svår med stora osäkerheter som följd. Det visade sig även svårt att lägga ut CMA dagtid på grund av trafiksituationen i Stockholm. Inte heller de kvartersvisa åtgärderna kunde utvärderas då en närliggande byggarbetsplats kontaminerade mätningarna. Dammängderna ökar på flera gator jämfört med föregående år vilket kan vara ett resultat av meteorologiska förhållanden med fuktigare gator på våren. Miljökvalitetsnormen klarades dock, för tredje året i rad, även om antalet överskridanden var något fler (Gustafsson m.fl., 2017). Från 2016 utökades även dubbdäckförbudet till att gälla även Kungsgatan och Fleminggatan (Norman, 2016).

I rapporten används ett antal begrepp kopplade till damning. Dessa förklaras i Tabell 1.

*Tabell 1. Några definitioner angående damning.*

Begrepp	Definition
Vägdamm	Uppvirvlingsbart damm ansamlat på vägytan.
Dammförråd	Mängden damm som finns på, till exempel, en vägyta.
DL180	Mängden damm mindre än 180 µm per m <sup>2</sup> vägyta (se avsnitt 4.1)
DL10	Mängden damm mindre än 10 µm per m <sup>2</sup> vägyta (se avsnitt 4.1)
Damning	Den process som leder till uppvirvling av partiklar till luften. Kan också gälla flödet av damm från dammförrådet till luften = dammission.
Damningspotential	Den mängd damm som finns tillgängligt i dammförrådet för damning (påverkas av dammets damningsbenägenhet).
Damningsbenägenhet	Hur lättillgängligt dammet i dammförrådet är för damning.

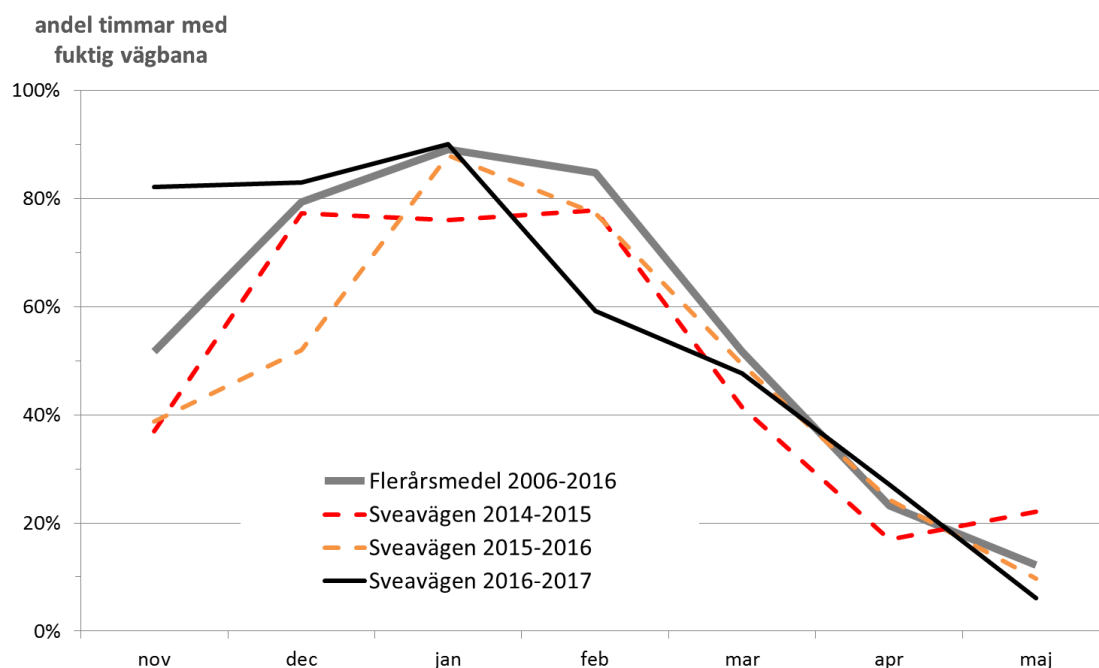


## 2. Meteorologi och dubbdäcksanvändning

### 2.1. Meteorologi

Vädret, det vill säga de meteorologiska parametrarna, har en stark påverkan på luftföroreningshalterna. Den allra största delen av det lokala bidraget av PM<sub>10</sub> på gatorna i Stockholm kommer från vägdamm, vilket korrelationen mellan höga PM<sub>10</sub>-halter och torra körbanor visar (Norman och Johansson, 2006). Vägdamm stannar på vägytan så länge den är fuktig, blöt eller snötäckt. Om det är fuktigt under längre perioder så ackumuleras en stor mängd vägdamm på eller i anslutning till körbanan. Detta vägdamm virvlar sedan upp i luften när vägytan torkar upp. Vägytans fuktighet är därför den viktigaste faktorn för PM<sub>10</sub>-halterna under vintern och våren. Mer information om meteorologin i Stockholm finns att läsa i Eneroth m.fl. (2017).

Vägytans fuktighet under säsongen 2016/2017 på Sveavägen visas i Figur 1 och jämförs där med några tidigare säsonger. Den största skillnaden var att november var fuktigare än tidigare säsonger. Februari var torrare än genomsnittet vilket är en del i förklaringen till de högre PM<sub>10</sub>-halterna (se kapitel 5.2). Däremot var både mars och april i nivå med genomsnittet. Vägytans fuktighet är ofta relativt lika mellan staden olika gator. En skillnad som brukar återkomma är att de gator som har nord-sydlig riktning (till exempel Sveavägen och Norrlandsgatan) torkar upp snabbare tidigare på våren än de som har ost-västlig riktning (till exempel Hornsgatan och Folkungagatan).

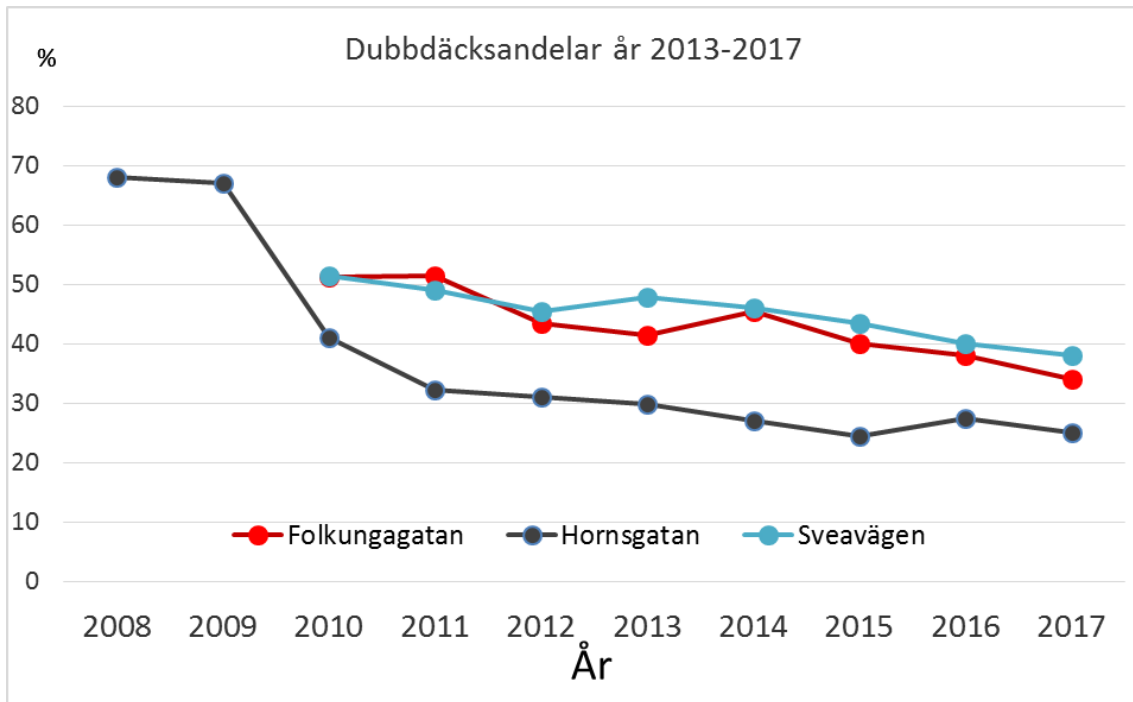


Figur 1. Andelen av tiden med fuktig vägbana på Sveavägen under mätperioden.

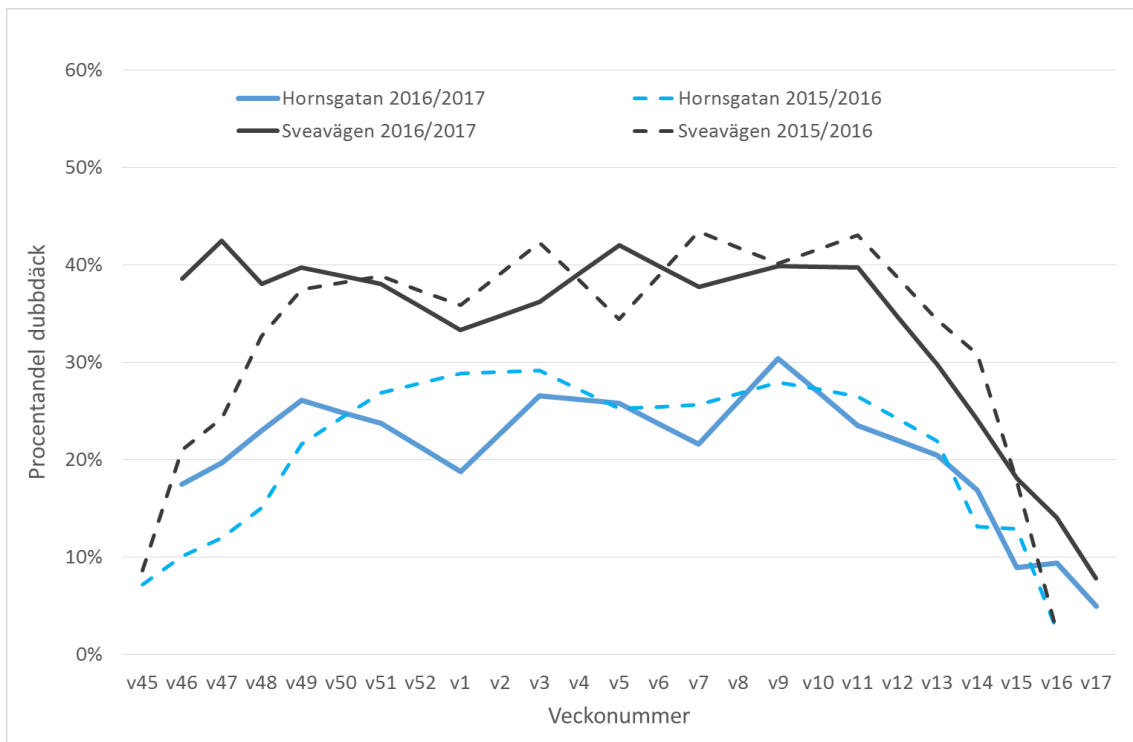
### 2.2. Dubbdäcksanvändning

Under vintersäsongen räknas dubbdäcksandelen varannan vecka om väglaget tillåter (går inte vid snö, slask, is eller för mycket väta då räkningen baseras på detektion av dubbarnas ljud mot vägbeläggningen). I Figur 2 visas de genomsnittliga dubbdäckandelarna under januari till och med mars på innerstadsgatorna i Stockholm. Under januari-mars räknades i medel cirka 25 % dubbdäck på Hornsgatan där dubbdäcksförbudet gäller. På Sveavägen och Folkungagatan räknades 38 respektive 34 % under vintern vilket visar på en fortsättning av den nedåtgående trenden. När bilisterna byter till och från vinterdäck varierar mellan säsongerna beroende på vädret och när påsken infaller.

Utvecklingen av dubbdäcksanvändningen under säsongen 2016/2017 visas i Figur 3. Det tidiga snöfallet under hösten 2016 gjorde att dubbdäckandelen var betydligt högre fram till vecka 49 jämfört med tidigare säsong. Ytterligare detaljer kring dubbdäckanvändningen under säsongen finns i Brydolf m.fl. (2017).



Figur 2. Den genomsnittliga procentandelen av lätta fordon med dubbdäck under januari–mars.



Figur 3. Utveckling av dubbdäcksanvändningen under säsongen 2016/2017 och 2015/2016.

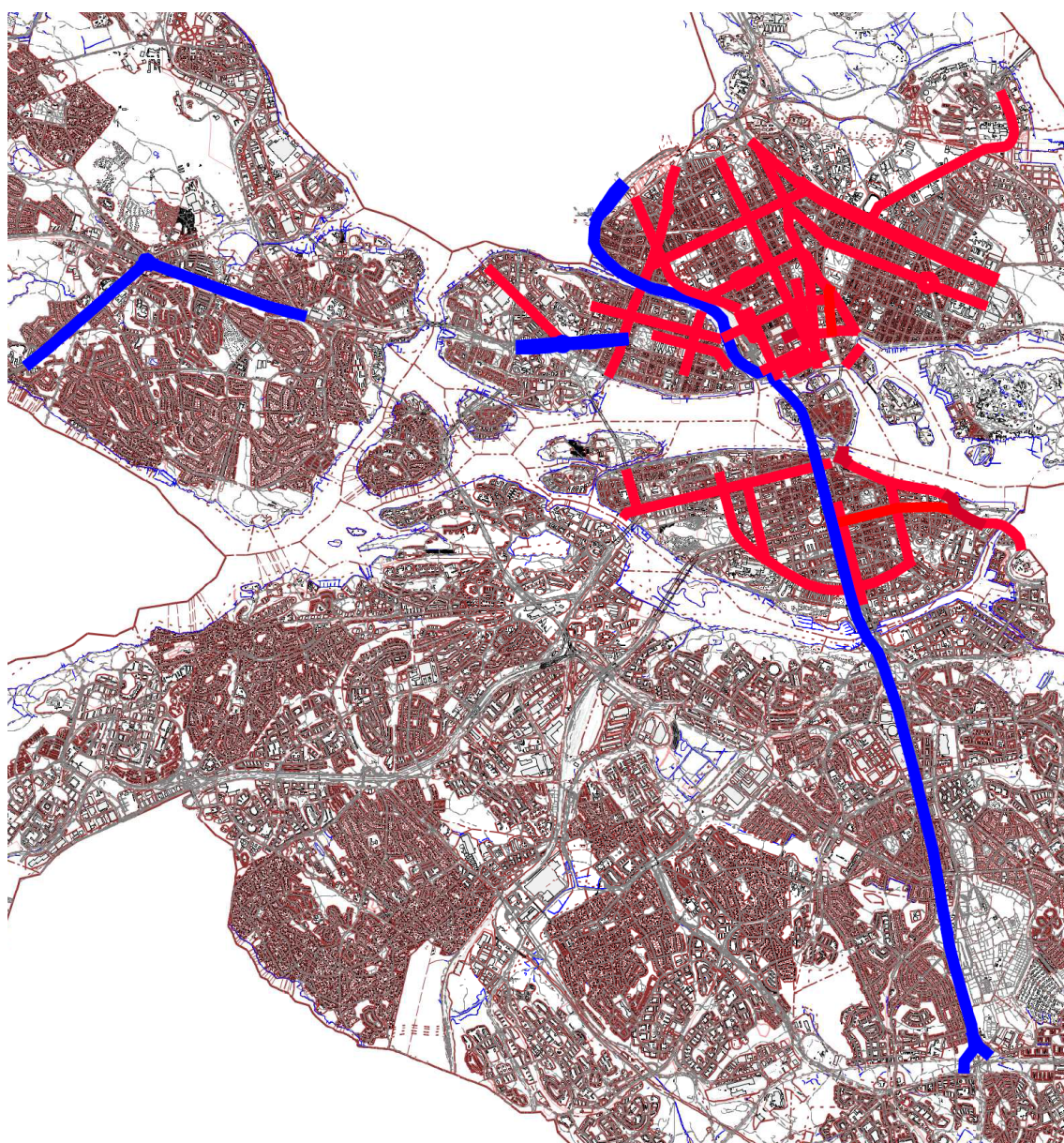
---

## 3. Utförda åtgärder

---

### 3.1. Gator

Dammbindning utfördes under 2016/2017 på 35 gator i Stockholm, precis som föregående tre säsonger (Figur 4). Detta då åtgärden visat sig effektiv och staden är ålagd att sänka partikelhalterna. Då inga egentliga referensgator finns längre (se Gustafsson m.fl. 2015), användes Sveavägen 59 och 83 för utvärderingar av vissa skillnader i gatudriften. Denna säsong fortsatte föregående säsongens tester med kvartersvis behandling med CMA till att även omfatta städning med vakuumsug (städnätter), och att dammbinda med CMA en extra gång under dagtid. Parallellt provades även detta år att använda sopsaltnings för halkbekämpning på cykelbanor längs Sveavägen och på Hornsgatan, vilket ger möjlighet att även studera om en minskad sandanvändning på cykelbanor kan minska vägdammsmängder och partikelhalter i gatumiljön. Behandlingarna av de olika gatorna visas i Tabell 2. Hornsgatan har dubbdäcksförbud sedan 2010.



Figur 4. Innerstadsgator (röda) och trafikleder (blå) som dammbinds med CMA av Stockholms stad (Källa: Trafikkontoret, Stockholms stad).



Figur 5. Gatorna och mätplatserna för luftkvalitet och vägdammsundersökningar (röda ringar) i centrala Stockholm som ingår i studien under 2016/2017.

Gatorna med mätningar ses i Figur 5. Jämfört med föregående säsong gjordes inga mätningar på Fleminggatan.

Tabell 2. Åtgärdsplan för försöks- och referensgator 2016/2017.

Gata	CMA	Vakuumsug	Kvartersvis CMA+ vakuumsug	Extra CMA dagtid	Endast salt på g/c-banor
Hornsgatan	okt-apr	okt-apr			X
Folkungagatan	okt-apr	okt-apr			
Sveavägen 59	okt-apr	okt-apr	april		X
Sveavägen 83	okt-apr	okt-apr		mars	X
Norrlandsgatan	okt-apr	okt-apr			
Övriga 29 gator	okt-apr	okt-apr			

Mätgatornas beläggning skiljer sig åt med avseende på skick, konstruktion och material. Även på en och samma gata förekommer ofta flera olika beläggningar. Följande information har kunnat inhämtas från Trafikkontoret i Stockholm:

Hornsgatan har, på kvarteret med mätstationen, en ABS 16 med kvartsit från Dalbo och bindemedel 50/70<sup>1</sup>. Folkungagatan lades om hösten 2016 till en ABS 11 med porfyr genom hela siktkurvan. Sveavägen har från Sveaplan till Surbrunnsgatan en ABS 16 med Leptit. Norrlandsgatan har en ABT 11 med B70/100. Beläggningsen på Hornsgatan är i sämre skick, med mer sprickor och stensläpp jämfört med övriga gator. Generellt är skillnaderna i slitagebenägenhet små för de identifierade asfaltstyperna, som i princip har samma konstruktioner, men med olika typer av slitstarkt stenmaterial.

Beläggningsytorna i så oskadat skick som möjligt och så nära mätstationerna som möjligt har använts för provtagning. Detta för att undvika att skillnader i dammförråd mellan gatorna påverkas av mycket lokala skador med höga dammansamlingar. Mätningarna på vägytan på Hornsgatan har genomförts cirka 100 m väster om mätplatsen för luftkvalitet, det vill säga nära gatans högsta punkt. På Folkungagatan har mätningen genomförts cirka 50 m väster om mätstationen. På Sveavägen och Norrlandsgatan är beläggningsarna i bättre skick och mätningarna har genomförts i anslutning till mätstationer för luftkvalitet.

### 3.2. Dammbindning med CMA

För dammbindning användes 25-procentig CMA (Nordisk Aluminat AS), som spreds i körfälten med tallriksspridare. Dosen som användes var 10 g lösning/m<sup>2</sup> väg. Spridningen utfördes nattetid mellan oktober och april (se Figur 8) enligt fast schema med utläggning natten till måndag, onsdag och fredag. Vid fuktigt väglag utfördes ingen dammbindning.

CMA lades även ut dagtid under mars månad på Sveavägen 83 vid fem tillfällen, på tisdag och torsdag vid behov.

Kvartersvis dammbindning och vacuumsugning testades på Sveavägen 59 under april 2017. Gatorna i kvarteren runt mätstationen på Sveavägen 59 behandlades med CMA istället för bara själva Sveavägen (se Figur 6). Försöket bygger på antagandet att damm som emitteras från gatorna som ansluter till Sveavägen bidrar till PM<sub>10</sub>-halterna och att man därigenom borde kunna sänka halterna genom att dammbinda i ett större vägnät runt mätstationen. Resultaten från föregående säsonger visade på en möjlig positiv effekt av åtgärden (dock ej signifikant).

---

<sup>1</sup> Bindemedel 50/70 innebär ett hårt bindemedel (bitumen), medan 70/100 är en mjukare variant.



Figur 6. Gatunätet kring Sveavägen 83, som behandlades under den kvartersvisa dammbindningen under april 2015 (Karta från Eniro.se).

### 3.3. Vakuumsug

Under mätgatornas städnätter (1 gång/vecka) och i mån av tid även på övriga 31 CMA-behandlade gator användes en vakuumsugmaskin (Disa-Clean) från Disab Tella (Figur 7) för städning av hela gatubredd. Maskinen användes även i den kvartersvisa behandlingen som beskrivs i 3.2. Maskinen är speciell på det vis att den inte använder vatten utan endast kraftigt vakuum och borstar för att komma åt vid väggkant. Detta gör att maskinen kan användas även under den kalla perioden utan risk för att halka uppstår.



Figur 7. Vakuumsug från Disab Tella. (Foto: Mats Gustafsson, VTI).

### 3.4. Ordinarie driftåtgärder med inverkan på PM<sub>10</sub> – emissioner

Förutom de extra insatserna mot PM<sub>10</sub> påverkar gatornas ordinarie drift partikelemissionerna. Saltning med natriumklorid har utförts vid åtskilliga tillfällen under försöksperioden (se kapitel 3.5). Saltet kan vara en källa till damm under torra perioder, men salt kan även i viss mån fungera dammbindande eftersom en is- och snöfri vägyta håller sig fuktig längre tid då salt finns på den. En fuktig vägyta slits mer av trafiken och kan därmed ge upphov till högre partikelemissioner då vägen torkar upp. Observera dock att syftet med saltanvändning är att få gatan is- och snöfri och därmed också torr så fort som möjligt.

Samtliga gator städas flera gånger i veckan med standardutrustade städmaskiner. Dessa tar bort material som, genom trafikens nedmalning, kan bidra till damningen, men är generellt ineffektiva för att suga upp så små partiklar som PM<sub>10</sub>. De bidrar även tillfälligt till höga partikelhalter då borstarna virvlar upp damm, samt att damm som tidigare suttit fast på körbanan eller under grus friläggs av borstarna.

På Hornsgatan och Sveavägen har sopsaltning av cykelbanor testats under två säsonger. Gångbanorna på Hornsgatan och Sveavägen, liksom gång- och cykelbanor på övriga gator halkbekämpas normalt med kross blandat med återvunnen vintersand (50/50). Materialet är torrsiktat och i fraktionen 3–8 mm. Trots att materialet inte används direkt på gatorna, transporteras det på grund av nederbörd, trafik och gatudrift ner på dessa och kan bidra till partikelemissionerna.

### 3.5. Åtgärdslogg

För projektet användes en åtgärdslogg i form av ett kalkylblad i Google documents (Tabell 3).

Tabell 3. Loggade åtgärder och åtgärds-koder på försöks- och referensgatorna.

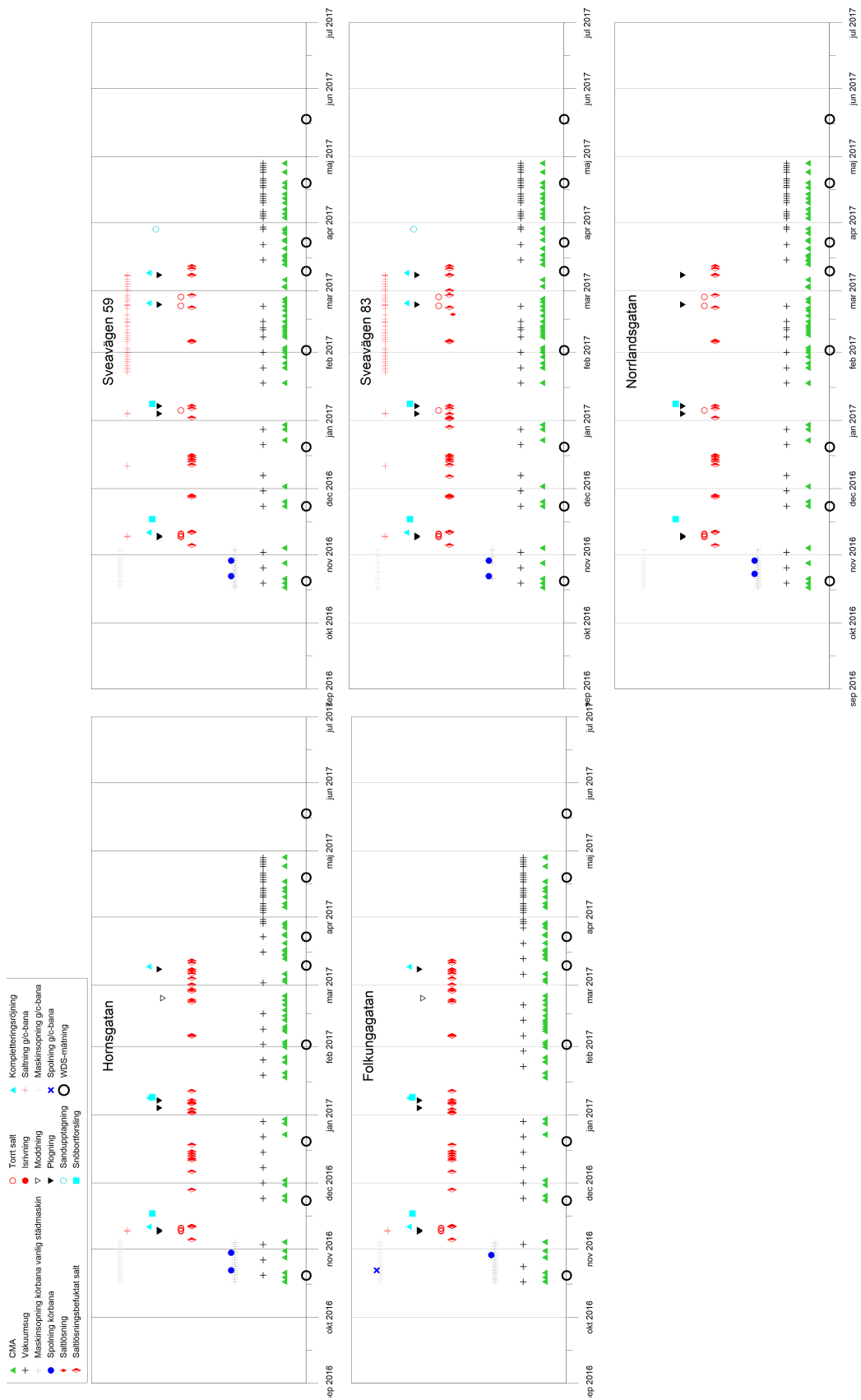
Extra åtgärder mot PM10	KOD
Mätning VTI	0
Dammbindning med CMA	1
Maskinsopning hela vägbredden Vakuumsug	2
<b>Ordinarie åtgärder</b>	
<b>STÄDNING OCH SPOLNING KÖRBANA</b>	
Maskinsopning körbana Bredsug eller vanlig städmaskin	20
Spolning körbana	21
<b>HALKBEKÄMPNING KÖRBANA</b>	
Saltlösning	31
Saltlösningsbefuktat salt	32
Saltlösningsbefuktad sand	33
Sand/flis	34
Torrt salt	35
Isrivning	36
<b>ÖVRIGA VINTERÅTGÄRDER KÖRBANA</b>	
Moddning	40
Plogning	41
Sandupptagning	42
Snöbortforsling	43
Kompletteringsröjning	44
<b>GÅNG- OCH CYKELBANA</b>	
Saltning av gång- och cykelbana	50
Sandning av gång- och cykelbana	51
Maskinsopning gång- och cykelbana	52
Spolning gång- och cykelbana	53

I detta kalkylblad fylldes åtgärdstyp i samt under vilken tidsperiod åtgärderna pågick (Tabell 4). Loggen fylldes i från och med oktober 2016 till och med maj 2017. I Figur 8 visas hur åtgärderna fördelar sig över tid på de sex mätgatorna. Data från Fleminggatan saknas. I Figur 9 visas ackumulerade dammbindningar och vakuumsugningar på Hornsgatan för de senaste 6 säsongerna. Säsongen 2016/2017 utmärker sig främst genom att vakuumsugan endast användes städnätter, vilket resulterat i betydligt färre åtgärder än föregående säsong och det näst lägsta antalet som genomförts under de år uppföljningen pågått. CMA-utläggningarna var färre än föregående säsong och det tredje lägsta antalet sedan 2011.

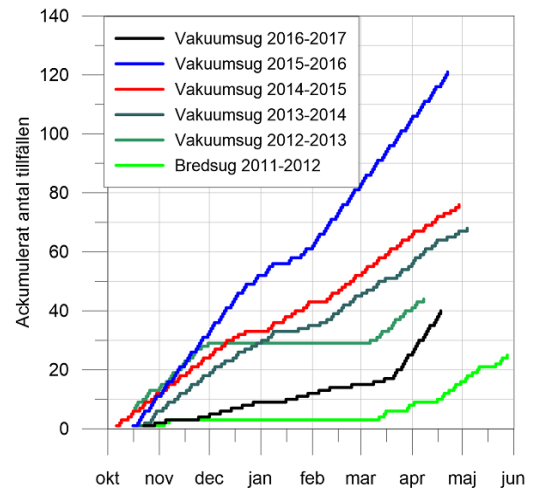
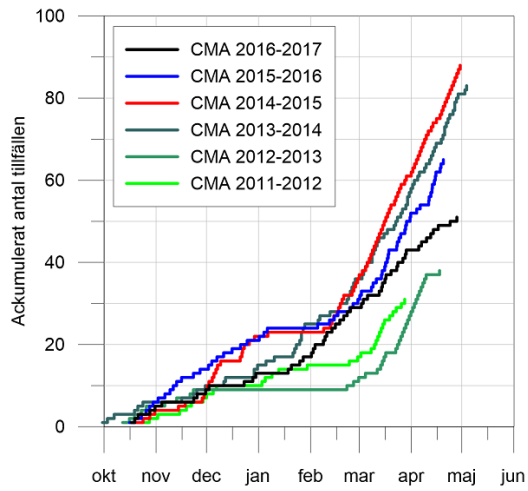


Tabell 4. Antal och typ av åtgärd på mätgatorna under 2016-10-15 till 2017-05-17.

	Horns- gatan	Svea- vägen 83	Svea- vägen 59	Norrlands- gatan	Folkunga- gatan
<b>EXTRA ÅTGÄRDER MOT PM<sub>10</sub></b>					
Dammbindning med CMA	51	49	54	52	53
Maskinsopning hela vägbredden, vakuumsug	40	39	39	39	41
<b>ORDINARIE ÅTGÄRDER</b>					
<b>Städning och spolning körbana</b>					
Maskinsopning körbana Bredsug eller vanlig städmaskin	19	39	14	15	18
Spolning körbana	2	2	2	2	1
<b>Halkbekämpning körbana</b>					
Saltlösning	-	1	-	-	-
Saltlösningsbefuktat salt	33	28	21	21	33
Saltlösningsbefuktad sand	0	0	0	0	0
Sand/flis	0	0	0	0	0
Torrt salt	0	7	7	7	4
Isrivning	0	0	0	0	0
<b>Övriga vinteråtgärder körbana</b>					
Moddning	1	-	-	-	1
Plogning	6	7	7	7	6
Sandupptagning	0	1	1	1	1
Snöbortforsling	2	2	2	2	2
Kompletteringsröjning	3	3	3	3	3
<b>Gång- och cykelbana</b>					
Saltning av gång- och cykelbana	-	46	46	1	3
Sandning av gång- och cykelbana	-	1	1	1	-
Maskinsopning gång- och cykelbana	19	8	14	15	18
Spolning gång- och cykelbana	-	0	0	0	1



Figur 8. Åtgärder utförda på extra behandlade gator. Vid WDS-mätning genomförs även mätning av friktion.

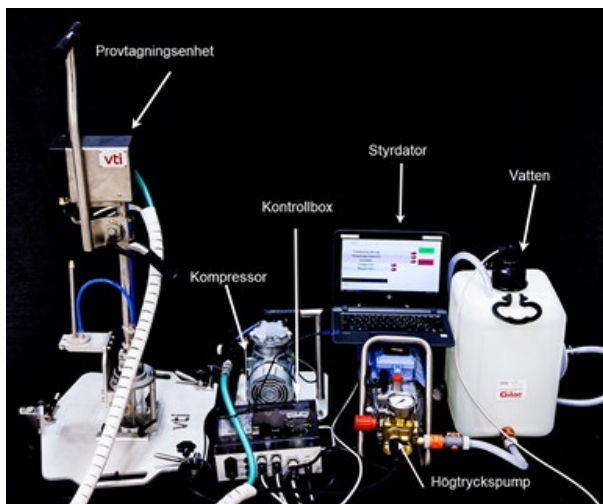


Figur 9. Ackumulerat antal CMA-behandlingar och vakuumsugningar på Hornsgatan under sex säsonger.

## 4. Metodik för utvärdering

### 4.1. Vägdammsförrådet och joner på vägytan

Vägdammsförrådet har liksom tidigare säsonger provtagits med VTI:s Wet Dust Sampler II (WDS II). Metoden går ut på att en känd volym med destillerat vatten (varierar, men här 350 ml) spolar rent en känd, cirkulär yta (24,6 cm<sup>2</sup>) med högt tryck. Den vattenmängd som tvättar rent provytan styrs via en kontrollenhet vilken även styr den kompressor som trycker över provet till en provflaska. (Figur 10).

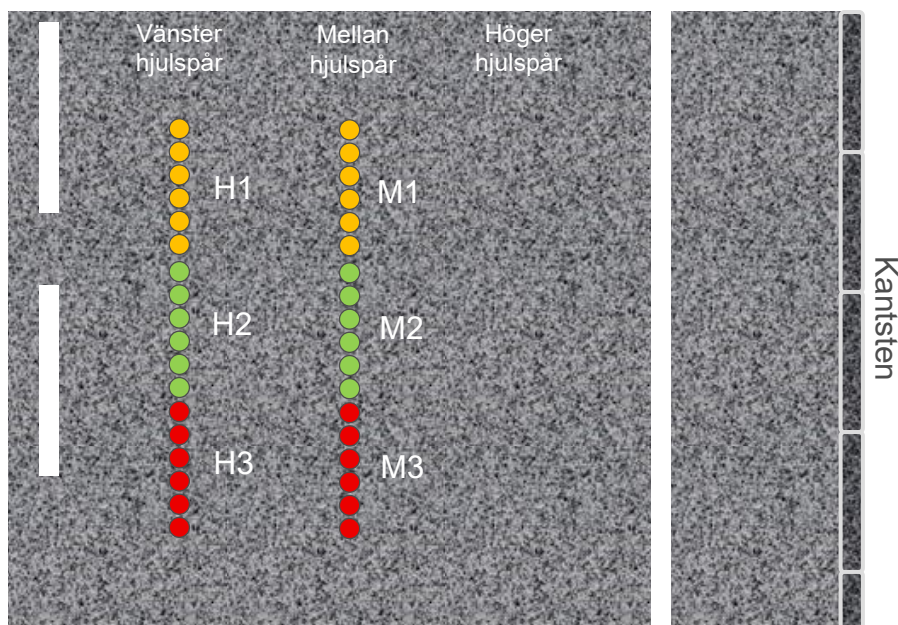


Figur 10. Provtagningsenheten på Wet Dust Sampler II (WDS II). (Foto: Mats Gustafsson, VTI).



Figur 11. Vägdammsprovtagaren Wet Dust Sampler II (WDS II). (Foto: Mats Gustafsson, VTI).

Prover för ordinarie provtagning togs i vänster hjulspår och mellan hjulspår (Figur 12) i höger körfält. Då ytan som tvättas är liten, tas flera prover i samma provflaska för att få en representativ mängd. I dessa sammanläggningsprov togs sex ”skott” i varje flaska. I varje provyta (hjulspår och mellan hjulspår) insamlades tre flaskor vilket resulterar i totalt 18 skott per provyta.



Figur 12. Provtagningsstrategi för WDS II. H = hjulspår, M = mellan hjulspår.

Proverna från WDS II siktades med en 180  $\mu\text{m}$ -sikt, för att proverna ska gå att jämföra med resultaten från tidigare säsonger. Den damnmängd som beräknas per  $\text{m}^2$  betecknas DL180 (dust load = dammförråd mindre än 180  $\mu\text{m}$ ). Ur provflaskor från provytor mellan hjulspår på respektive gata togs prov på cirka 60 ml ut för storleksanalys efter siktning. Storleksfördelning genomförs med en lasergranulometer (Malvern Mastersizer 3000).

Genom att kombinera DL180 med den kumulativa storleksfördelningen beräknas DL10, det vill säga dust load mindre än 10  $\mu\text{m}$ . Lasergranulometerns definition av partikeldiameter (volume equivalent sphere diameter) är inte densamma som den aerodynamiska diameter som används för 10  $\mu\text{m}$  i måttet  $\text{PM}_{10}$  varför måtten inte är direkt jämförbara. I granulometern antas dock, liksom för aerodynamisk diameter, att partiklarna är sfäriska. De jämförelser som görs mellan DL10 och  $\text{PM}_{10}$  i rapporten ska betraktas som indikativa.

Övrigt provvatten filterades genom filter av typen Munktell 001 (retention rate 2–3  $\mu\text{m}$ ). Ett filtratprov från varje mätgata togs ut för jonanalys. Filtren placerades i invägda deglar och brändes vid 550  $^{\circ}\text{C}$  varefter mängden oorganiskt material kunde bestämmas. Den organiska andelen av dammet beräknades genom att subtrahera den kvarvarande oorganiska andelen efter filterbränning från totala partikelmängden före bränning.

Provtagningar med WDS genomfördes vid 8 tillfällen under oktober 2016 till maj 2017 (se Figur 8).

#### 4.2. Mätningar av $\text{PM}_{10}$ - och $\text{NO}_2$ -halterna under säsongen 2016/2017

Under utvärderingen gjordes mätningar av  $\text{PM}_{10}$  på flera platser. Stationerna på Hornsgatan, Norrlandsgatan, Folkungagatan och Sveavägen 59 ingår i stadens kontinuerliga luftövervakning och var i drift under hela försöksperioden. På grund av ombyggnation av Folkungagatan inför ombyggnation av Slussen så har Folkungagatans mätstation inte varit i drift under 2015, men kom igång till vintersäsongen 2016/2017. En ny asfaltsbeläggning hade då lagts på Folkungagatan av typen ABS11 med ballast av porfyr. Mätstationen på Folkungagatan har även flyttas drygt 20 m österut inom samma kvarter. Dessutom installerades en mätstation på Sveavägen 83 som har använts under tidigare säsonger. Som jämförelse används också mätdata från Östra Sveriges luftvårdsförbunds station på taket vid Torkel Knutssongatan på Södermalm, vilken fungerar som urban bakgrundsnivå för luftkvalitet samt även Östra Sveriges luftvårdsförbunds station vid Norr Malma norr om Norrtälje, vilken fungerar som regional bakgrundsmätning för luftkvalitet.

Tabell 1 visar under vilka tider de olika mätstationerna var i drift samt deras datafångst. Samtliga stationer fungerade bra under perioden och datafångsten överstiger 95 % för samtliga stationer

Tabell 5. Start- och stopptid samt datafångst för mätstationerna som ingår i projektet

Mätstation	Start	Stopp	Datafångst PM <sub>10</sub> , % av timmar	Datafångst NO <sub>2</sub> , % av timmar
Hornsgatan 110 (N sidan)	2016-11-01	2017-05-31	99	99
Folkungagatan 57 (N sidan)	2016-11-01	2017-05-31	98	98
Norrlandsgatan 29 (V sidan)	2016-11-01	2017-05-31	99	99
Sveavägen 59 (V sidan)	2016-11-01	2017-05-31	98	100
Sveavägen 83 (V sidan)	2016-11-01	2017-05-31	98	99

### 4.3. Mätningar av meteorologiska parametrar

Mätningar av meteorologiska parametrar sker vid Östra Sveriges luftvårdsförbunds station på taket vid Torkel Knutssongatan på Södermalm. Dessa mätningar innefattar temperatur, relativ fuktighet, regnnederbörd, vindriktning, vindhastighet och solstrålning. Under vintern används även nederbördsräknarna från Östra Sveriges luftvårdsförbunds station vid Högdalen då den även registrerar snö. Samtliga mätstationer med positioner finns beskrivna på [www.slb.nu](http://www.slb.nu).

Vägytans fuktighet mäts kontinuerligt på Hornsgatan, Sveavägen och Norrlandsgatan med sensorer i körbanan. Sensorerna består av två metallbleck i vägytan mellan vilka ledningsförmågan mäts. Tre sensorer sitter i anslutning till mätstationerna för luftkvalitet på dessa stationer. På Hornsgatan och Sveavägen finns även sensorer av typen Vaisala DSC 111 som via IR-strålning mäter vägytans fuktighet och egenskaper.

### 4.4. Kemiska analyser av PM<sub>10</sub>

PM<sub>10</sub> samlades in på filter (Fluoropore PTFE membrane filter med produktnamnet FALP) dygnsvis med hjälp av en referensprovtagare (Leckel SEQ47/50) och data finns för perioden 26 januari–21 maj 2017. Jonanalyser av filter genomfördes av IVL, Svenska Miljöinstitutet AB med hjälp av jonkromatografi avseende kalcium (Ca<sup>2+</sup>), magnesium (Mg<sup>2+</sup>), kalium (K<sup>+</sup>), natrium (Na<sup>+</sup>), klorid (Cl<sup>-</sup>), sulfat (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>), nitrat (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>).

Bidraget från vägsalt (natriumklorid) till PM<sub>10</sub>-halterna kvantifierades med hjälp av kemiska analyser av filterprover. Enligt EU-direktiv (2008/50/EG) kan bidrag till PM<sub>10</sub>-halterna från salt räknas av vid jämförelse med gränsvärdet i direktivet. Jonanalyserna medför även en möjlighet att studera eventuellt bidrag från dammbindningsmedlet CMA (kalciummagnesiumacetat, CaMg<sub>2</sub>(CH<sub>3</sub>COO)<sub>6</sub>) till PM<sub>10</sub>.

## 4.5. Friktion

För att följa upp eventuella poleringsfenomen där vägdamm tillsammans med dammbindningsmedel riskerar att poleras av trafiken, vilket skulle kunna leda till nedsatt friktion under torra förhållanden, mättes friktionen i samband med WDS-provtagningarna. Vid de mätningarna relateras eventuella friktionsproblem till uppmätta CMA-mängder på vägytan och friktionen mäts med hjälp av en Portable Friction Tester (PFT, Figur 13 Åström (2001)) i och mellan hjulspår vid torrt och fuktigt väglag. Mätningarna utfördes längs två meter i respektive sektion och upprepades tre gånger i varje sektion.



Figur 13. Portable friction tester (PFT). (Foto: Håkan Wilhelmsson, VTI).

---

## 5. Resultat

---

### 5.1. Vägdammsförråd och joner på vägytan

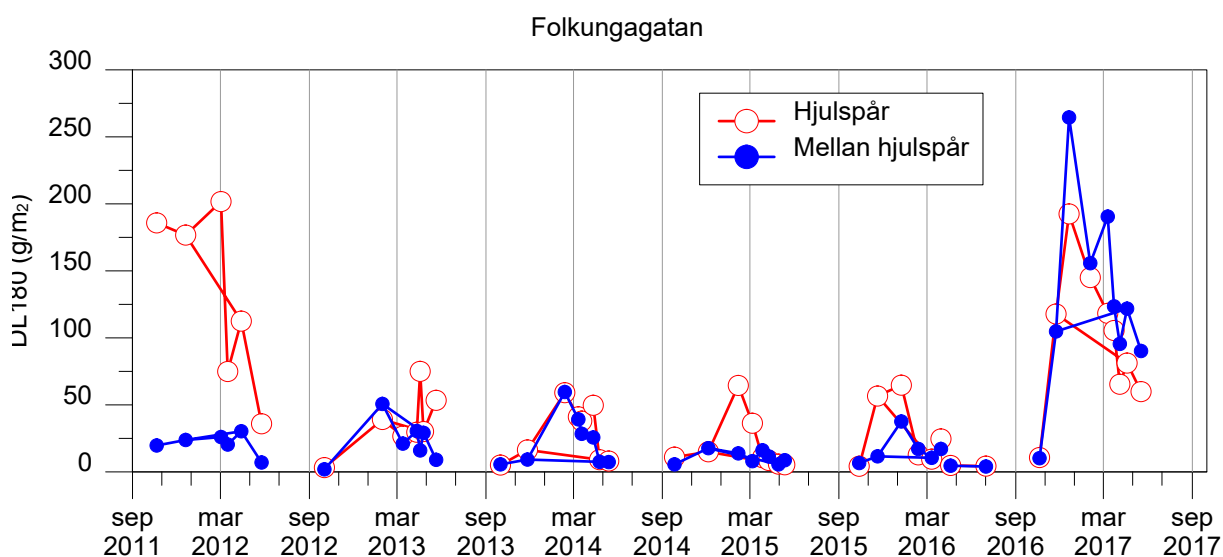
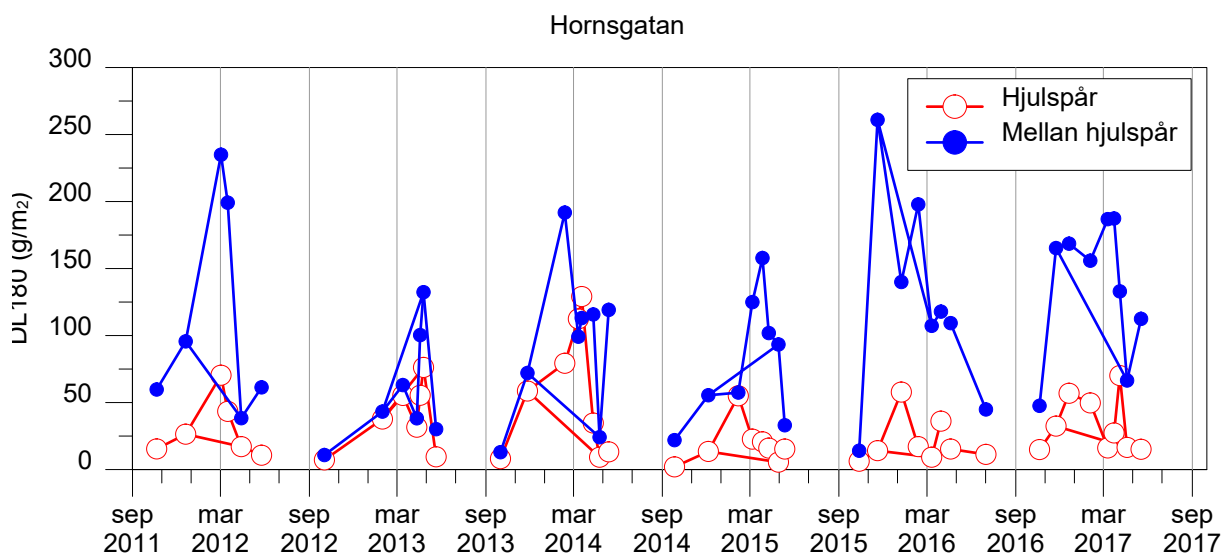
#### 5.1.1. Variation av DL180 i vägdamm under vintersäsongen 2016/2017

I Figur 14 och Figur 15 redovisas medelvärden av dammängderna som uppmättes på ytorna under mättillfällena tillsammans med data från föregående år. Mönstret från föregående säsonger upprepar sig med låga dammängder i oktober och maj och en topp i mätningarna i februari och mars. Hornsgatan och Folkungagatan har större vägdammsmängder än övriga gator under vinter och vår. Folkungagatan fick en ny beläggning under hösten 2016. Inga texturmätningar har ännu gjorts, men visuellt bedöms den nya beläggningen ha en grov (hög) textur, vilket kan vara orsaken till de höga vägdammsmängderna. Sveavägen 59 har lägre dammängder och följs i fallande ordning av Sveavägen 83 och Norrlandsgatan.

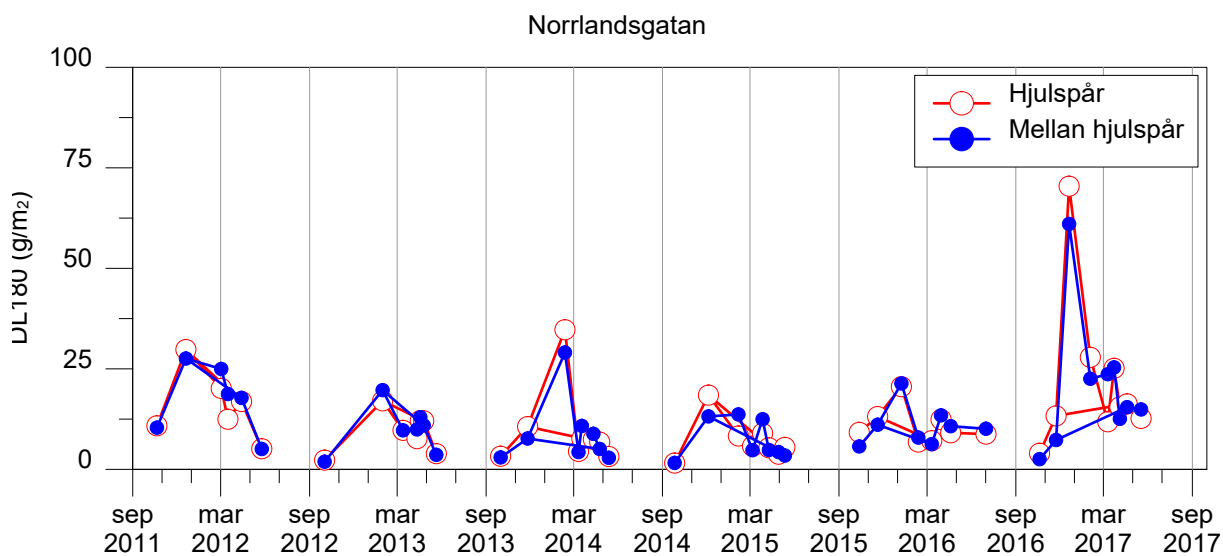
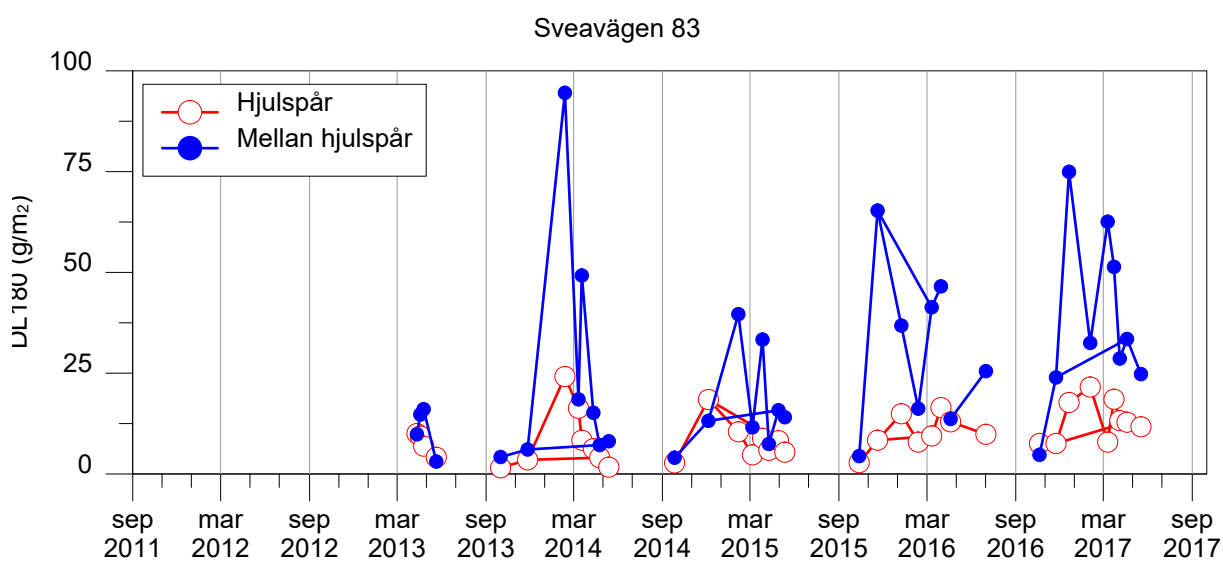
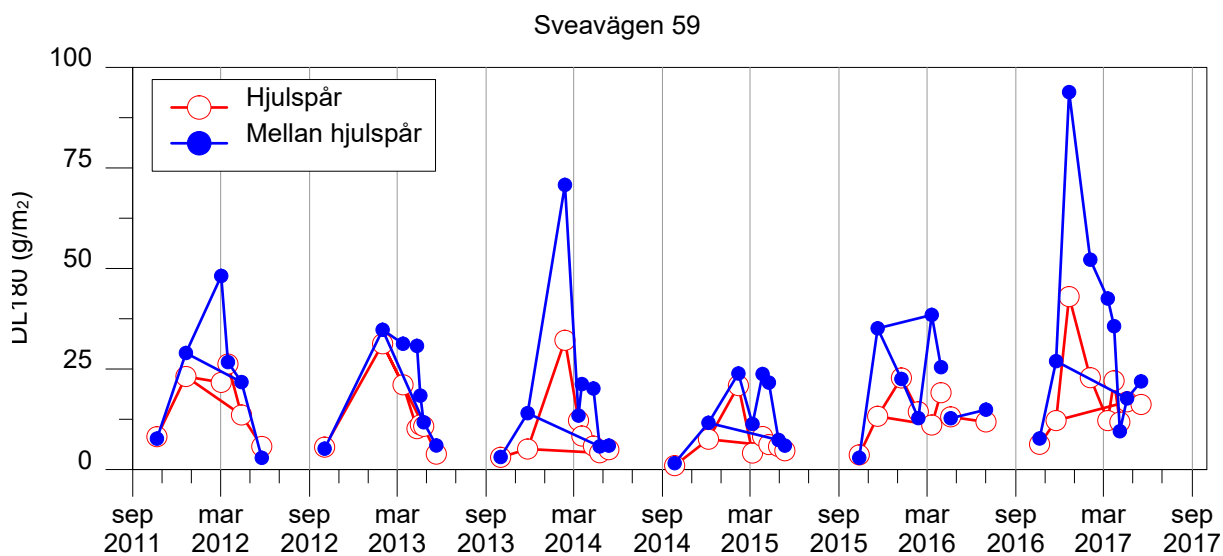
Dammängderna mellan hjulspår varierar mellan gatorna. Hornsgatan och Sveavägen har oftast eller alltid högre dammängder mellan hjulspår än i, medan Folkungagatan fram till och med denna säsong tenderat att ha en högre dammängd i hjulspår. Den senaste säsongen, då gatan har ny beläggning, har dock även Folkungagatan mer damm mellan, än i, hjulspår, även om dammängderna är höga generellt. Norrlandsgatan har å andra sidan en väldigt likartad dammängd i de båda ytorna.

Dessa skillnader går att koppla dels till beläggningarnas ytegenskaper, dels till trafiksituationen på gatorna. Hornsgatan har en beläggning i dåligt skick med grov textur, stensläpp och sprickor, vilket medför att den samlar på sig damm i större utsträckning än gator i gott skick med finare textur, som t.ex. Sveavägen och Norrlandsgatan. Att notera för den senaste säsongen är de höga dammängderna mellan hjulspår på Hornsgatan som lett till att skillnaden mellan ytorna på Hornsgatan är särskilt stor. På Norrlandsgatan är trafiken förhållandevis långsam och mindre spårbunden vilket resulterar i mycket homogena dammängder i- och mellan hjulspår. Folkungagatans nya beläggning och ökande andel tung busstrafik är antagligen den primära anledningen till de höga halterna- både i och mellan hjulspår. En ny beläggning slits initialt mer till dess att ballasten slitits fram av dubbdäcken. Detta i kombination med en grov, sprickliknande textur har sannolikt bidragit till att mer vägdamm kunnat ansamlas mellan stenarna.



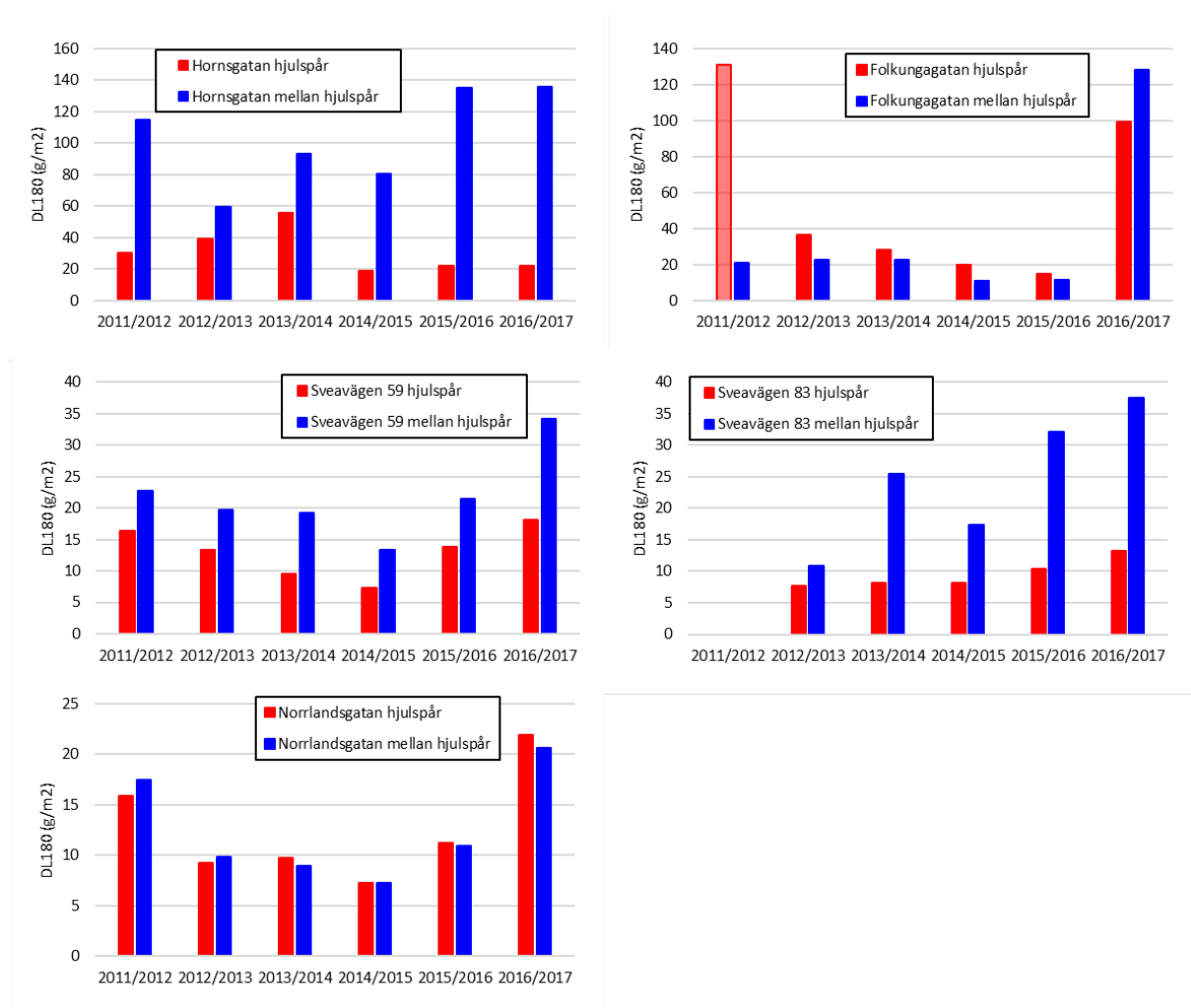


Figur 14. Medelvärden av DL180 i och mellan hjulspår (mängden damm <math>< 180 \mu\text{m}</math>) ( $\text{g}/\text{m}^2$ ) på Hornsgatan och Folkungagatan. Observera de olika y-axlarna för figur 14 och 15.



Figur 15. Medelvärden av DL180 i och mellan hjulsår (mängden damm <180 µm) (g/m<sup>2</sup>) på Sveavägen och Norrländsgatan. Observera de olika y-axlarna för figur 14 och 15.

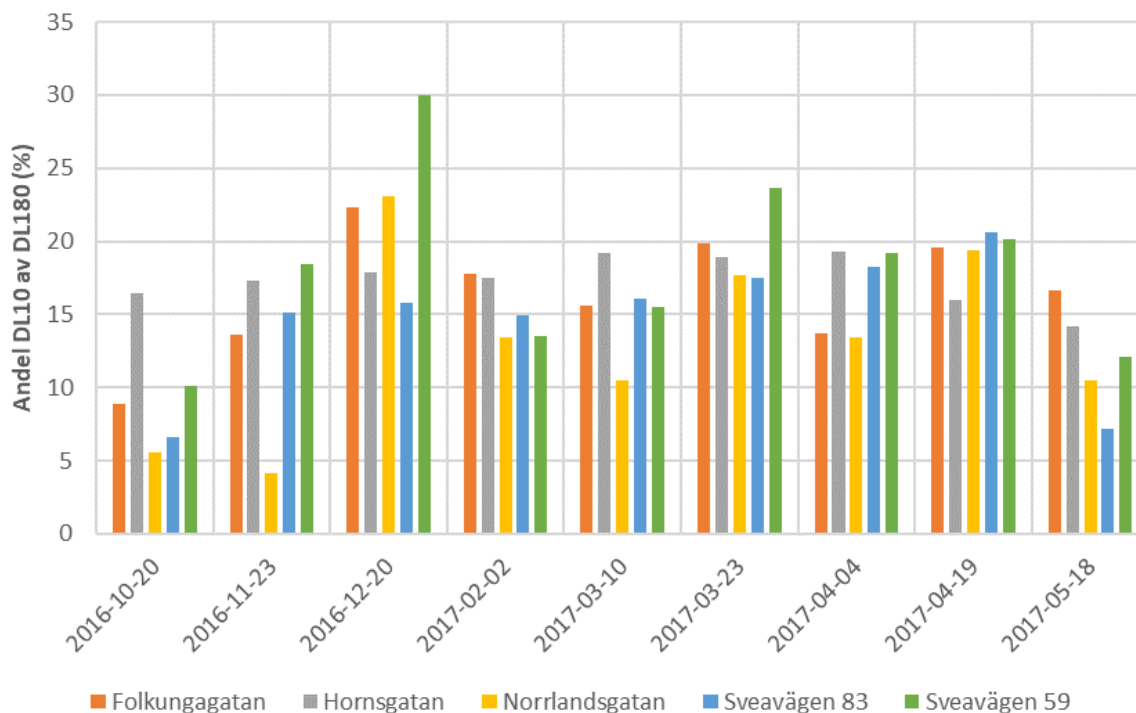
I Figur 16 presenteras medelvärden av DL180 (g/m<sup>2</sup>) i och mellan hjulspår för alla mätsäsonger. Till och med säsongen 2014/2015 var det en nedåtgående trend i dammförrådet, förutom på Hornsgatan och Sveavägen 83. Trenden bröts säsongen 2015/2016 då egentligen bara Folkungagatans dammförråd fortsatte minska, medan övriga gator snarare uppvisade en ökning. Denna trend har fortsatt 2016/2017, utom på Hornsgatan, där medelvärdena är mycket lika föregående säsong. Orsakerna till detta är sannolikt fuktigare vägytor än föregående säsonger. Snö- och isfattigare vintrar ger torrare vägytor vilket gynnar borttransport av damm från vägytan genom suspension. 2016/2017 ligger Hornsgatan och Sveavägen (59 och 83) kvar på liknande nivåer som 2015/2016 medan Norrlandsgatan och Folkungagatan ökat sitt dammförråd. Hornsgatans höga värden beror sannolikt på att beläggningen är i fortsatt dåligt skick och att provtagaren (WDS II) tar upp material som trafiken inte kommer åt att suspendera och som städmaskinerna inte heller klarar att städa bort, vilket kan förklara den obefintliga trenden på denna gata.



Figur 16. Medelvärden för DL180 för alla säsonger i och mellan hjulspår. Observera de olika skalorna på y-axlarna. Den skrafferade stapeln i diagrammet för Folkungagatan indikerar att proverna är tagna på ett parti av vägbanan som var i dåligt skick. Provplatsen ändrades följande säsonger för förbättrad jämförbarhet.

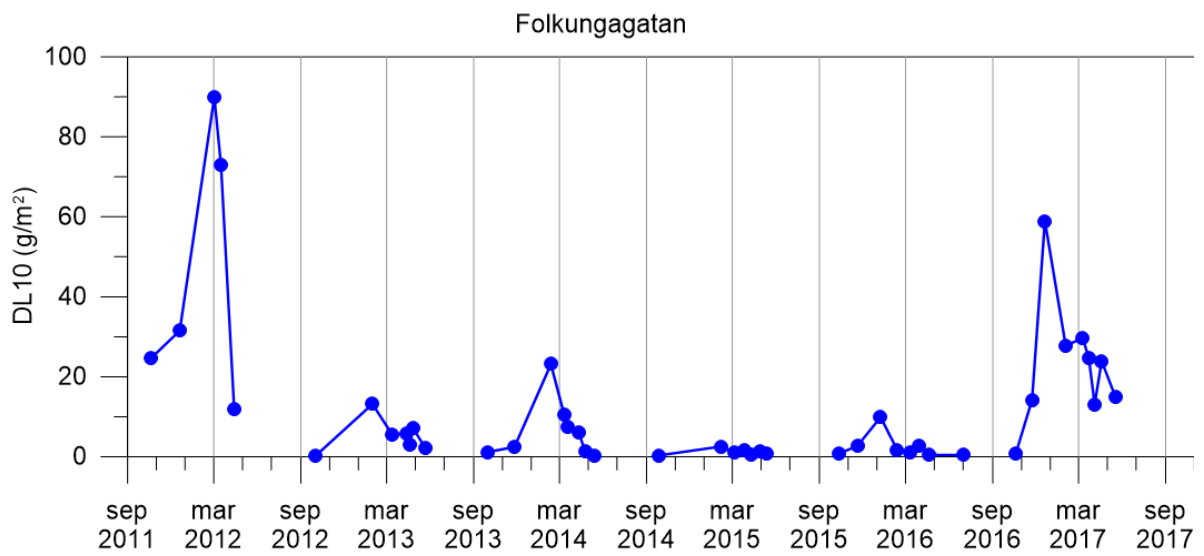
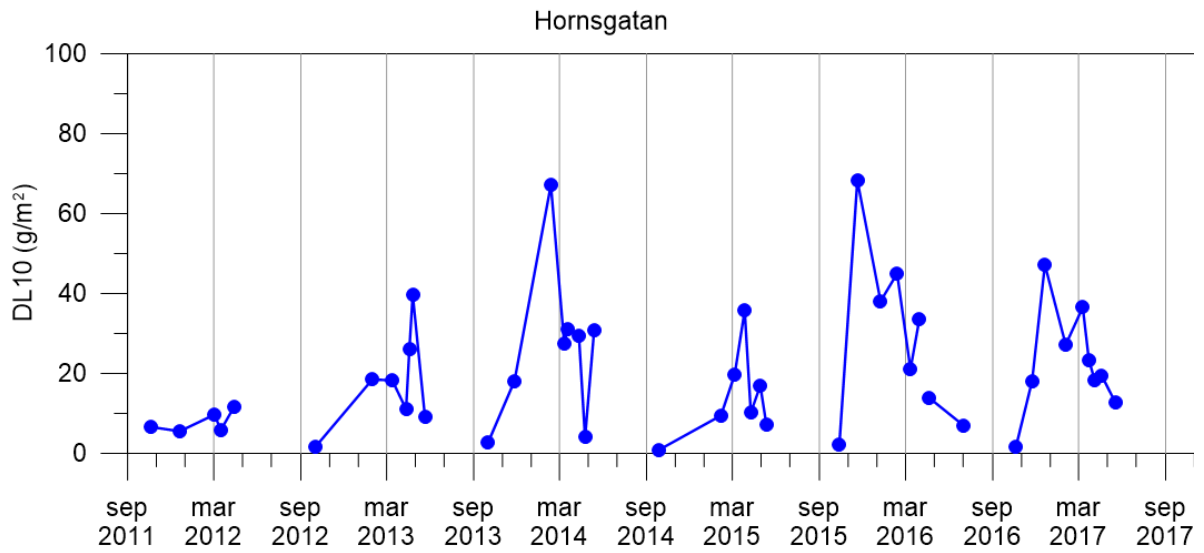
### 5.1.2. Variation av DL10 i vägdammer över vintersäsong mellan hjulspår

Med hjälp av storleksfördelningsanalys kan mängden partiklar mindre än 10 µm (DL10) beräknas. Andelen DL10 av DL180 i proverna över säsongen redovisas i Figur 17. Andelen har ett maximum under mätningarna i december och ligger sedan på en ganska konstant nivå innan de sjunker under sen vår. Nästan alla mätstationer uppvisar ett andra maximum i mars och april varefter andelen sjunker igen.

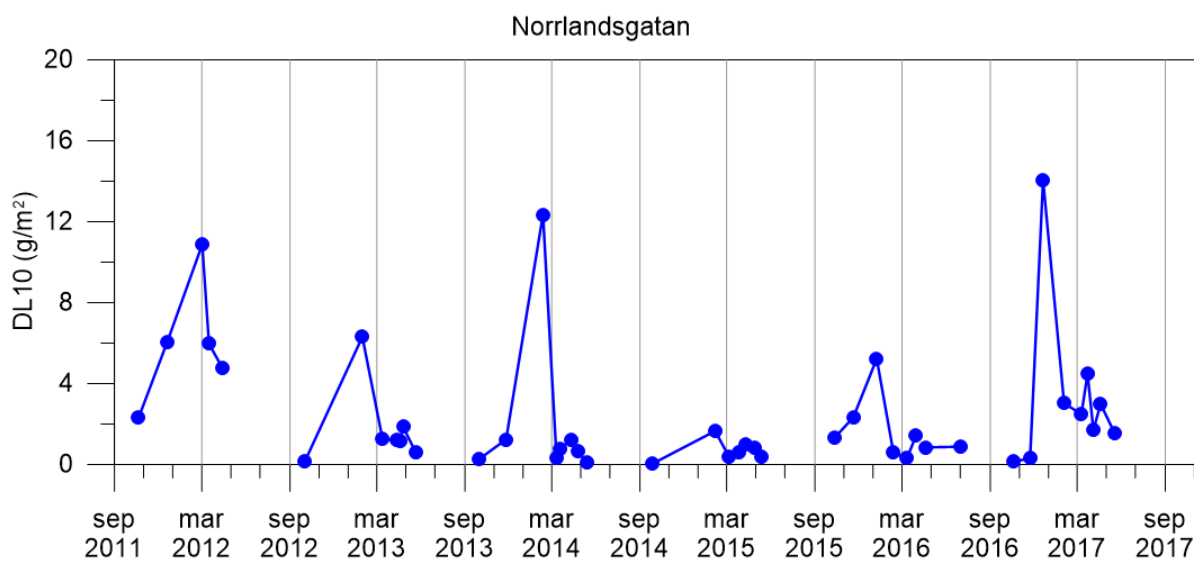
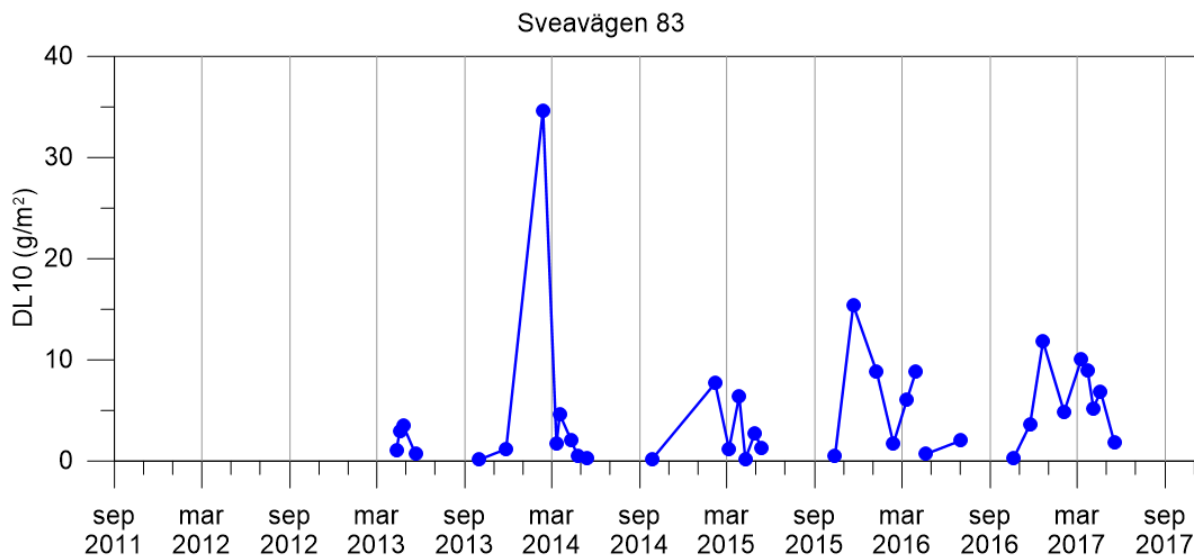
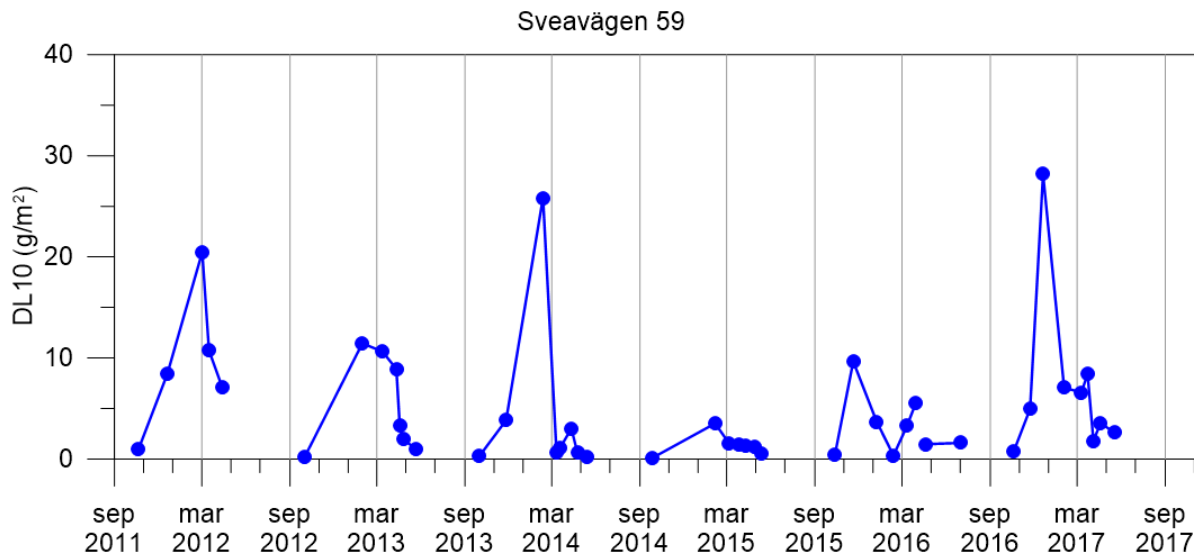


Figur 17. Andel av DL180 som är mindre än 10 µm (DL10) under säsongen 2016/2017 mellan hjulspår på mätgatorna.

Om andelarna kombineras med mängderna DL180 kan mängden DL10 på vägytan beräknas. Variationen över säsongen och mellan mätlokaler följer generellt variationen i DL180 och de flesta har ett max i mätningen i december. Liksom tidigare har Hornsgatan flera gånger högre DL10-nivå än övriga gator. Nivåerna är ungefär desamma som föregående år (Gustafsson m. fl., 2017), utom för Folkungagatan, som har betydligt högre DL10-värden.



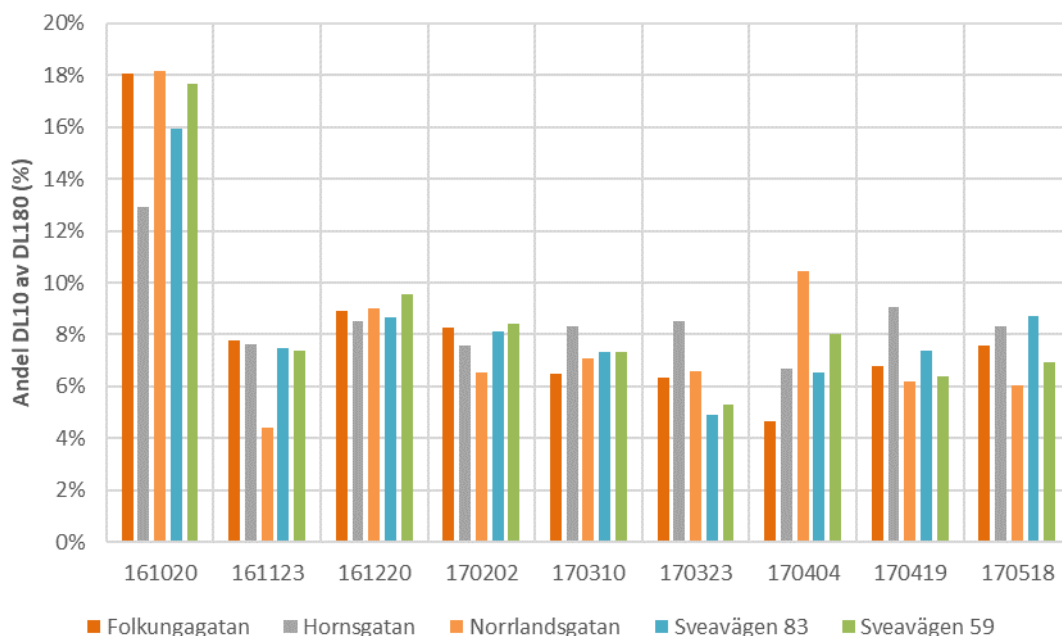
Figur 18. Mängd damm mindre än 10  $\mu\text{m}$  (DL10) på vägytan mellan hjulspår på Hornsgatan och Folkungagatan.



Figur 19. Mängd damm mindre än 10  $\mu\text{m}$  (DL10) på vägytan mellan hjulspår på Sveavägen och Norrlandsgatan. Observera skilda skalor på y-axlarna.

### 5.1.3. Organisk andel i DL180

Vägdamm består i huvudsak av mineraler från slitage av beläggingssten och sand, men en viss andel är bitumen, däckgummi och finfördelat material från till exempel pollen, svampsporer, nermalda växtdelar och fibrer med organiskt ursprung. Medelvärdet för den organiska andelen av DL180 var för mätningarna under 2016/2017 mellan någon enstaka procent upp till 18 %, utan någon tydlig säsongsvariation mer än att nivåerna var betydligt högre vid mättillfället 2016-10-20, möjligen som resultat av lövfällning (Figur 20).

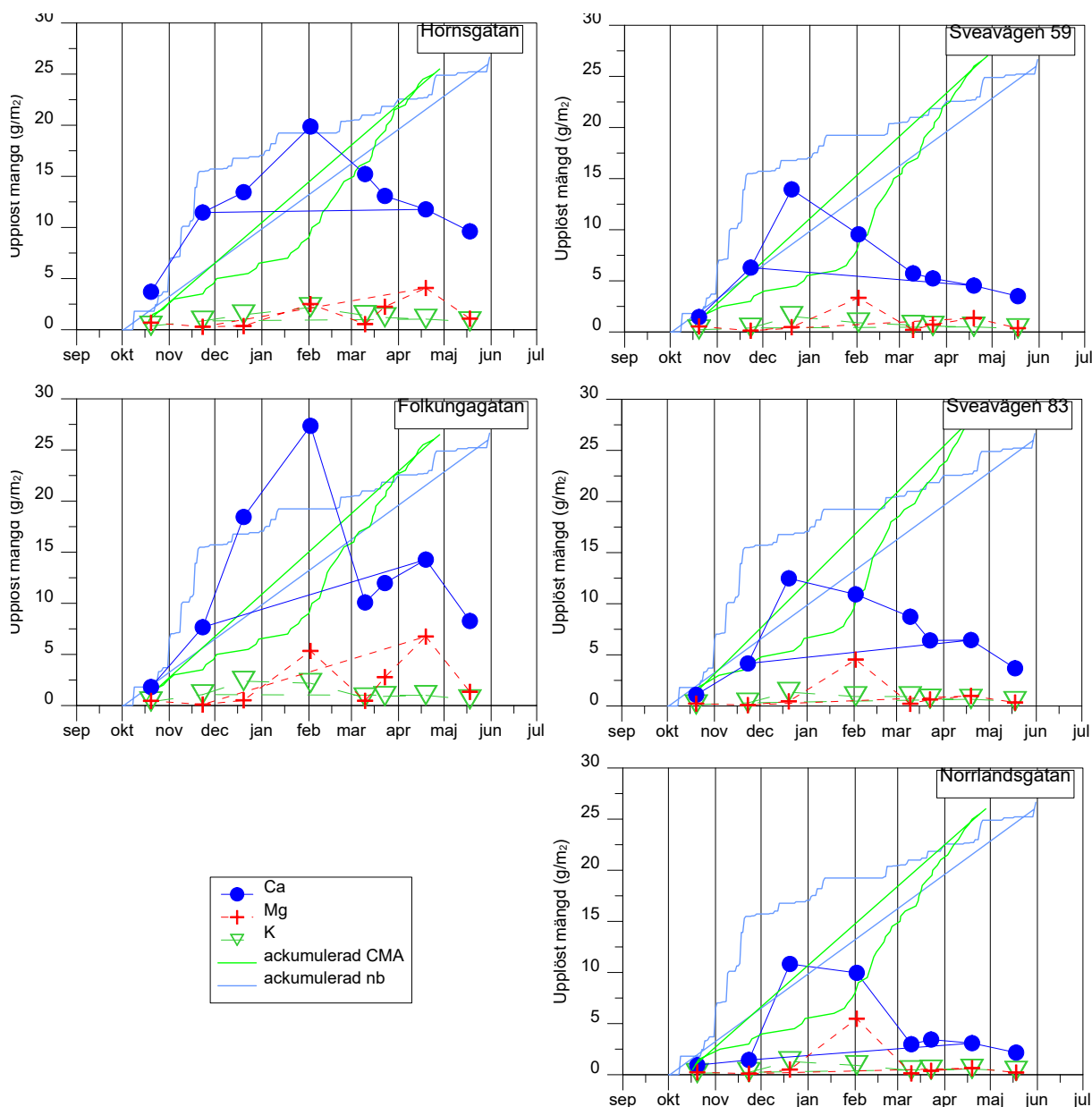


Figur 20. Organisk andel av DL180. Medelvärde för samtliga mätgator.

### 5.1.4. Variation av joner på vägytan över mätperioden

Tidsserier av jonerna som kan kopplas till dammbindning, magnesium ( $Mg^{2+}$ ) och kalcium ( $Ca^{2+}$ ) (CMA) visas i Figur 21. I figuren visas även de ackumulerade CMA-utläggningarna, som tillför jonerna, och ackumulerad nederbörd, som är en viktig process för jonernas utspädning och borttransport från vägytan.

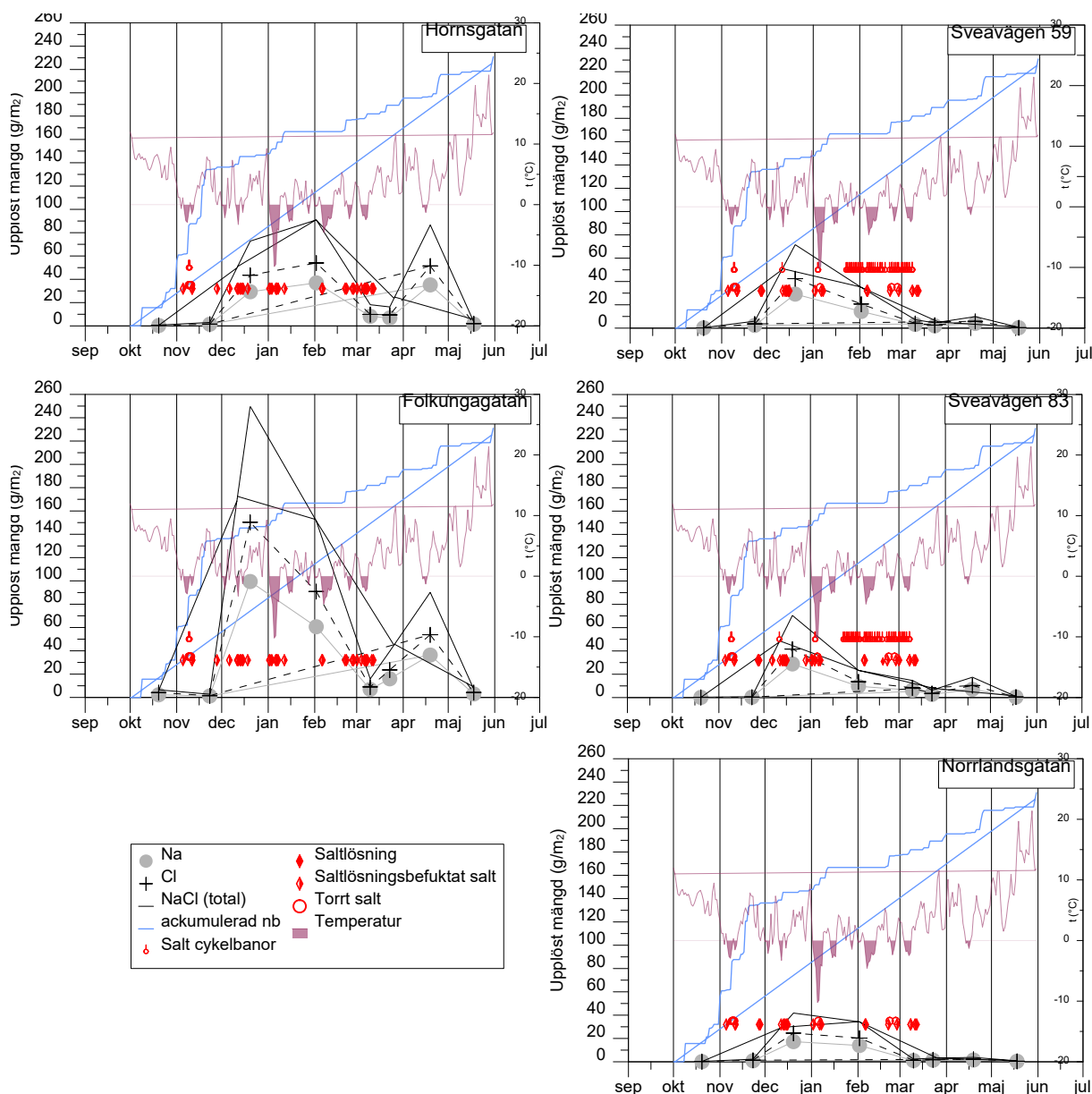
Gatorna följer i princip samma mönster under säsongen (Figur 21). Då CMA-användningen påbörjas i mitten av oktober stiger jonhalterna på vägytan. Särskilt den grova ytan mellan hjulspår på Hornsgatan samlar på sig CMA. Magnesiumjonen har en topp i februarimätningen på alla gator, medan kalciumjonen på Sveavägen och Norrlandsgatan är högst i mitten på december. I februari är nederbörden låg och dammbindningen intensifieras. På Folkungagatan finns en tydlig sekundär topp för båda jonerna i mars–april, då spridningen också är intensiv. Trots detta sjunker jonmängderna på övriga gator konstant från februari, vilket relaterar till frekvent nederbörd under denna period. Efter det kraftiga nederbördstillfället i slutet på april i kombination med att CMA-spridningen upphör resulterar i låga jonmängder på vägytan.



Figur 21. Mängden  $\text{Ca}^{2+}$  och  $\text{Mg}^{2+}$  (som påverkas av CMA-utläggning) och  $\text{K}^+$  (som eventuell indikator för kaliumformiat) på vägytorna under mätperioden 2016/2017 kombinerat med ackumulerad nederbörd och CMA-utläggningstillfällen.

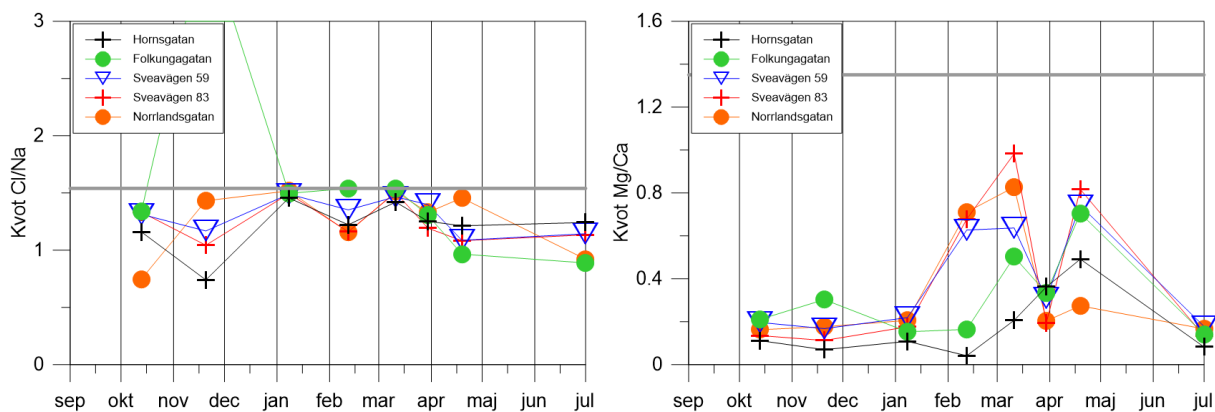
Joner som kopplas till vägsalt (natrium och klorid) avspeglar väl användningen (Figur 22). Samtliga gator har ett maximum mellan december till februari. I april finns en topp som är tydlig på Hörnsgatan och Folkungagatan, men även syns på övriga gator, men som inte verkar ha någon saltningsinsats kopplad till sig. Sopsaltningen av cykelbanor på Sveavägen är också väl avslutade innan denna topp uppstår och verkar inte ha påverkat salthalten på gatan jämfört med övriga gator. Dock visar temperaturdata att mättillfället 19 april föregicks av minusgrader 14–16 april, varför det är sannolikt att halkbekämpning ändå utförts, men ej kommit med i noteringarna. Liksom för de CMA-anknutna jonerna har den nyomlagda Folkungagatan de högsta jonmängderna även för  $\text{Cl}^-$  och  $\text{Na}^+$ .





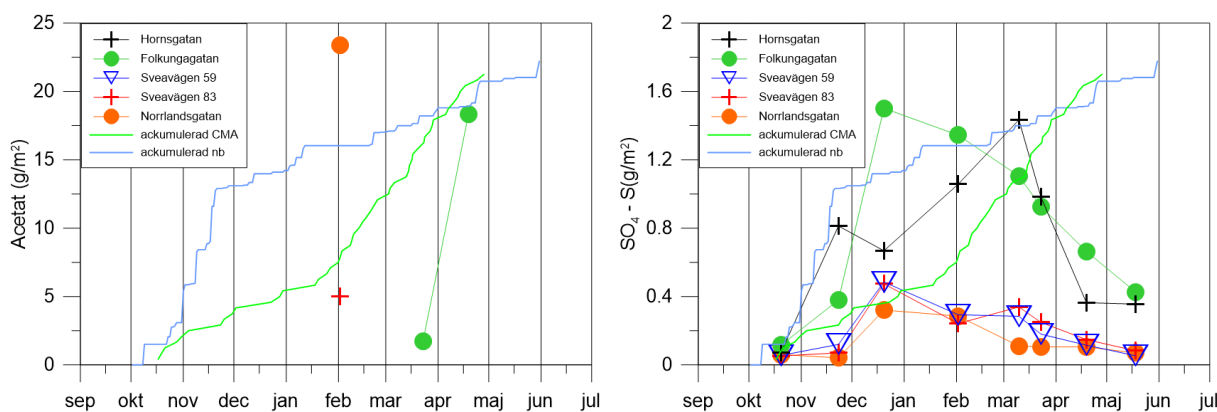
Figur 22. Mängden klorid och natrium (som påverkas av vägsaltning), summerad klorid och natrium samt ackumulerad nederbörd, temperatur och utläggningstillfällen för vägsalt i olika form.

Kvoterna mellan natrium och klorid respektive magnesium och kalcium visas i Figur 23. Kvoten mellan klorid och natrium är på samtliga gator i januari mycket lik den för vägsalt (1,54). Vid övriga mätningar är kvoten vanligen lägre, vilket tyder på ett relativt tillskott av Na från andra källor i gatumiljön, men kan även hänga ihop med att klor kan avgå som gas från partiklar i reaktion med SO<sub>2</sub> och syror. Kvoten mellan magnesium och kalcium, som tidigare år visat sig vara en lämplig indikator på förekomst av CMA på vägytan uppvisar en ganska kraftig variation under säsongen och når aldrig den i utlagd CMA (1,35), sannolikt på grund av andra kalciumkällor i gatumiljön. Kvoten är som högst, och närmast den i ren CMA, på Sveavägen och Norrlandsgatan i början på mars då CMA-utläggningen är intensiv.



Figur 23. Kvoter för klorid/natrium (vägsalt) och magnesium/kalcium (CMA) vid mättillfällena. Förhållandena mellan jonerna i utlagd lösning markerad med grå linje.

Mängden acetat på vägytan var denna säsong generellt under detektionsnivåerna. Vid ett tillfälle i början på februari noteras varierande mängder på Norrlandsgatan och Sveavägen 83 och på Folkungagatan finns två värden i mars och april registrerade (Figur 24). Sulfatmängderna uppvisar ett mönster som påminner om Mg och Ca, med högre mängder under vintermånaderna. Hornsgatan och Folkungagatan har avsevärt större mängder på ytan än övriga mätplatser.



Figur 24. Variationen av acetat på de tre CMA-behandlade gatorna (vänster). Till höger variationen av SO<sub>4</sub>-S på samtliga gator.

## 5.2. Luftkvalitetsmätningar

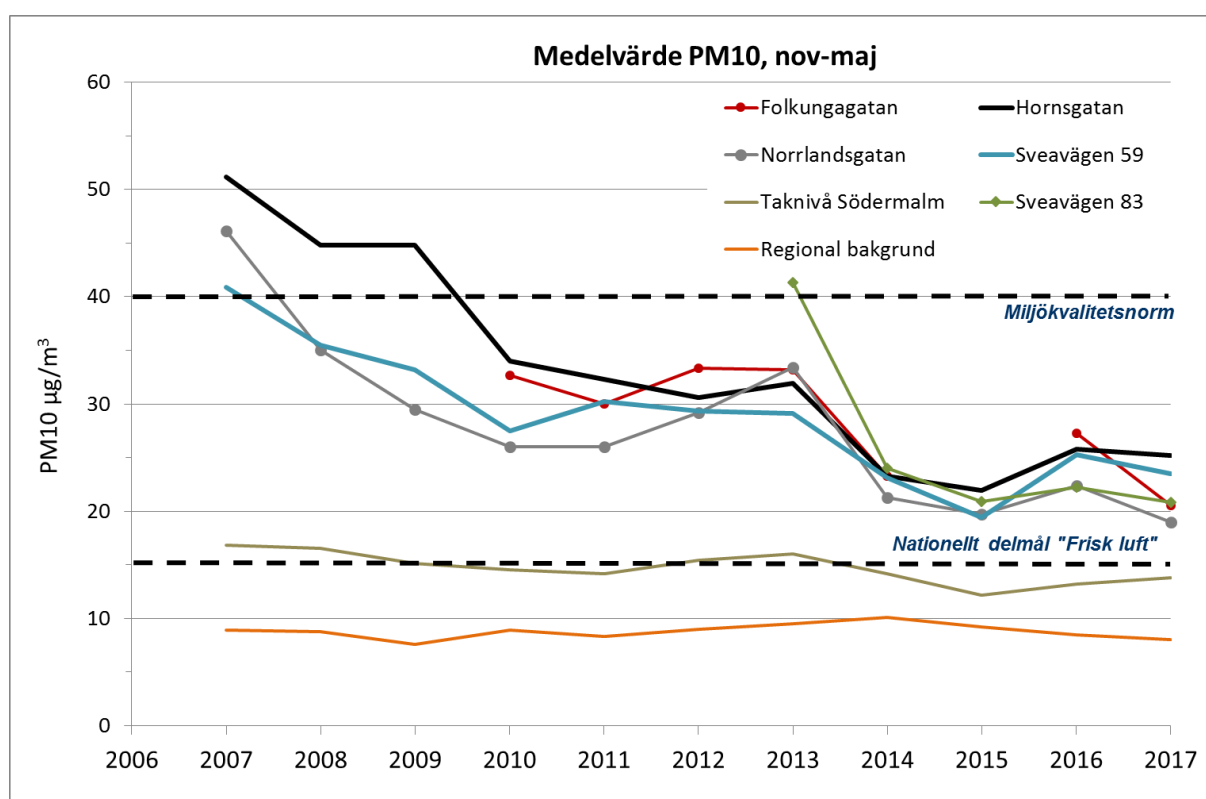
### 5.2.1. PM<sub>10</sub>-halter

Periodmedelvärdet av PM<sub>10</sub>-halterna under november till maj för åren 2007–2017 visas i Figur 25. De flesta mätstationer visade på något lägre halter (0,6–3,4 µg/m<sup>3</sup>) under 2017 än under 2016. Undantaget är Folkungagatan som visar på en mycket tydlig sänkning av halterna från 2016 till 2017.

PM<sub>10</sub>-halterna generellt uppvisar en tydlig nedåtgående trend sedan 2007. Denna trend är tydligast för Hornsgatan. I samband med att dubbdäcksförbudet infördes 2010 ses en tydlig nedåtgång. Under 2012 kompletterades detta sedan med dammbindning och städåtgärder vilket resulterade i ytterligare sänkning. Från 2014 intensifierades åtgärderna vilket har hjälpt till att sänka halterna. Under samtliga år från 2014 och framåt har PM<sub>10</sub>-halterna för Stockholm legat på de lägsta nivåerna sedan mätningarna startade år 2000. Detta visar att åtgärderna haft betydande positiv effekt för att reducera halterna.

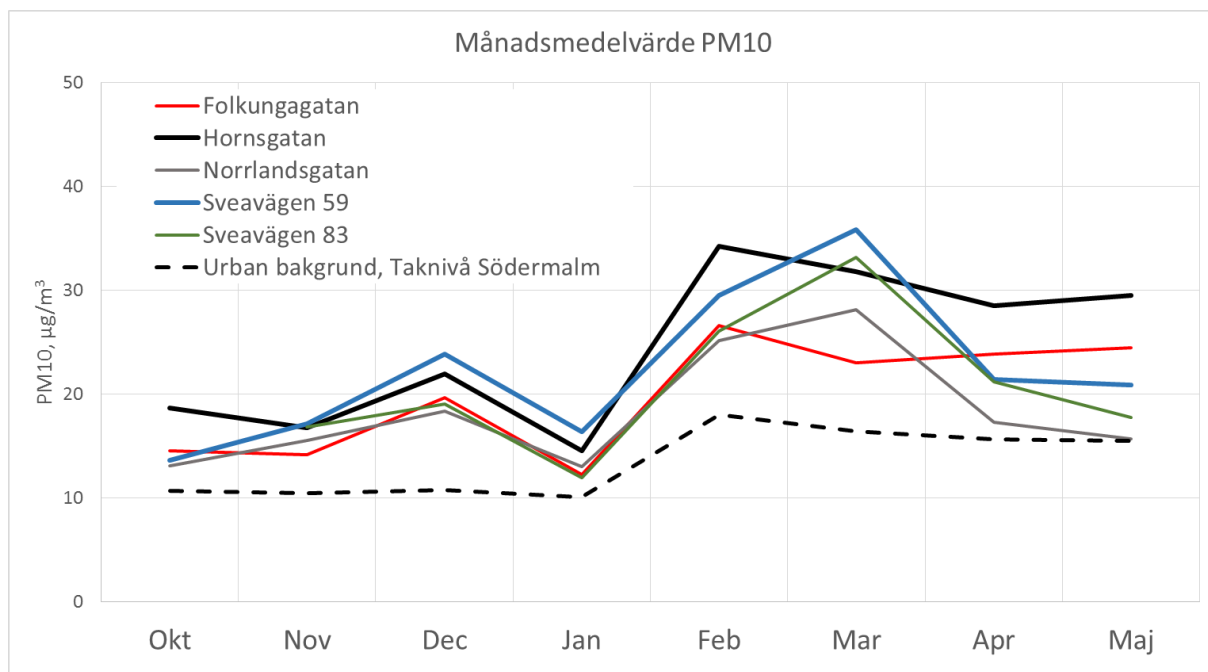
Den regionala bakgrundshalten representerar den del av PM<sub>10</sub>-halterna som kommer från andra länder och regioner och mäts utanför Norrtälje. Den urbana bakgrundshalten uppmäts i taknivå vid Torkel Knutssongatan på Södermalm på 20 meters höjd och representerar PM<sub>10</sub>-halterna som uppmäts i taknivå i Stockholm. Den urbana bakgrundshalten innehåller den regionala bakgrundshalten. Den regionala bakgrundshalten var cirka 1,2 µg/m<sup>3</sup> lägre under mätperioden 2016/2017 än under föregående mätperiod. Däremot var den urbana bakgrundshalten med cirka 1,4 µg/m<sup>3</sup> jämfört med 2016, men var fortfarande låg jämfört med 2014 och åren innan dess.

I Figur 25 görs även en jämförelse med miljökvalitetsnormen och även det nationella delmålet ”Frisk luft”. Observera att de angivna gränsvärdena gäller för kalenderår och mätningarna gjordes under en kortare period. I Stockholm uppmäts de högsta halterna under perioden mars till maj medan de är betydligt lägre under sommaren och tidig höst. Därför är de presenterade halterna i figuren högre än om data för hela året hade inkluderats. Årsmedelvärdet och jämförelse med gränsvärdet presenteras i årsrapporten om luften i Stockholm (Eneroth m. fl., 2018).



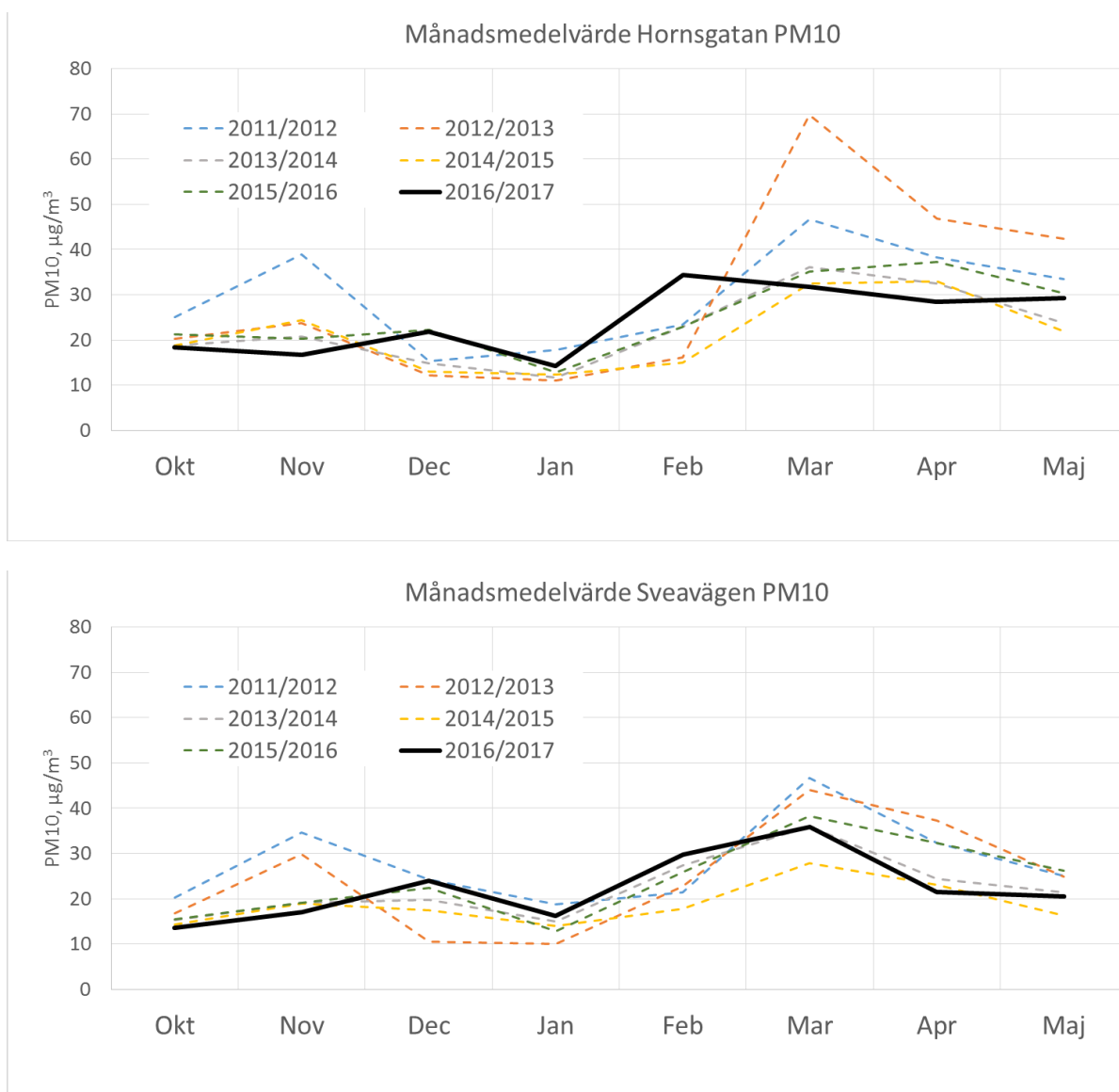
Figur 25. Medelvärde för PM<sub>10</sub> under perioden 1 november t.o.m. 31 maj på mätstationerna i Stockholm.

Månadsmedelvärden av PM<sub>10</sub>-halterna visas i Figur 26. Samtliga stationer inklusive takstationen (urban bakgrund) på Torkel Knutssongatan uppvisar relativt låga halter under oktober och november, med en viss ökning till december. Under januari är halterna återigen låga för att sedan stiga mellan februari och maj. Förhöjda halter under våren är normalt förekommande i Stockholm. Förhållandena mellan gatorna varierar en del under våren. Under februari uppmättes de högsta halterna på Hornsgatan och Folkungagatan. För Sveavägen och Norrlandsgatan uppmättes istället de högsta halterna under mars. Både Sveavägen och Norrlandsgatan har en nord-sydlig sträckning och Folkungagatan och Hornsgatan har öst-västlig sträckning. Variation i vindriktning samt hur snabbt gatorna torkar upp på grund av skillnader i instrålning bidrar sannolikt till dessa skillnader.



Figur 26. Månadsmedelvärden av  $PM_{10}$  under oktober 2016 till maj 2017.

Månadsmedelvärdena för  $PM_{10}$  under säsongen 2016/2017 på Hornsgatan och Sveavägen 59 jämförs med tidigare säsonger i Figur 27. På Hornsgatan uppmättes högre halter under februari jämfört med tidigare säsonger, men för mars och april uppmättes istället bland de lägsta. Motsvarande trend ses även på Sveavägen, men inte alls lika tydlig som på Hornsgatan. Detta är kopplat till vägytans fuktighet (stycke 2.1) som visade på torra körbanor under februari, men fuktigare under mars och april jämfört med tidigare år.

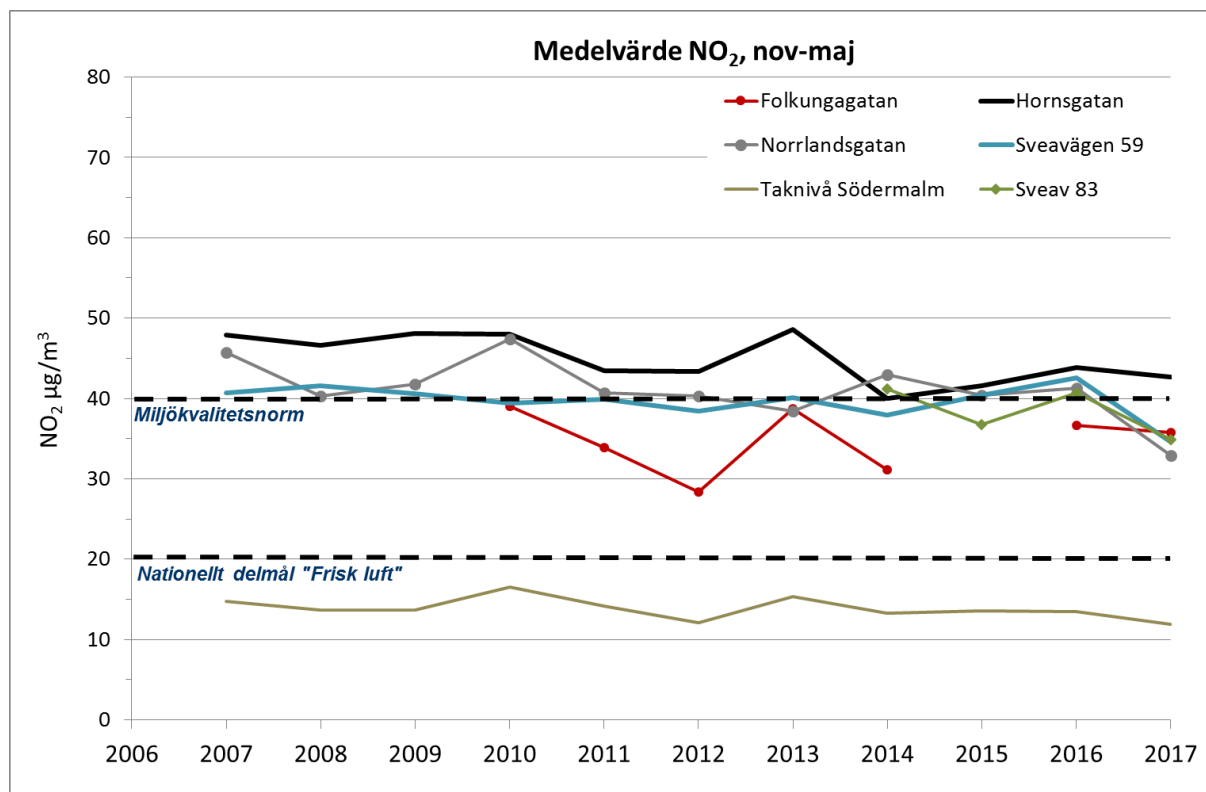


Figur 27. Månadsmedelvärden av  $PM_{10}$  på Hornsgatan (ovan) och Sveavägen (nedre) under oktober till maj de fem senaste säsongerna.

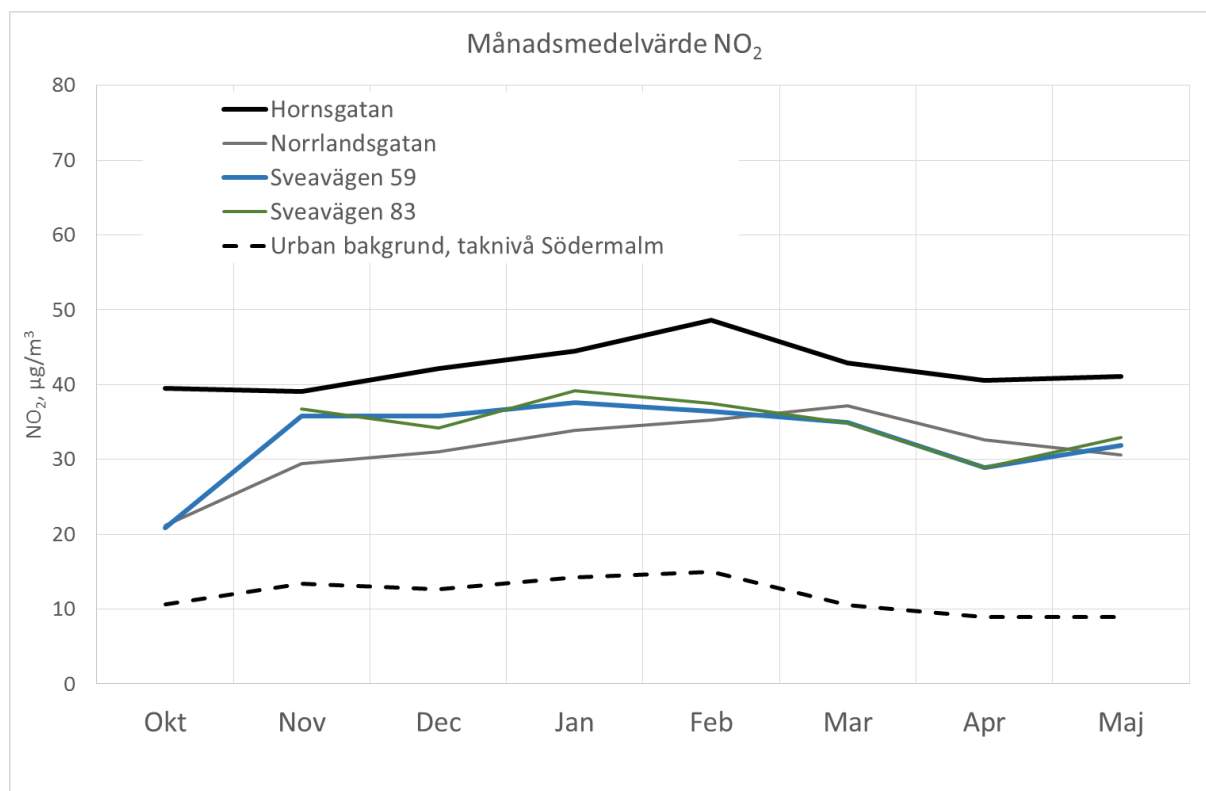
### 5.2.2. $NO_2$ -halter

Halterna av kvävedioxid,  $NO_2$ , kommer primärt från fordonsavgaser, via direktutsläpp och oxidation av  $NO$  som också kommer från fordonsavgaser.  $NO_2$ -halterna påverkas inte direkt av åtgärderna mot  $PM_{10}$ -halterna, men kan indirekt påverkas genom att någon åtgärd påverkar trafikflödet, fordonsammansställningen eller hastigheten. De uppmätta  $NO_2$ -halterna kan även användas som mått på hur vädret i form av vindhastighet och vindriktning har påverkat luftföroreningshalterna i staden. Periodmedelvärdet av  $NO_2$ -halterna under november till maj för åren 2007–2017 visas i Figur 28. Till skillnad från motsvarande bild för  $PM_{10}$  (Figur 25) så finns ingen tydligt långvarig nedåtgående trend i halterna. Däremot ses en tydlig nedgång från 2016 till 2017 på samtliga stationer förutom Folkungagatan. Ingen noggrannare analys av halterna på Folkungagatan (Elmgren, 2018), har genomförts, men trafikomläggningar har gjorts och det ska bland annat gå fler bussar på Folkungagatan under 2017 än under tidigare år.

Till skillnad från PM<sub>10</sub> (Figur 26) så ses inga toppar för NO<sub>2</sub> under vårmånaderna vilket presenteras i Figur 29. Februari uppvisade de högsta halterna och kan kopplas till vinterväder med stabila väderförhållanden vilket försämrar utvädringen av luftföroreningarna.



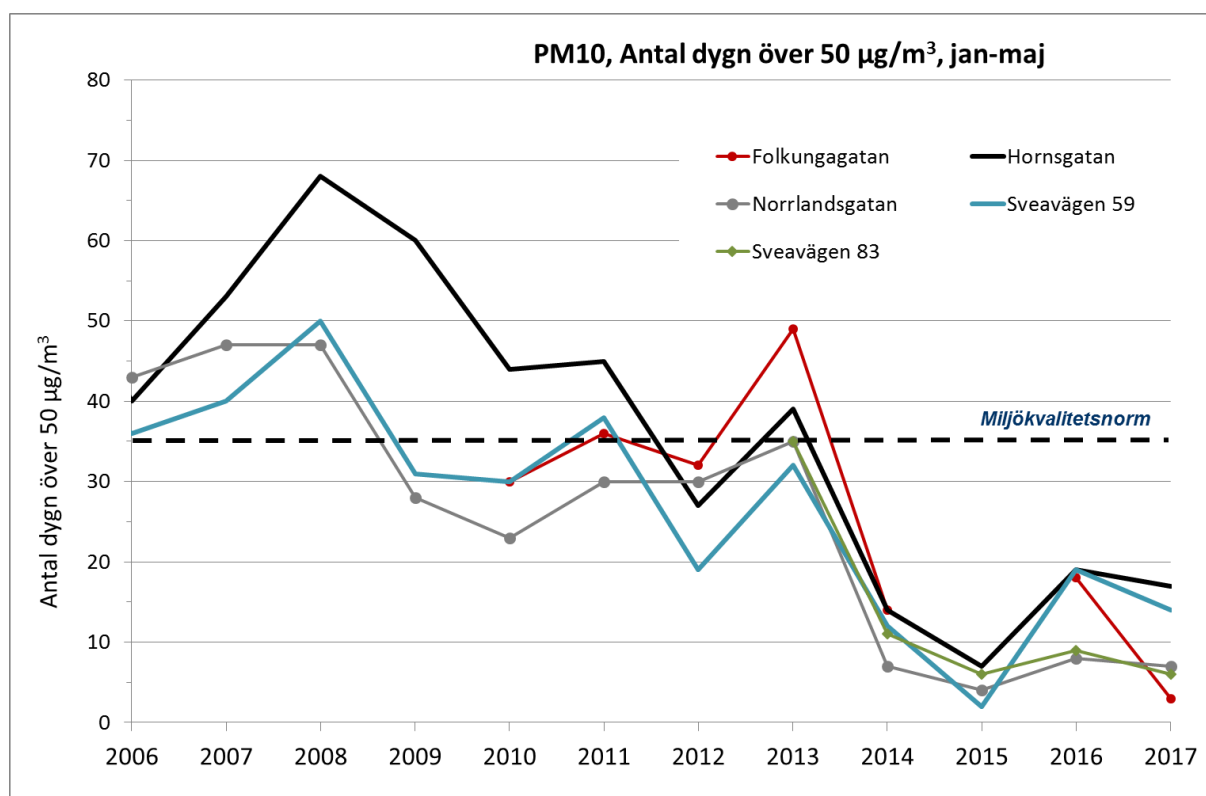
Figur 28. Medelvärde för NO<sub>2</sub> under perioden 1 november tom 31 maj på mätstationerna i Stockholm.



Figur 29. Månadsmedelvärden av NO<sub>2</sub> under oktober 2016 till maj 2017.

### 5.2.3. Jämförelse mot miljö kvalitetsnormen för PM<sub>10</sub>

Utvecklingen av antalet dygn med PM<sub>10</sub>-halter över 50 µg/m<sup>3</sup> under perioden januari till maj visas i Figur 30. Miljö kvalitetsnormen gäller för kalenderår och därför visas antalet dygn från årsskiftet tills projektet slut. Våren 2017 innehöll något färre dygn med PM<sub>10</sub>-halter över 50 µg/m<sup>3</sup> än under 2016, men samtidigt något fler än de rekordlåga åren 2014 och 2015. Ur ett längre perspektiv så var 2017 ett år med låga partikelhalter. Under hösten 2017 tillkom inga dygn med PM<sub>10</sub>-halter över 50 µg/m<sup>3</sup> och miljö kvalitetsnormen för PM<sub>10</sub> klarades vid samtliga mätstationer i centrala Stockholm under hela 2017, vilket är fjärde året i följd. Åtgärder har varit en tydligt bidragande faktor till detta. Rapportering om halterna för hela 2017 redovisas i årsrapporten för 2017 (Eneroth m. fl., 2018).



Figur 30. Antalet dygn med halter över miljö kvalitetsnormen för PM<sub>10</sub> (50 µg/m<sup>3</sup>) under perioden 1 januari t.o.m. 31 maj på gatorna i Stockholm.

### 5.2.4. Kemiska analyser av PM<sub>10</sub>

Analyserna visar ett antal kemiska komponenter i PM<sub>10</sub> för januari–maj 2017 på Hornsgatan. Natriumklorid (NaCl) som till största del kommer från vägsalt, utgör i genomsnitt 7,2 % av den totala PM<sub>10</sub>-halten, vilket är 2,2 µg/m<sup>3</sup>. Detta är i stort sett samma andel som rapporterades föregående säsong under motsvarande period.

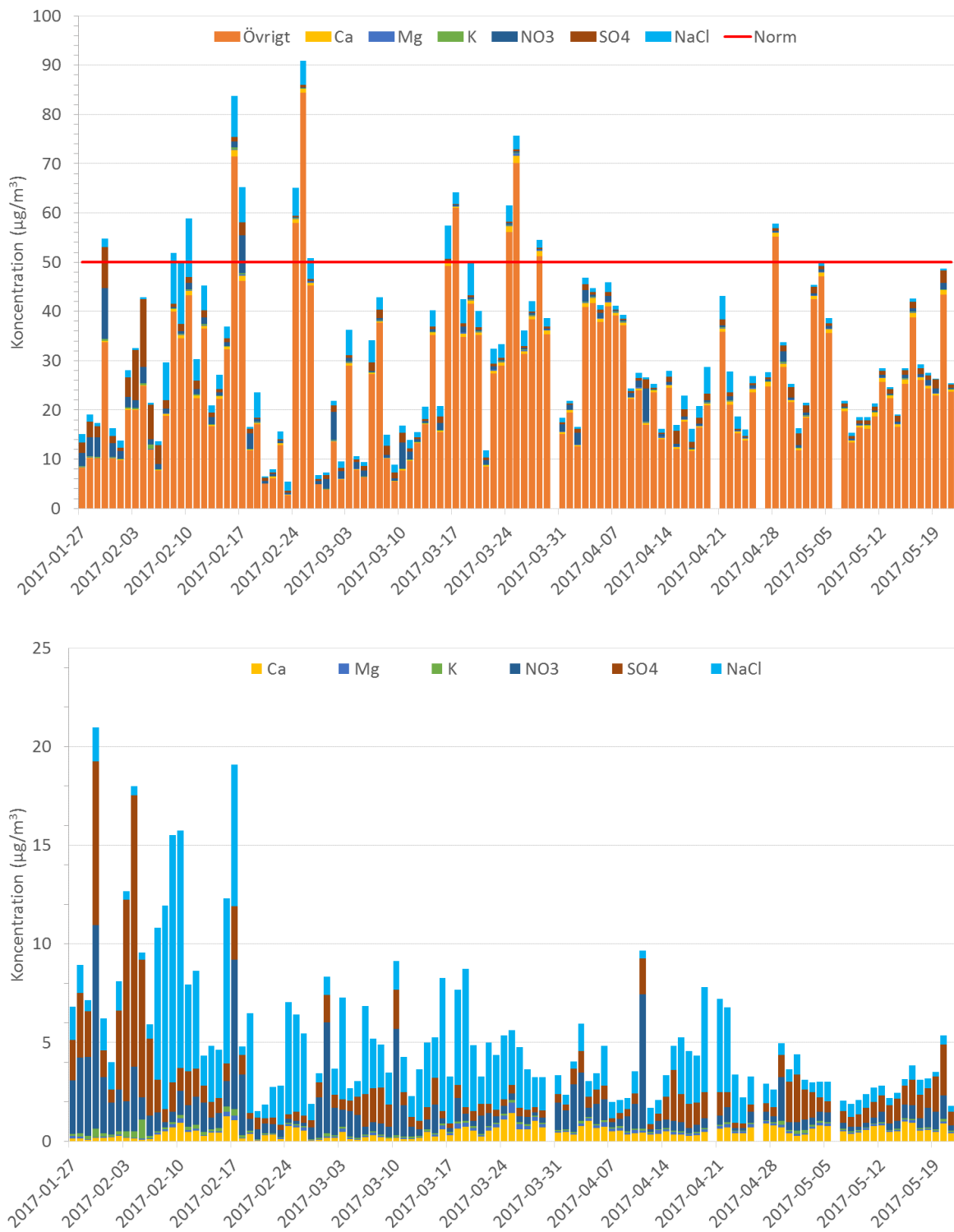
Enligt EU:s luftkvalitetsdirektiv 2008/50/EG får vägsalt subtraheras från de uppmätta totala PM<sub>10</sub>-halterna vid utvärderingen av antalet dygn med halter över gränsvärdet, förutsatt att rimliga åtgärder har vidtagits för att sänka koncentrationerna. Om natriumklorid hade subtraherats från den totala halten hade PM<sub>10</sub>-halten underskridit 50 µg/m<sup>3</sup> på Hornsgatan, där de kemiska analyserna gjordes, vid ytterligare 6 tillfällen under den aktuella mätperioden. Antalet dygn med överskridanden av normgränsvärdet hade minskat med 6 dagar från totalt 17 till 11 dagar under perioden 26 januari–20 maj.

Övriga analyserade vattenlösliga joner är nitrat (3,7 %), sulfat (4,2 %), kalcium (1,5 %), kalium (0,3 %) och magnesium (0,3 %). Största delen är således kemiska ämnen som inte analyserats. Denna

del innefattar bland annat ammonium, mineraler, organiska ämnen, karbonat, elementärt kol, metaller och vatten.

Endast begränsade källanalyser har gjorts i denna studie, men generellt bedöms det huvudsakliga ursprunget till nitrat och sulfat vara kväve- och svavelutsläpp i Central-, Väst- och Östeuropa, medan största delen av mineraler och metaller/metalloxider kommer från stenmaterial i vägbanans sandningssand, samt från bromsslitage. Organiska ämnen och elementärt kol kommer både från förbränning av olika fordonsbränslen, biobränslen för uppvärmning av bostäder och från naturliga källor. Den 29 januari uppmättes totalt  $55 \mu\text{g}/\text{m}^3$   $\text{PM}_{10}$  varav cirka  $19 \mu\text{g}/\text{m}^3$  bestod av sulfat och nitrat. I det fallet gjordes en källanalys som visade att luftmassan färdats från Polen och in mot Stockholm. Den urbana bakgrundshalten av fina partiklar,  $\text{PM}_{2.5}$ , var ungefär  $48 \mu\text{g}/\text{m}^3$  vilket innebär att det var i stort sett omöjligt att förhindra ett dygnsmedelvärde över  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  med hjälp av dammbindning under det dygnet.

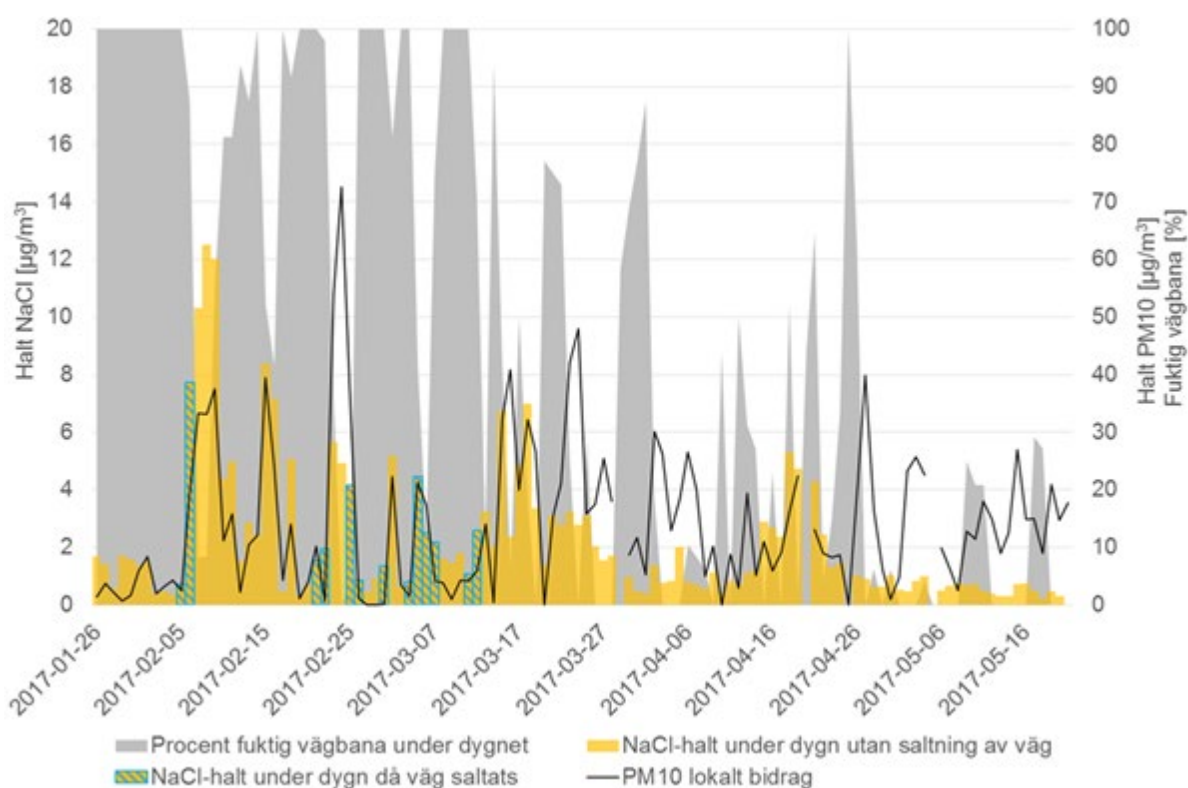




Figur 31. Övre delen: Dygnsvärden av den kemiska sammansättningen som en del av den totala halten  $PM_{10}$  på Hornsgatan under 26 januari–20 maj, 2017. Röd linje anger gränsvärdet för  $PM_{10}$ ,  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . En tydligare översikt av den individuella jonsammansättningen presenteras i den nedre delen av figuren.

Nedre delen: Dygnsvärden under 26 januari–20 maj, 2017 av kemiska sammansättningen enbart av de joner som analyserats.

Utöver den översiktliga saltsammansättningen i Figur 31 ovan har kompletterande analyser gjorts separat. I Figur 32 presenteras halterna av vanligt vägsalt (NaCl) samt det lokala bidraget av PM<sub>10</sub> som uppmättes på Hornsgatan mellan 26 januari och 20 maj 2017. Av figuren kan en tydlig samvariation mellan det lokala PM<sub>10</sub>-bidraget och NaCl i början av året utläsas. Fram till mitten av mars sammanfaller dygn med höga halter av PM<sub>10</sub> och NaCl. Under denna period genomfördes även utläggningen av vägsalt. Det är inte nödvändigtvis under dygn då salt lagts ut som de höga halterna av NaCl i luften uppmätts. Halten NaCl i luften påverkas också av om vägbanan är fuktig eller torr och tydliga samband mellan torr körbana och höga salthalter i luften kan utläsas ur figuren. Med andra ord, om salt har lagts ut nyligen och det sedan blir torrt på körbanan så kommer troligen salthalten i luften att bli hög. Efter att vägsaltningsperioden tagit slut i mitten av mars syns inte längre något samband mellan halten NaCl i luften och de lokala PM<sub>10</sub>-halterna. Möjligen korrelerar salthalten och partikelhalten kortvarigt även andra halvan av april. Halterna av vägsalt på Hornsgatans körbana visades i Figur 22. Trots att mätningarna på körbanan enbart är gjort under några få tillfällen så syns en ganska tydlig samvariation med de höga halterna av vägsalt i luften. Exempelvis är värdena låga både i luften och på körbanan i slutet på mars för att sedan öka igen i april.

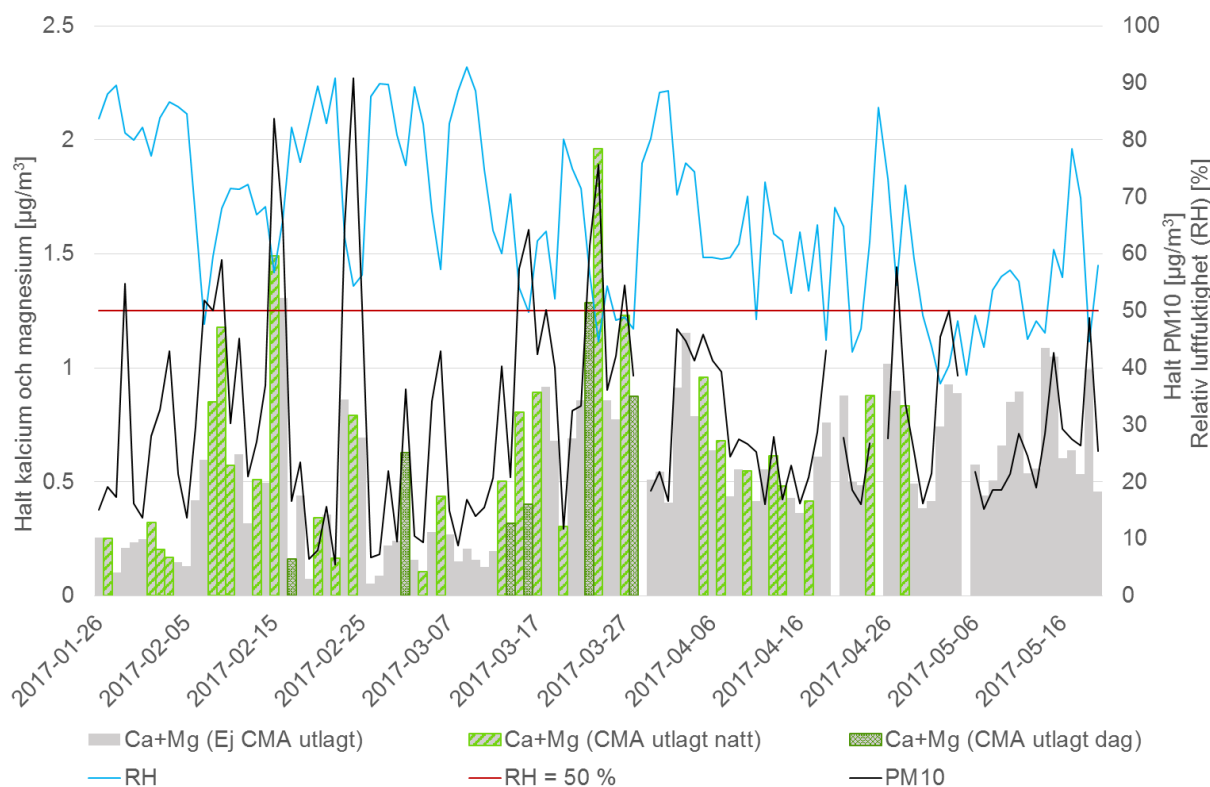


Figur 32. Halten vägsalt (NaCl) och totalhalten PM<sub>10</sub> på Hornsgatan mellan 26 januari och 20 maj, 2017, procent av dygnet med fuktig väg bana samt vägsaltningsstillfällen.

I Figur 33 visas halterna av kalcium och magnesium, som ingår i CMA samt totalhalten PM<sub>10</sub> och den relativa luftfuktigheten (RH) under perioden 26 januari till 20 maj 2017. Källorna till kalcium och magnesium på Hornsgatan är både CMA och som beståndsdelar i broms- och vägbeläggningar men ämnena kan även transporteras in från andra källor (Sjödin m. fl., 2010). I Figur 33 ses en distinkt samvariation med de totala partikelhalterna av PM<sub>10</sub> och kalcium + magnesium under hela mätperioden. Det indikerar att den huvudsakliga källan för Hornsgatan är lokal.

Under cirka 50 % relativ luftfuktighet övergår CMA från lösning till fast form vid 0 grader (Denby m. fl., 2016), vilket innebär att de dammbindande egenskaperna försämras. Det är även vid övergången till fast form som friktionen sjunker (Leggett, 1999). Det finns tendenser till högre halter av kalcium och magnesium under dagar med lägre luftfuktighet. Huruvida CMA har lagts ut dagtid, nattetid eller

inte alls under föregående dygn verkar däremot spela mindre roll. Sammantaget är haltbidraget av kalcium och magnesium i snitt  $0,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , vilket motsvarar 1,8 % av totala halten  $\text{PM}_{10}$ .



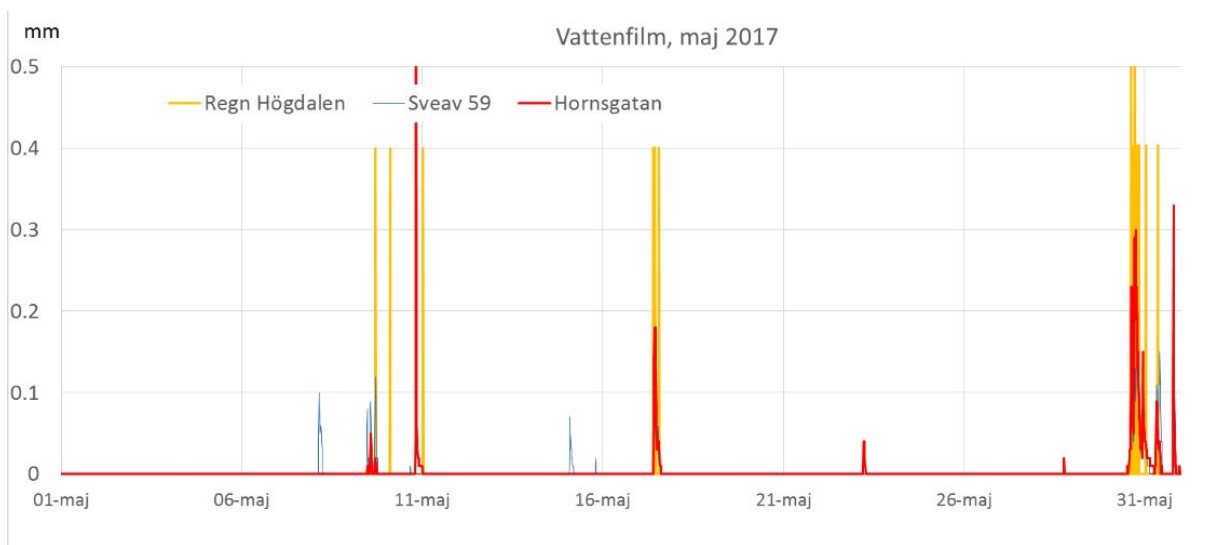
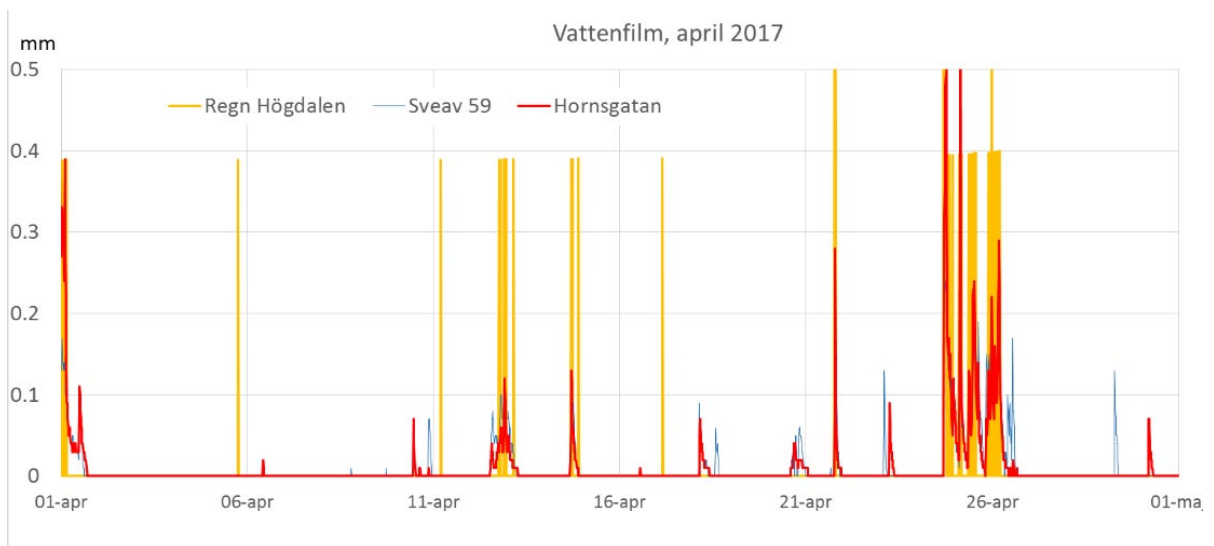
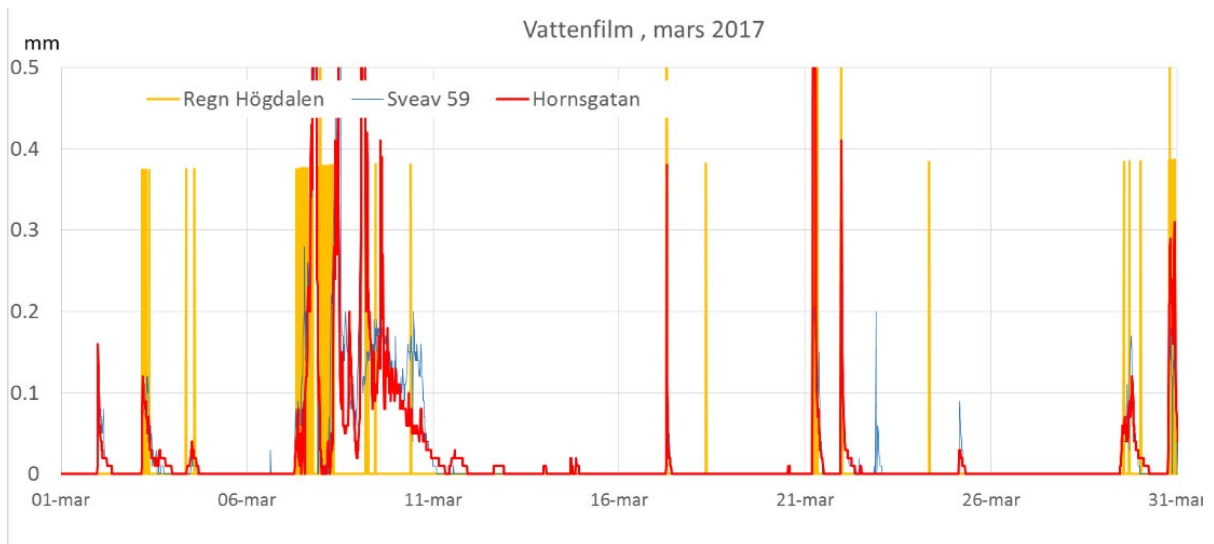
Figur 33. Halten kalcium och magnesium samt totalhalten  $\text{PM}_{10}$  mellan 26 januari och 20 maj, 2017, luftfuktigheten (RH) samt utlägg av CMA.

### 5.3. Åtgärdernas effekt på vägytans fuktighet

Under säsongen användes två sensorer (Vaisala DSC 111) som mätte vägytans fuktighet på Sveavägen 59 respektive Hornsgatan, precis som tidigare år. I Figur 34 visas den uppmätta mängden vatten i mm på vägytan på de båda gatorna under mars, april och maj. I figuren visas även mängden regn per 15 min vid Högdalen. De toppar som syns i figurerna med vattenfilm över 0,1–0,2 mm beror till stor del på nederbörd som har tillfört vatten till vägytan. Precis som under tidigare försök så ger dammbindningen med CMA oftast inget utslag på sensorerna.

Tyvärr finns det ingen information i den digitala loggen om någon spolning har gjorts under våren på Sveavägen. Vi har fått information om att Fleminggatan har spolats under dagtid (Peter Ringkrans, projektledare Trafikkontoret, Stockholm, muntligen). Enligt information har lastbilen med det breda spolmunstycket som använts tidigare år sålts, p.g.a. att bilen inte längre klarar miljözonskravet för innerstan. Den vattenbegjutning som utförts gjordes därför troligen med lägre vattentryck (Peter Ringkrans muntligen), vilket resulterat i att endast en mindre mängd vatten applicerats på vägbanan. I Figur 34 framgår att fuktig vägbanan har registrerats på Hornsgatan under april och maj vid ett par tillfällen utan att nederbörd registrerats vid Högdalen. Det går dock inte att identifiera om det är vattenbegjutning eller lokal nederbörd som är förklaringen till det. Vid spolning borde fuktmätaren registrera betydligt blötare vägbanan, och värdena borde sticka ut tydligare i graferna.

Tidigare år startade spolning varje vardagsnatt på båda gatorna i mitten på maj, men inga utslag från något sådant kan ses under våren 2017.



Figur 34. Uppmätt vattenfilm (mm) på Sveavägen och Hornsgatan under mars, april och maj 2017.

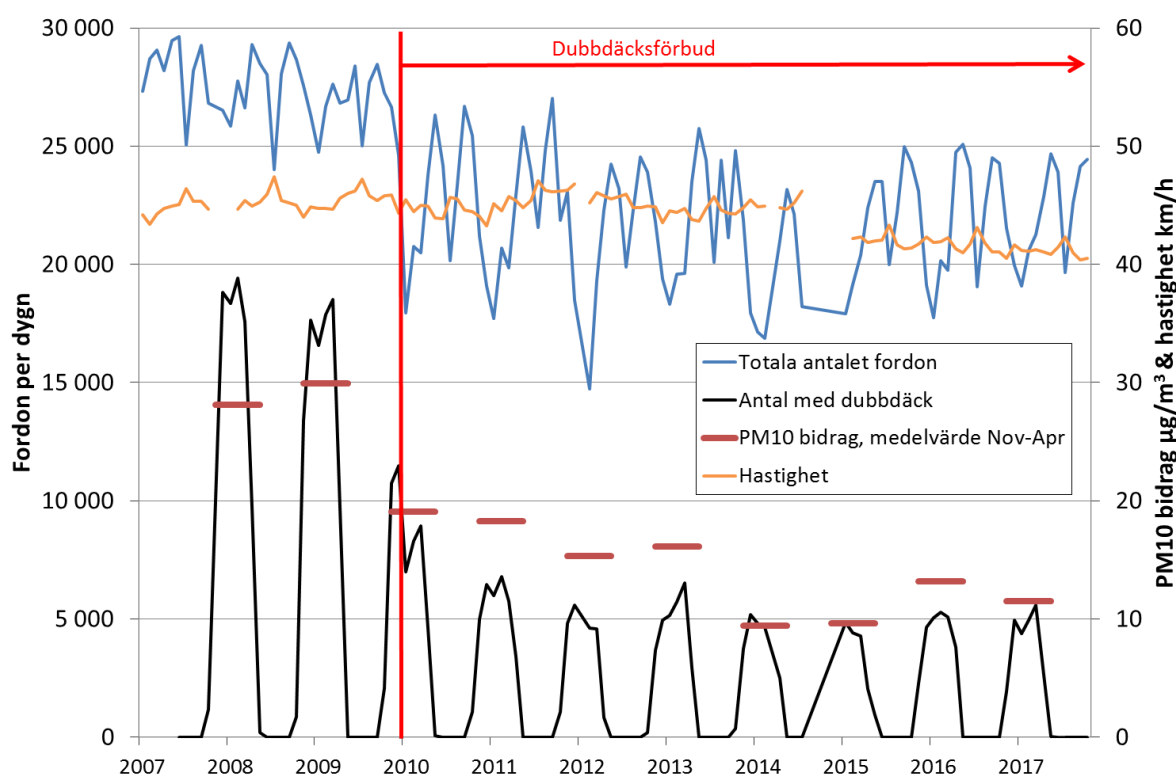
## 5.4. Åtgärdernas effekter på PM<sub>10</sub>-halterna

### 5.4.1. Trafikmängd och antal fordon med dubbdäck

Figur 35 visar att det totala antalet fordon och antalet fordon med dubbdäck på Hornsgatan har legat på ungefär samma nivå de senaste fyra åren och betydligt lägre än före förbudet 2010. Antalet fordon med dubbdäck per dygn var cirka 18 000 under vintrarna 2008 och 2009. Senaste vintrarna var antalet fordon med dubbdäck cirka 5 000 fordon per dygn.

PM<sub>10</sub>-bidraget har beräknats som skillnaden mellan halten på Hornsgatan och halten i taknivå (urban bakgrund) på Torkel Knutssonsgatan. Figuren visar också att bidraget till PM<sub>10</sub>-halterna från trafiken på Hornsgatan har sjunkit kraftigt sedan förbudet mot dubbdäck infördes, den 1 januari 2010. Däremot var PM<sub>10</sub>-halterna från trafiken på Hornsgatan något högre än för säsongerna 2013/2014 och 2014/2015. Men det syns även att bidraget sjönk jämfört med förra säsongen 2015/2016. För perioden november–april var medelvärdet 30 µg/m<sup>3</sup> år 2008/2009 att jämföra med cirka 11 µg/m<sup>3</sup> den senaste säsongen 2016/2017. Variationen i PM<sub>10</sub>-halt från ett år till ett annat följer samma mönster som presenteras i Figur 25 och Figur 30, vilket är en avspeglning av att de totala medelhalterna och 90-percentilerna av PM<sub>10</sub> i hög grad styrs av de lokala bidragen.

Hastigheten minskade i samband med omskyllningen från 50 km/h till 30 km/h som genomfördes sommaren 2014 och har efter det varit relativt konstant.



Figur 35. Utvecklingen av trafikflöde, dubbdäcksanvändning, hastighet och lokalt PM<sub>10</sub>-bidrag på Hornsgatan.

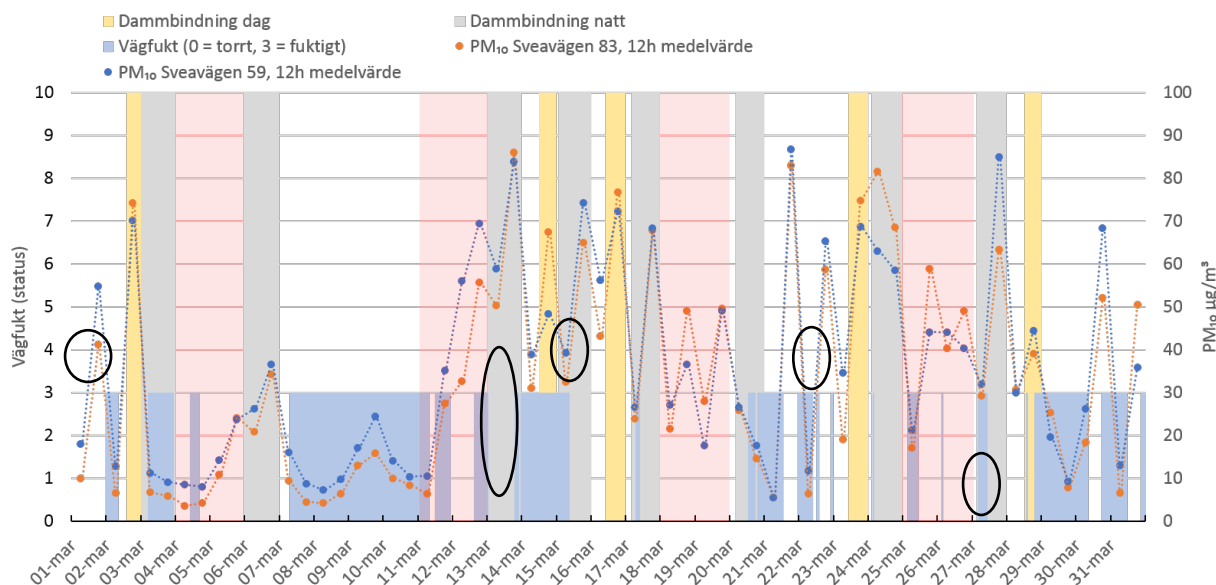
### 5.4.2. Utvärdering av dammbindning dagtid

Försöket med dammbindning dagtid utformades så att vägsträckan förbi Sveavägen 59 utöver nattetid även dammbands dagtid på tisdagar och torsdagar under mars under förutsättning att körbanan var torr. Sveavägen 83 fungerade som referensstation där dammbindning endast utfördes nattetid. Under mars 2017 utfördes dammbindning dagtid vid totalt fem tillfällen och är markerade med gula staplar i

Figur 36. Den dagtida dammbindningen gjordes enbart under dagar där dammbindningen inte gjorts under natten, vilket underlättar för utvärderingen av effekten av dagtid dammbindning, men utesluter möjlig gemensam effekt av dammbindning nattetid + dagtid. Utvärderingen av dagtid dammbindning görs för PM<sub>10</sub> och olika tidsintervall; timmedelvärde, halvdrygnsmedelvärde, drygnsmedelvärde samt drygnsvariation.

För att analysera effekten av dammbindning dagtid har mätdata för Sveavägen 83 och Sveavägen 59 använts tillsammans med information om när dammbindning utfördes samt data över vägens fuktighet vid Sveavägen 59.

- Dammbindning dagtid utfördes vid fem separata tillfällen i mars 2017 kring lunch. De representeras av gula staplar (och svarta ringar) i Figur 36.
- Varje dygn i mars är uppdelat i två 12-timmars intervall för att särskilja effekten av dammbindning dagtid som vid varje tillfälle utfördes mellan kl. 12:00-15:00. Intervallen är 00:00-12:00 samt 12:00-24:00. Orange linje för Sveavägen 59 och blå linje för Sveavägen 83 i Figur 36.
- Data över vägfukt kan till stor del förklara variationer i PM<sub>10</sub>-halterna, mer fukt ger lägre partikelhalter. Vägfukten visas som timmedelvärden i Figur 36 (blå staplar). Staplarna visar endast mer eller mindre fuktig körbana och saknar därmed enhet.
- Dammbindning nattetid utfördes vid totalt 8 tillfällen i mars 2017, och visas i Figur 36 som grå staplar.
- Under veckosluten utfördes ingen dammbindning, vare sig nattetid eller dagtid. Trafikflödet är också lägre under helgerna vilket påverkar partikelhalterna. Veckosluten markeras med röda staplar i Figur 36.



Figur 36. Gula staplar visar när dammbindning dagtid utförts på Sveavägen 59, gråa staplar visar när dammbindning nattetid utfördes vid både Sveavägen 59 och 83, blåa staplar indikerar när vägbanan var fuktig eller ej (enligt Vaisala fuktmätare vid Sveavägen 59). Blå linje visar PM<sub>10</sub>-halten i 12 timmars intervall 00:00-12:00 samt 12:00-24:00 för Sveavägen 59, orange linje visar samma för Sveavägen 83. De ljusröda områdena indikerar veckoslut.

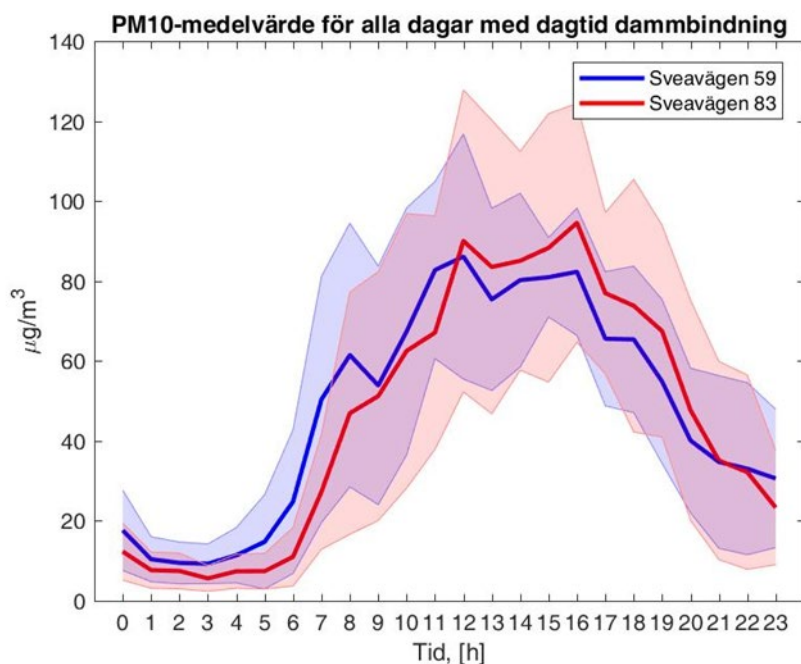
Sveavägen 59 har i allmänhet högre halter av PM<sub>10</sub> än Sveavägen 83, vilket bland annat framgår i Figur 26. Vid fyra av fem tillfällen med dammbindning dagtid var, vilket framgår av Figur 36, halterna av PM<sub>10</sub> för Sveavägen 59 lägre än för Sveavägen 83, vilket tyder på viss effekt av dammbindning dagtid.

För att beräkna effekten av dammbindning dagtid, beräknades medelvärdet av skillnaden mellan Sveavägen 59 och 83 för alla dagar *utan* dammbindning dagtid, och medelvärdet av skillnaden mellan Sveavägen 59 och 83 för alla dagar *med* dammbindning dagtid. Eftersom dammbindning endast påverkar partikelhalter efter utläggning utvärderas effekten av dammbindningen på perioden 12:00-24:00.

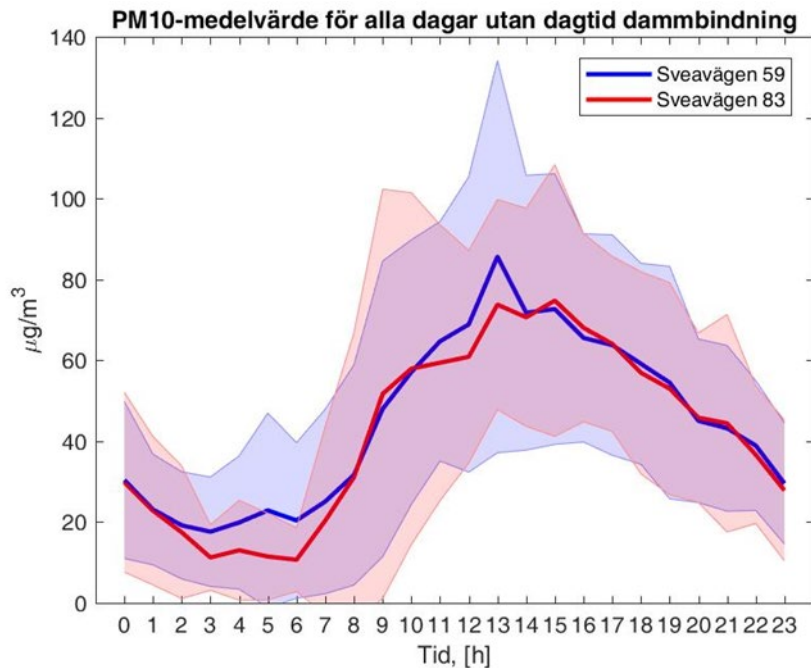
För torra dagar utan någon dammbindning och för tidsperioden 12:00-24:00 hade Sveavägen 59 cirka  $0,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$  *högre*  $\text{PM}_{10}$ -halt än Sveavägen 83. För de fem tillfällen då dammbindning dagtid utförts hade Sveavägen 59  $5,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$  *lägre*  $\text{PM}_{10}$ -halt än Sveavägen 83, sammanlagt ger det en sänkning av halvdygnsmedelvärdet med  $6,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Utslaget på hela dygnet är det en sänkning av dygnsmedelvärdet med  $3,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$  eller 6,3 %. Effekten anses som ringa eftersom antalet dagar då gränsvärdet för dygnsmedelvärdet överskrids inte påverkades av den dammbindning som genomfördes under dagtid.

Ett annat sätt att beräkna effekten av dammbindning dagtid är att beräkna skillnaden i halvdygnsmedelvärde mellan dagar med dammbindning dagtid och dagar utan dammbindning dagtid. Den genomsnittliga dygnsvariationen med och utan dammbindning dagtid visas i Figur 37 respektive Figur 38. I Figur 37 kan man se en viss effekt av dammbindning dagtid, då utläggning sker mitt på dagen kan effekten av dammbindningen ses på eftermiddagen genom att Sveavägen 59 har lägre  $\text{PM}_{10}$ -halt än Sveavägen 83. I Figur 38 visas dygnsvariationen av  $\text{PM}_{10}$ -halter då ingen dammbindning dagtid utförts samt att endast torra vägbanor råder. Halterna för Sveavägen 59 och 83 är då tämligen lika. Figurerna visar även att standardavvikelsen varierar kraftigt under dygnet, variationerna beror på ett stort antal parametrar, så som solstrålning, luftfuktighet, tillgängligt torrt vägdamm, trafikflöde. Under de fem nätterna mot dagar med dammbindning dagtid var luftfuktigheten nära 100 %, vilket förklarar dels de låga halterna under natten dels den mindre standardavvikelsen.

Med denna beräkningsmetod fås liknanden resultat som föregående uträkning, nämligen en sänkning av halvdygnsmedelvärdet med  $6,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$  vilket är lika med en sänkning av dygnsmedelvärdet med  $3,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  som motsvarar en sänkning med 6,1 %.



Figur 37. Dygnsvariationen av  $\text{PM}_{10}$  som ett medelvärde av alla dagar *med* dammbindning dagtid (totalt 5 dagar) på Sveavägen 59 jämförd med samma dagar på Sveavägen 83 (utan dammbindning dagtid). De skuggade fälten visar en standardavvikelse från medelvärdet.

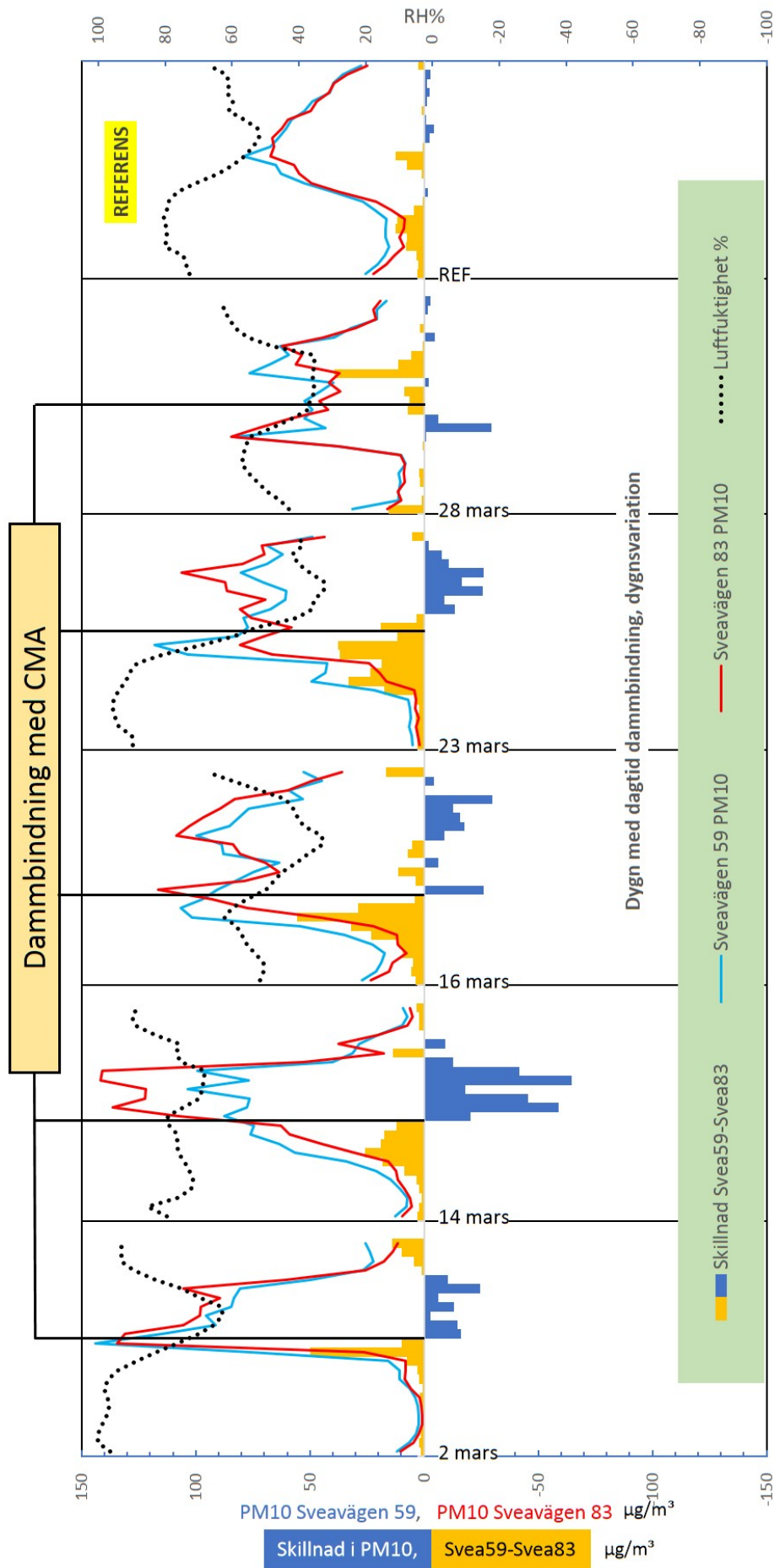


Figur 38. Dygnsvariationen av PM<sub>10</sub> som ett medelvärde av alla dagar **utan** dagtid dammbindning och torr körbana (totalt 19 dagar) på Sveavägen 59 jämförd med samma dagar på Sveavägen 83. De skuggade fälten visar en standardavvikelse från medelvärdet.

Den omedelbara effekten av varje dammbindningstillfälle framgår av Figur 39 där haltskillnaden (Sveavägen 59 minus Sveavägen 83) visas timme för timme endast för dygn med utförd dammbindning dagtid. Orange staplar visar att Sveavägen 59 har högre PM<sub>10</sub>-halt än Sveavägen 83 och blåa staplar att Sveavägen 59 har lägre halt än Sveavägen 83. Referensen i figuren visar medelvärdet av skillnaden mellan Sveavägen 59 och Sveavägen 83 för alla torra dagar utan dammbindning dagtid. Skillnaderna i referensen är betydligt mindre för medelvärdet eftersom mycket mer data utgör medelvärdet. Timmedelvärden av PM<sub>10</sub> för både Sveavägen 59 och 83 representeras av röd respektive blå linje i Figur 39. Luftfuktigheten har inkluderats för att förstå dess påverkan på dammbindningens effekt (svart prickad linje).

Relativ fuktighet visar sig ha stor inverkan på den dammbindande effekten av CMA. Är fuktigheten för låg kan inte CMA bevara fukt och binda partiklar till vägbanan. Istället torkar den upp och kristalliseras vilket i extremfall kan bidra till att höja halterna av PM<sub>10</sub> (Denby m. fl., 2016). Gränsen för när CMA tappar sin hygroskopiska (fuktbindande) funktion beror på koncentration av CMA, temperaturen och luftfuktigheten, t.ex. vid 0 °C går gränsen för förlorad hygroskopisk effekt vid runt 50 % relativ fuktighet. Detta kan jämföras med natriumklorid (NaCl) som tappar sin hygroskopiska effekt redan vid 75 % relativ fuktighet vid 0 °C (Denby m. fl., 2016). I Figur 39 den 14 mars syns ett tydligt exempel på att den dammbindande effekten är större vid högre luftfuktighet, den 14 mars låg fuktigheten aldrig under 70 %, och resulterade i att Sveavägen 59 hade betydligt lägre halt än Sveavägen 83, medan den 16 mars var luftfuktigheten låg hela dagen och skillnaden i PM<sub>10</sub>-halt mellan Sveavägen 83 och Sveavägen 59 var betydligt mindre.





Figur 39. Skillnaden i  $\text{PM}_{10}$  mellan Sveavägen 59 och Sveavägen 83 dagar med dammbindning dagtid. Referensen visar differensen mellan Sveavägen 59 och Sveavägen 83 för alla torra dagar utan dagtid dammbindning. De svarta markeringarna som sammanbinds med ljusgul box visar när dagtid dammbindning utförts. De orange staplarna indikerar timmar då Sveavägen 59 har högre  $\text{PM}_{10}$ -halt än Sveavägen 83, blå staplar visar timmar då Sveavägen 59 har lägre  $\text{PM}_{10}$ -halt än Sveavägen 83. Blå linje är  $\text{PM}_{10}$ -halt för Sveavägen 83, röd linje är  $\text{PM}_{10}$ -halt för Sveavägen 59. Svart prickad linje visar luftfuktigheten i procent.

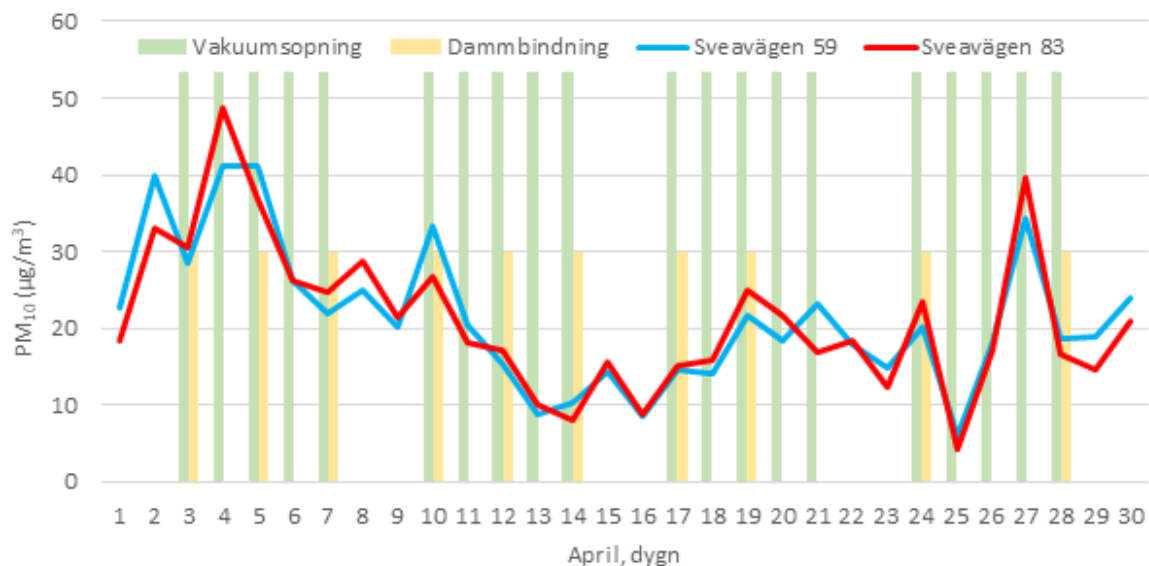
En slutsats från försöket är att dammbindning har olika stark effekt beroende på luftfuktigheten. Vid hög luftfuktighet har dammbindning större effekt, vid låg luftfuktighet kan dammbindning i vissa fall bidra till ökade halter av PM<sub>10</sub> i form av salt.

Vid analys av partikelhalter mellan närliggande mätstationer i gatumiljö är medelvärden över flera timmar att föredra, korrelationen blir bättre och variansen mindre eftersom variationer som lätt uppstår mellan stationerna jämnas ut med tiden, vilket ger en bättre bild över större likheter och olikheter mellan stationerna.

### 5.4.3. Utvärdering av kvartersvis dammbindning och vakuumsugning

Under april testades effekten av att utföra kvartersvis dammbindning och vakuumsugning kring mätstationen på Sveavägen 59 men inte runt Sveavägen 83 där man endast vakuumsugade samt lade dammbindning på Sveavägen förbi båda stationerna. Detta för att utröna om utökade åtgärder på anslutande gator är ett bra sätt att sänka PM<sub>10</sub>-halterna, som tros påverkas av damm även från dessa. Tidigare årens utvärderingar har visat på försiktigt positiva effekter av motsvarande åtgärd (Gustafsson m. fl., 2017). Vakuumsugning utfördes på hela Sveavägen samt kvarter runt Sveavägen 59 alla vardagskvällar och dammbindande CMA lades ut nätter till måndag, onsdag och fredag. Vid nederbörd lades inte CMA ut. Totalt utfördes städning och dammbindning kvartersvis under 20 nätter, dock inte varje gata i kvarteren varje kväll utan efter ett rullande schema. Utav de 20 nätterna med kvartersvis vakuumsugning utfördes totalt 10 nätter med kvartersvis dammbindning på Sveavägen 59.

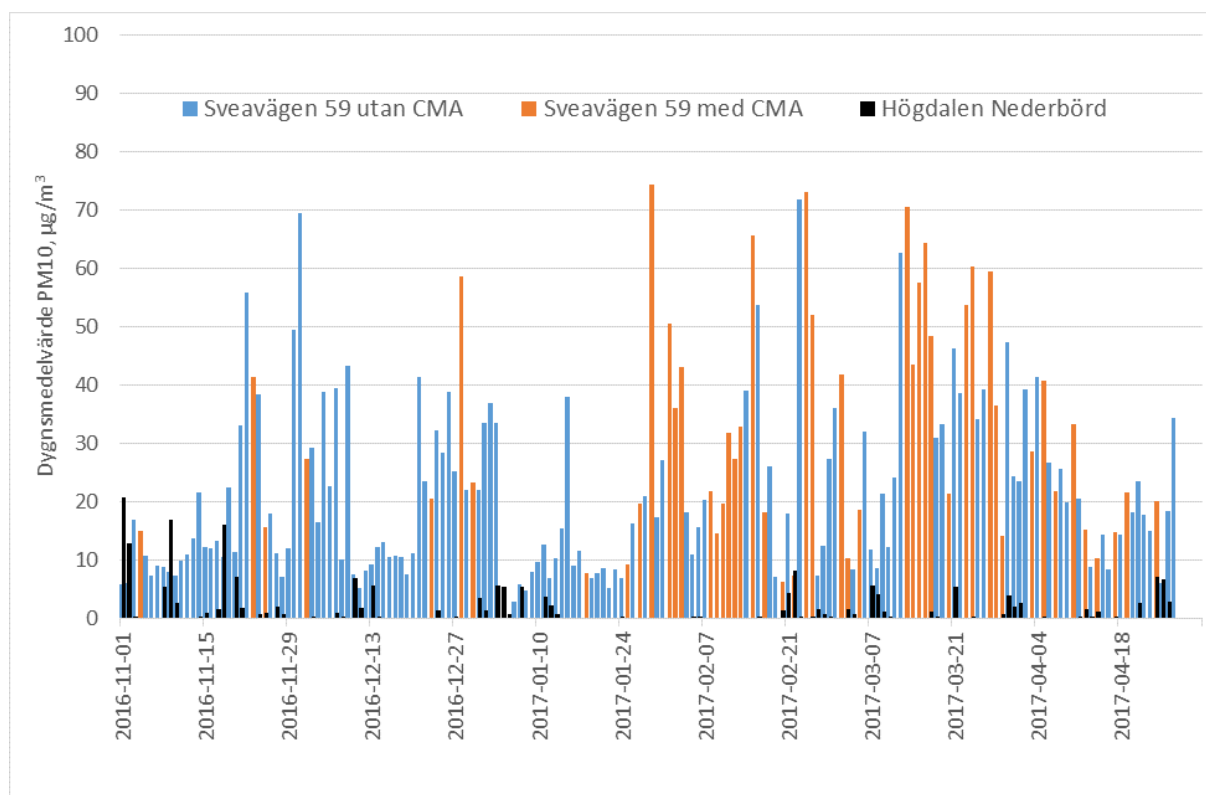
Alla dagar med kvartersvis dammbindning och städning visas som staplar i Figur 40 tillsammans med dygnsmedelvärden av PM<sub>10</sub> för Sveavägen 59 och 83. Halterna för Sveavägen 59 och 83 följer varandra väl. Det syns ingen tydlig effekt på halterna av åtgärderna. Halterna av PM<sub>10</sub> sjunker under första halvan av april och inget dygn överskred gränsvärdet för PM<sub>10</sub> därefter. Halterna kan ha sjunkit på grund av åtgärdernas (kvartersvis städning och dammbindning) kumulativa effekt, eller för att mycket utav det tillgängliga dammet på vägbanan har virvlat upp och dammförrådet sinat tillsammans med att dubbdäcksandelen sjunker i april så att direktemissionen av PM<sub>10</sub> minskar. Utvärdering under en dammigare månad skulle sannolikt kunna ge en tydligare bild av en eventuell effekt.



Figur 40. Kvartersvisa åtgärder i form av vakuumsugning och dammbindning på Sveavägen 59. Dygnsmedelvärden av PM<sub>10</sub>-halter för Sveavägen 59 (Röd linje) och Sveavägen 83 (grön linje). Alla dagar med åtgärder visas som staplar, vakuumsugning (rosa staplar), dammbindning (blå staplar).

#### 5.4.4. Optimering av dammbindningen

Dammbindningen har utförts i stor skala under den gångna säsongen. Samtliga mätdata från Sveavägen 59 visas i Figur 41. Data är uppdelade i dygn med CMA samt dygn utan CMA. Dessutom finns mängden nederbörd under varje dygn med i figuren. Den maximala delen av PM<sub>10</sub> som dammbindningen kan åtgärda är det som finns över den regionala bakgrunden. Dessutom finns mängden nederbörd under varje dygn med i figurerna samt vägytans fuktighet. Under slutet av januari och början av februari var bakgrundshalterna förhöjda, vilket gjorde att möjligheten att få stor effekt av dammbindningen var lite mindre. Till exempel var bakgrundshalten 29 januari nästan 50 µg/m<sup>3</sup>. I stort sett så har behandlingen med CMA lyckats med att pricka in dygnen med de högsta PM<sub>10</sub>-halterna under februari till maj, vilket till stor del har varit syftet. Men under den gångna säsongen gjordes dammbindning på fasta veckodagar (natt mot måndag, onsdag och fredag) och inte alla dagar vid behov. Därför finns det några dagar med höga halter som inte är behandlade under februari–april. Men i samtliga dessa fall är dagen före eller dagen efter behandlad med CMA. Istället är det främst under hösten (november–december) som det finns några dygn med höga halter som inte dammbundits. Detta skiljer sig från föregående säsong (2015/2016) då halterna var lägre under höstperioden. För 2015 drogs slutsatsen att det hade kunnat göras färre CMA-utlägg under november-december medan under 2016 hade fler CMA-utlägg behövts för att hålla ner halterna och till och med för att undvika dagar med halter över miljö kvalitetsnormen. I mitten av januari gjordes ett par dammbindningstillfällen när såväl halterna var låga samt att vägytan var fuktigt. För att uppfylla miljö kvalitetsnormen hade dammbindning inte behövts dessa dagar. Detta visar på en del i problematiken med att i förväg planera in hur åtgärderna ska utföras vilket oftast är nödvändigt för den praktiska planeringen av entreprenörernas arbete.

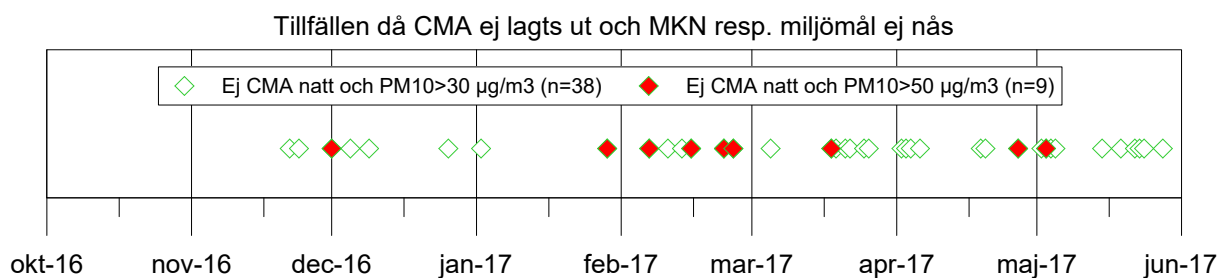


Figur 41. Uppmätta dygnsnedelhalter av PM<sub>10</sub> på Sveavägen 59 uppdelat i dygn med och utan CMA-behandling. Både nattetid och dagtid finns med i dammbindningen.

För att identifiera och kvantifiera de ovan diskuterade situationerna, då CMA eventuellt borde lagts ut för att förhindra höga PM<sub>10</sub>-halter eller då CMA lagts ut även då MKN inte riskerar att överskridas, provades att, utifrån villkor i data, analysera dammbindningsåtgärder, och PM<sub>10</sub>-data för Hornsgatan.

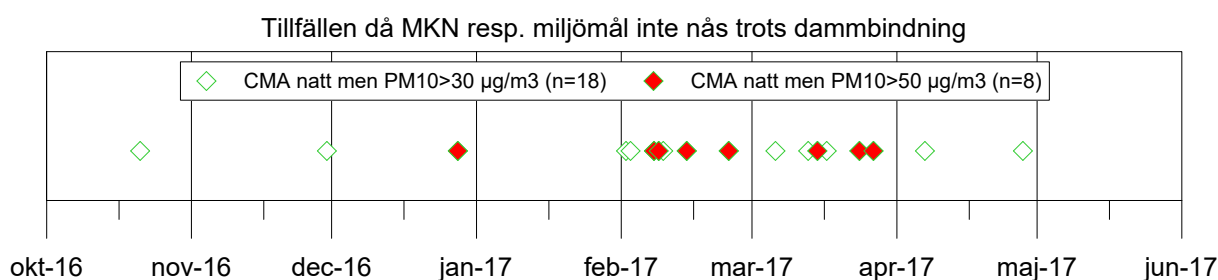
Då CMA-behandling enligt kontraktet utförs natt mot måndag, onsdag och fredag, föregås tisdagar och torsdagar normalt inte av dammbindning. I mars testades dock även dammbindning dagtid vid behov, vilket utfördes vid 5 tillfällen (se ovan). Observera att nedanstående analyser och de antal dagar som faller ut inte tar hänsyn till flerdygneffekter av CMA, meteorologi eller bakgrundshalt och bör endast betraktas som en grov uppskattning och visar på ett sätt att kategorisera åtgärderna som kan vara användbart i utvecklings- och uppföljningsarbetet. I det fortsatta arbetet kan angreppssättet förfinas med hjälp av till exempel NORTRIP-modellen.

I Figur 42 identifieras tillfällena då gränsvärdet och målvärdet PM<sub>10</sub> överskridits, men ingen CMA lagts ut. Detta skedde vid 9 tillfällena, att jämföra med 11 föregående säsong. Den procentuella andelen av totala antalet tillfällena är i princip densamma (17 respektive 18 %). Till skillnad från föregående säsong då samtliga tillfällena var på våren, var tillfällena mer utspridda under säsongen 2016/2017. Även tillfällena med målöverskridanden blev färre; 38 jämfört med föregående säsong 46 tillfällena.



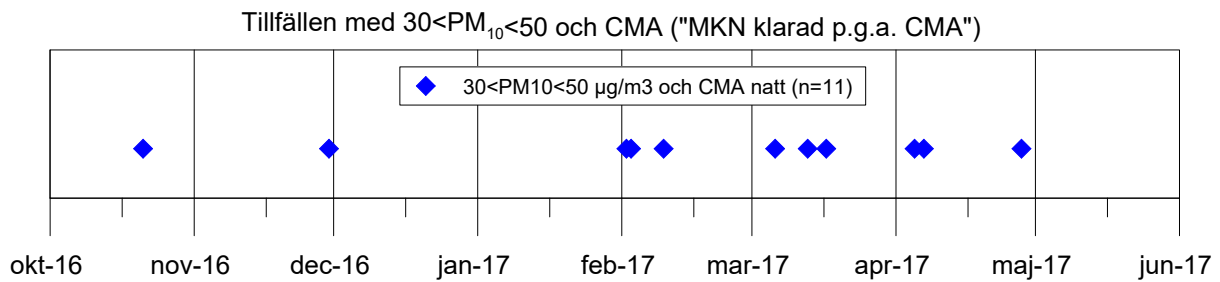
Figur 42. Dygn då CMA ej lagts ut och gränsvärdet för miljö kvalitetsnormen respektive miljömålet överskridits på Hornsgatan.

CMA har lagts ut 51 gånger på Hornsgatan under säsongen. Trots detta finns tillfällena då CMA inte varit tillräckligt för att dämpa halterna till nivåer under gränsvärdena. Figur 43 visar dygn då gränsvärdena för MKN och miljömålet överskridits trots att CMA spridits natten före. Dessa dygn inträffar, som förväntat, främst under våren då halterna är höga. Vid åtta tillfällena överskrids MKN och vid 18 tillfällena målvärdet. Föregående säsong var tillfällena med PM<sub>10</sub> över MKN trots CMA-utläggning sex till antalet, men procentuellt bara 9 % jämfört med innevarande säsong 16 % (Tabell 6).



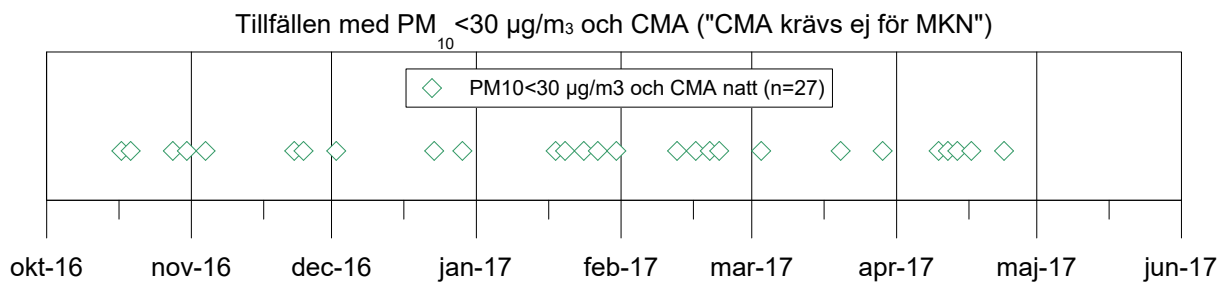
Figur 43. Dygn då gränsvärdena för MKN och miljömålet överskridits trots föregående CMA-behandling på Hornsgatan.

Observationen tidigare att CMA lagts ut vid ett antal tillfällen då halterna ändå varit låga dagen efter kan undersökas genom att anta att CMA som bäst har en fyrtio procentig reducerande effekt (Gustafsson m. fl., 2010) på dygnsmedelvärdet för PM<sub>10</sub>, vilket medför att om PM<sub>10</sub>-halterna varit högre än eller lika med 35 och lägre än 50 µg/m<sup>3</sup> och CMA lagts ut, har normen nåtts på grund av CMA-utläggningen. Under säsongen har 11 sådana tillfällen identifierats (Figur 44). Detta är färre än föregående säsong, både i antal och i andel (Tabell 6).



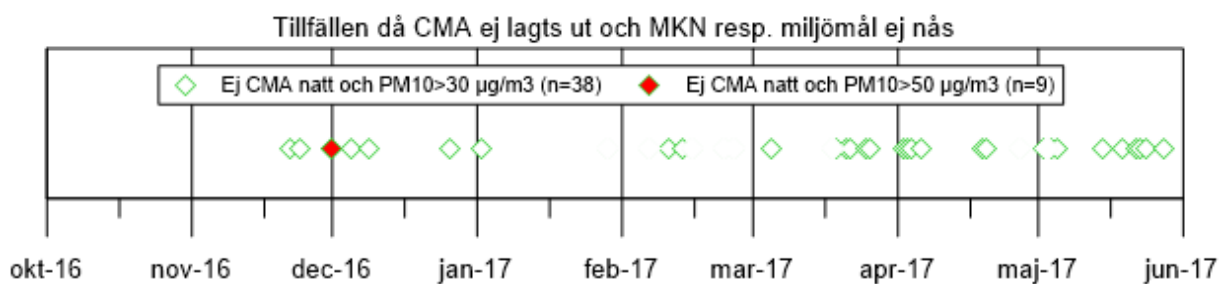
Figur 44. Dygn då gränsvärdet för MKN klarats på grund av CMA-behandling på Hornsgatan.

Samma resonemang medför även att om halterna är lägre än 60 % av MKN:s gränsvärde  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , det vill säga  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$  och CMA ändå lagts ut natten före, bör denna CMA-utläggning ej krävs för att klara gränsvärdet. Analysen i Figur 45 visar att 27 sådana tillfällen inträffat under säsongen, vilket är något högre än förra säsongens 24 tillfällen, men en högre andel av totala antalet utläggningar (53 % jämfört med 37 %, se Tabell 6). Till skillnad från föregående säsong, då dessa tillfällen främst inträffade under november och december, är de denna säsong mer utspridda. Det är viktigt att påpeka att även reduktioner vid låga halter är positiva ur hälsosynpunkt. Utläggningarna behövs dock inte för uppfyllandet av gränsvärdet.



Figur 45. Dygn med  $PM_{10}$ -halter lägre än  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (60 % av MKN:s gränsvärde) då CMA lagts ut.

Om man beaktar det omvända förhållandet att de tillfällen med överskridanden i Figur 42, som skulle kunnat undvikas med CMA-utläggning (med antagen effekt på 40 % reduktion av  $PM_{10}$ ), framgår att 8 av 9 tillfällen skulle kunnat undvikas (samtliga på våren, se Figur 46 och Tabell 6).



Figur 46. Dygn med överskridanden av gräns- och målvärdet då CMA-utläggning inte gjorts.

Tabell 6. Antal tillfällen och % av totala antalet tillfällen för analyserna av dammbindning med CMA i Figur 42 till Figur 45.

	2015/2016	2016/2017
<b>Antal dygn</b>		
Totalt antal CMA-utläggningar	65	51
MKN klaras p.g.a. CMA	19	11
Missad CMA	11	9
MKN skulle klarats om CMA lagts ut	9	8
CMA räcker inte	6	8
CMA krävs ej för MKN	24	27
<b>Andel av CMA-utläggningarna (%)</b>		
MKN klaras p.g.a. CMA	29 %	22 %
CMA räcker inte	9 %	16 %
CMA krävs ej för MKN	37 %	53 %

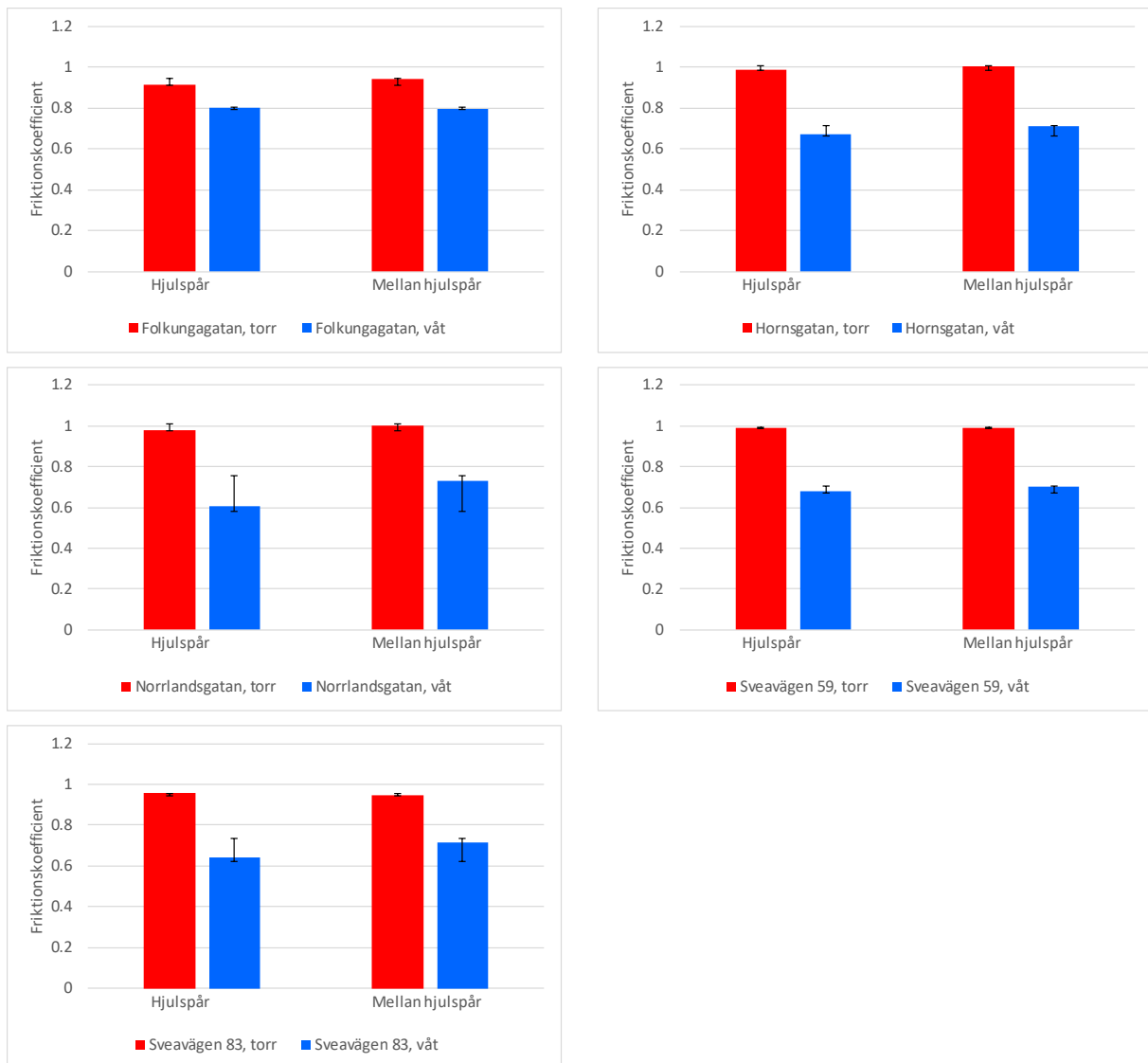
## 5.5. Friktion

Huvudsyftet med uppföljningen av friktion var att kontrollera om den förhållandevis omfattande CMA-behandlingen av försöksgatorna påverkade friktionen negativt. Ackumulering av CMA kan eventuellt medföra minskad friktion vid torr vägbana, vilket tidigare studier indikerat. Eventuella effekter på friktionen av lägre dubbdäcksandel på Hornsgatan är också av intresse.

Tanken med friktionsmätningarna var att följa upp skillnaden mellan torr och våt vägbana i relation till CMA-användning. Friktionsmätning genomfördes vid fyra mättillfällen, varav endast våtfriktion mättes 20 december 2016 då vägbanan var fuktig vid mättillfället. Samtliga data finns i Tabell 7. Figur 47 visar torr- och våtfriktion på mätgatorna 20 oktober 2016. Våtfriktionen är tydligt lägre än torrfriktionen i denna mätning, men inte vid något tillfälle under 0,5, som är det gränsvärde som ska överskridas enligt Trafikverkets krav (Vägverket, 2005).

Tabell 7. Torr- och våtfriktion på gatorna i och mellan hjulspår. Färgskalan visar från hög friktion (grönt) till låg friktion (rött). Observera att endast värden under 0,5 är under Trafikverkets krav.

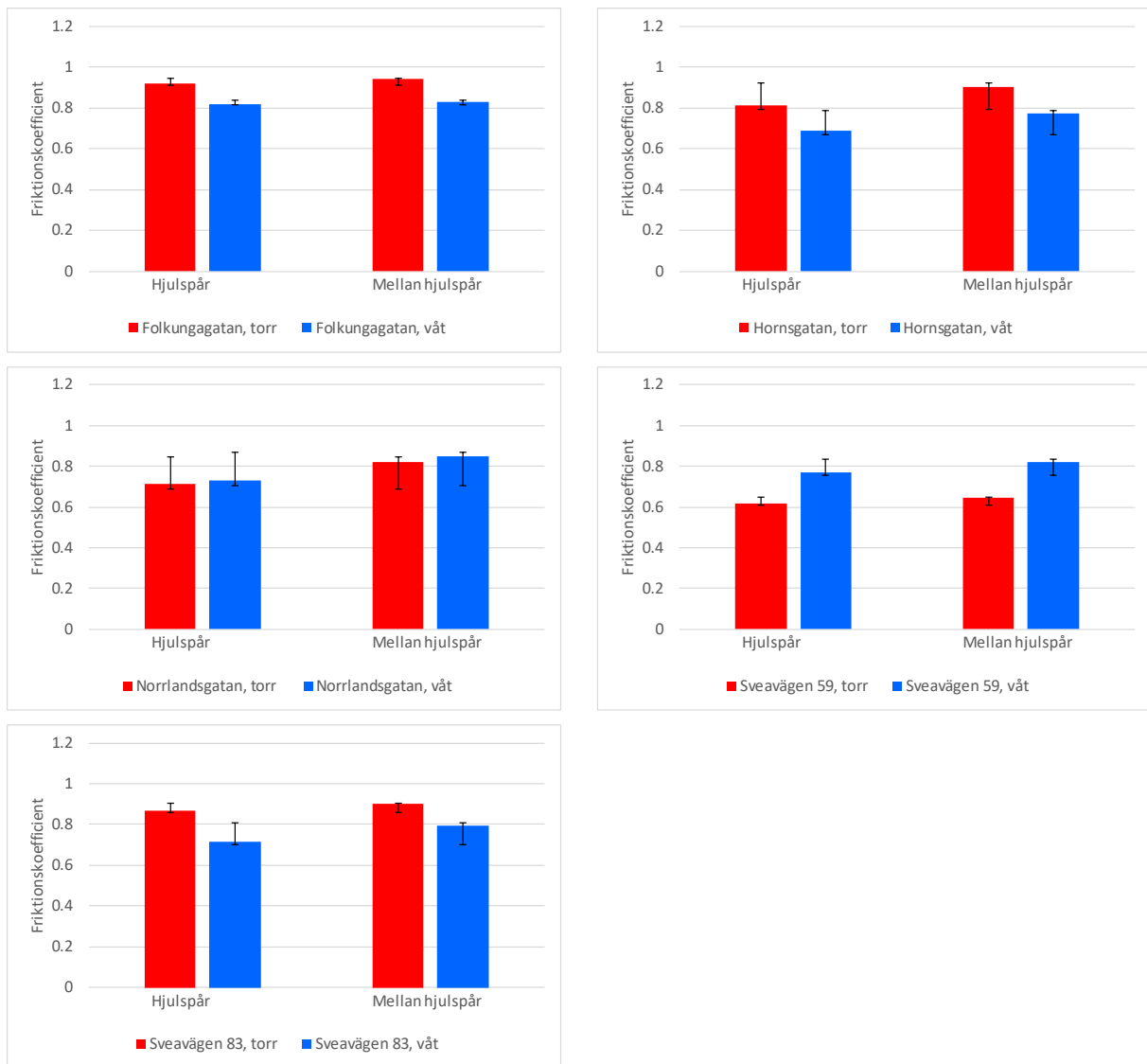
	Yta	Torr/Våt	2016-10-20	2016-11-23	2016-12-20	2017-02-01
<i>Fleminggatan</i>	Hjulspår	Torr	0.98	0.81		0.78
	Hjulspår	Våt	0.67	0.75	0.70	0.58
	Mellan hjulspår	Torr	0.98	0.89		0.88
	Mellan hjulspår	Våt	0.76	0.80	0.81	0.75
<i>Folkungagatan</i>	Hjulspår	Torr	0.92	0.92		0.91
	Hjulspår	Våt	0.80	0.82	0.80	0.67
	Mellan hjulspår	Torr	0.94	0.94		0.96
	Mellan hjulspår	Våt	0.80	0.83	0.80	0.63
<i>Hornsgatan</i>	Hjulspår	Torr	0.99	0.81		0.57
	Hjulspår	Våt	0.67	0.69	0.75	0.59
	Mellan hjulspår	Torr	1.01	0.90		0.73
	Mellan hjulspår	Våt	0.71	0.77	0.87	0.76
<i>Norrlandsgatan</i>	Hjulspår	Torr	0.98	0.71		0.44
	Hjulspår	Våt	0.60	0.73	0.74	0.49
	Mellan hjulspår	Torr	1.00	0.82		0.51
	Mellan hjulspår	Våt	0.73	0.85	0.80	0.57
<i>Sveavägen 59</i>	Hjulspår	Torr	0.99	0.62		0.88
	Hjulspår	Våt	0.68	0.77	0.68	0.49
	Mellan hjulspår	Torr	0.99	0.64		0.98
	Mellan hjulspår	Våt	0.70	0.82	0.79	0.56
<i>Sveavägen 83</i>	Hjulspår	Torr	0.96	0.87		0.78
	Hjulspår	Våt	0.64	0.72	0.80	0.53
	Mellan hjulspår	Torr	0.95	0.90		0.86
	Mellan hjulspår	Våt	0.72	0.79	0.86	0.66



Figur 47. Torr- och våtfriktion uppmätt med PFT 2016-10-20.

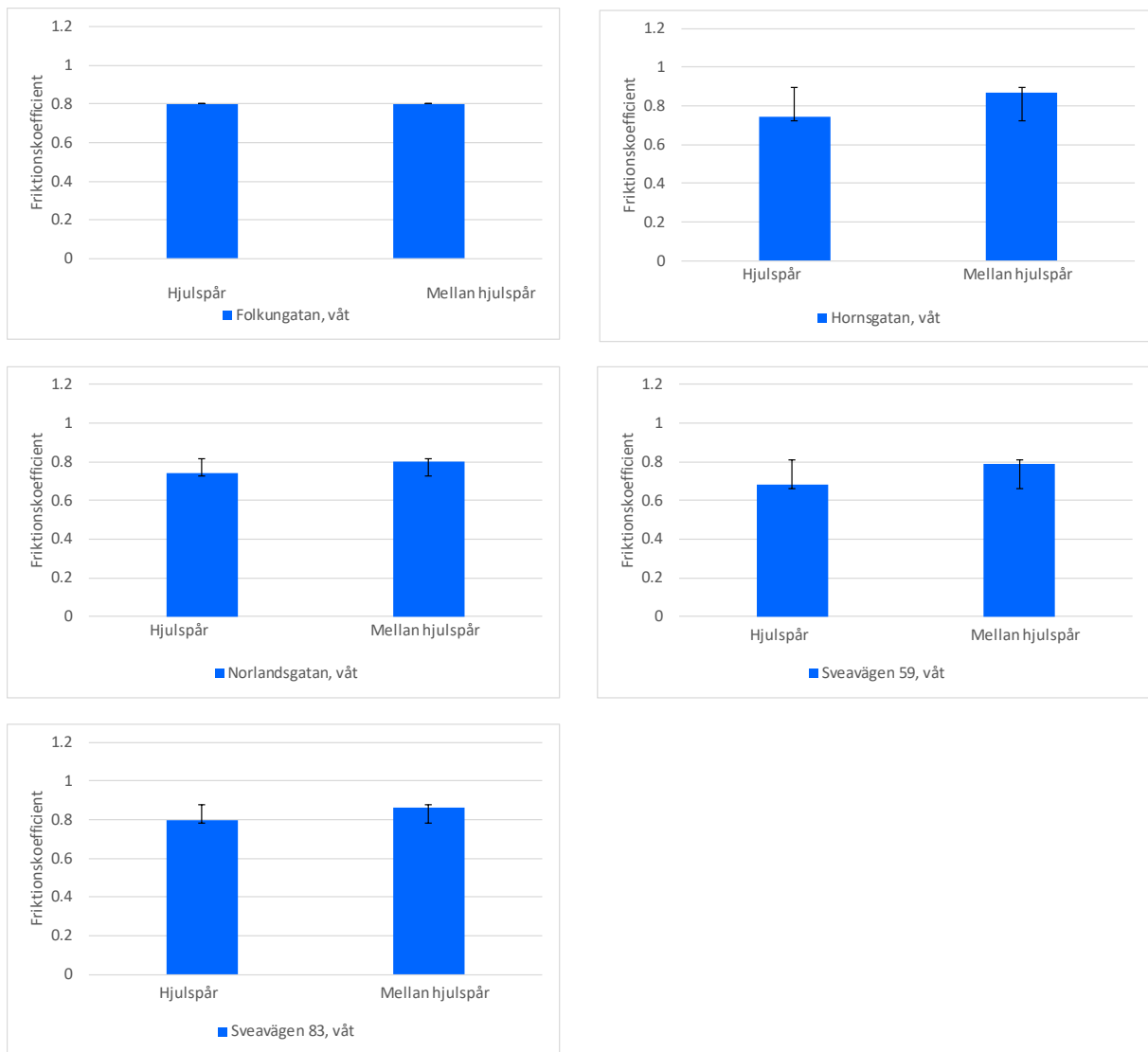
Vid mättillfället 2016-11-23 (Figur 48) uppmättes torr- och våtfriktion. Skillnaden mellan våt- och torrfriktion var då betydligt mindre än i oktober, vilket beror på såväl lägre torrfriktion som högre våtfriktion. Den lägre torrfriktionen är tydligast på Sveavägen 59, där den till och med är lägre än våtfriktionen, vilket kan vara en effekt av ackumulerad CMA och damm. Vid tillfällen tidigare år (Gustafsson m. fl., 2015) har en typ av ”torrhalka” noterats då mycket CMA och damm ansamlats under en längre period utan att sköljas bort. Värdena är dock inte under 0,5. Att våtfriktionen är högre än i oktober kan vara en effekt av dubbdäckens uppruggning av vägytan i början av vintersäsongen.





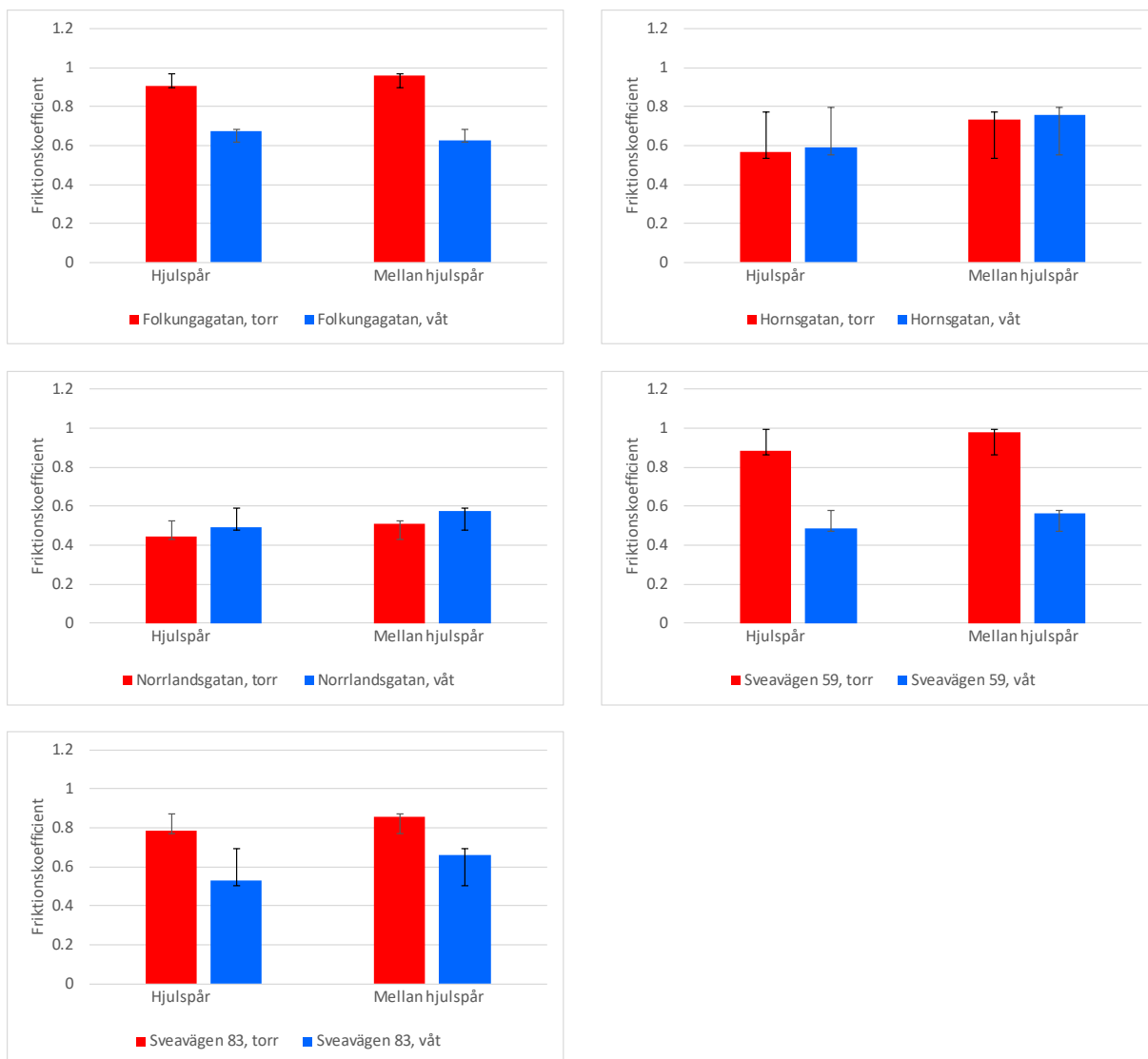
Figur 48. Torr- och våtfriktion uppmätt med PFT 2016-11-23.

Vid mätillfället 2016-12-20 (Figur 49) uppmättes endast våtfriktion och samtliga ytor hade en friktion på cirka 0,7–0,8.



Figur 49. Våtfriktion uppmätt med PFT 2016-12-20.

Vid mättillfället 1 februari 2017 (Figur 50) uppmättes torr- och våtfriktion. På Norrandsgatan var friktionen 0,4–0,6 och våtfriktionen var något högre än torrfraktionen. Även på Hornsgatan är våtfriktionen något högre än torrfraktionen vid detta tillfälle. Friktionen understiger inte 0,5. I hjulspår på Sveavägen 59 är våtfriktionen cirka 0,5. På övriga mätgator låg friktionsvärdet väl över 0,5. Dock var skillnaden mellan torr- och våtfriktion på gatorna, utom på Norrandsgatan och Hornsgatan, i samma storleksordning som i oktober.



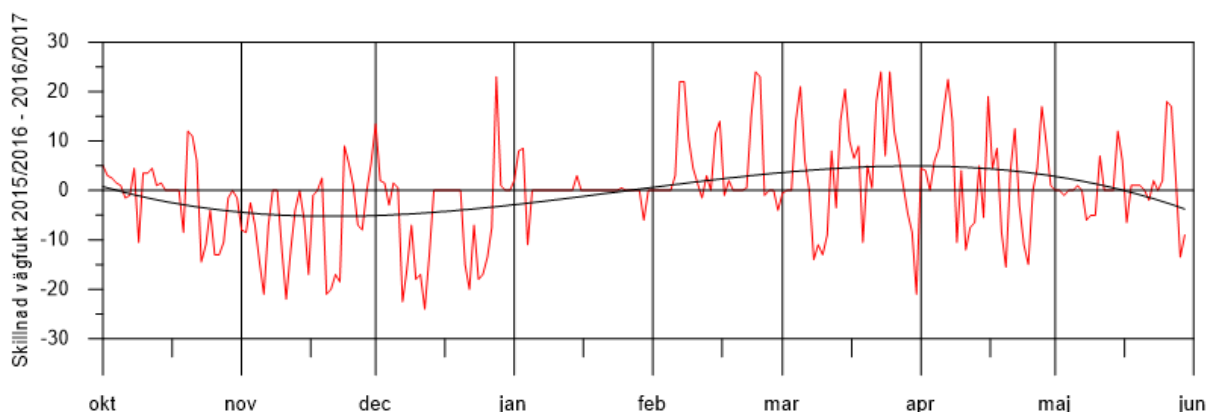
Figur 50. Torr- och våtfriktion uppmätt med PFT 2017-02-01.

## 6. Diskussion

PM<sub>10</sub>-halterna var under säsongen 2016/2017 på ungefär samma nivå som föregående säsong och gränsvärdet för PM<sub>10</sub> klaras fortsatt med god marginal, vilket tyder på att de åtgärder som Stockholms stad vidtagit ger fortsatt resultat. Folkungagatan sticker ut bland mätningarna genom låga halter. Folkungagatan har genomgått en ombyggnation och en trafikomläggning med större andel bussar bland annat. Det är troligt att de sänkta PM<sub>10</sub>-halterna beror på att en ny asfalt har lagts på Folkungagatan. Tidigare studier har visat att PM<sub>10</sub>-emissionerna minskar när en beläggning är nylagd (Nordström m. fl., 2010). En separat analys av effekten av beläggningen och trafikomläggningen på luftföroreningshalterna på Folkungagatan finns i Elmgren (2018).

Förutom de, i den här rapporten, behandlade åtgärderna kopplade till gatudriften, bidrar dubbdäcksförbudet (och medföljande trafikminskning), trängselskatter och hastighetssänkningar till resultatet.

Meteorologin påverkar också PM<sub>10</sub>-halterna påtagligt. Under säsongen 2016/2017 bedömdes vädret som förhållandevis gynnsamt. Milt, med lite snö och torrare körbanor än tidigare år i februari och mars. Vägytans fuktighet styr PM<sub>10</sub>-halterna och påverkar även dammängderna på vägytan. I jämförelse med säsongen 2015/2016 var hösten och vintern fram till och med december fuktigare 2016/2017, medan våren, från februari var något torrare (Figur 51). Tillväxten av dammförrådet har, jämfört med tidigare säsonger generellt varit snabb under hösten (Figur 14 och Figur 15) vilket alltså kan vara ett resultat av den fuktiga hösten och vintern.



Figur 51. Skillnaden i vägytans fuktighet mellan säsongerna 2015/2016 och 2016/2017. Svart linje är en funktion pålagd för att tydliggöra den storskaliga variationen.

Sammantaget har de meteorologiska förhållandena medfört ett minskat behov av halkbekämpning, låg ackumulering av damm i vägmiljön och större möjligheter för bildat damm att ventileras bort ur gaturummet. Den ofta förekommande PM<sub>10</sub>-toppen under mars och april har därmed kunnat begränsas tack vare så väl meteorologi som åtgärder.

På Sveavägen och Norrlandsgatan fortsätter dammängderna på vägytan att ha en ökande tendens sedan säsongen 2014/2015, medan Hornsgatan ligger på ungefär samma nivå. Den gata som sticker ut är Folkungagatan, där dammförrådet ökat kraftigt denna säsong jämfört med tidigare säsonger. Från att tidigare haft lika eller något större mängder damm i hjulspår än mellan, är nu tendensen att ha mer damm mellan hjulspår än i, vilket är mer i överensstämmelse med övriga gators mönster. Detta bekräftar tidigare teorier om texturens betydelse för dammförrådet då den gamla beläggningen på Folkungagatan hade betydligt högre textur i hjulspåret jämfört med mellan hjulspår. Den nuvarande texturen är inte uppmätt än, men att döma av dammängderna är texturen hög och kan lagra mycket damm. Om vägytans textur kan antas fungera som en sänka (fälla) för damm kan möjligen detta bidra till de lägre PM<sub>10</sub>-halterna på gatan, förutom att den slitstarka porfyren bör ge lägre direkt bidrag från slitage.

Den ökande tendensen med vägdamm på flera gator skulle möjligen kunna härledas till att vakuumsugen gått med betydligt lägre frekvens än säsongen 2015/2016. Men detta ter sig osannolikt, eftersom dammängderna steg även förra säsongen då vakuumsugen användes över 120 dagar, jämfört med årets 40 tillfällen och 55 tillfällen säsongen 2014/2015. Även antalet CMA-utlägg har minskat något senaste säsongen jämfört med 2015/2016, varför mer dammbindning inte kan vara en förklaring.

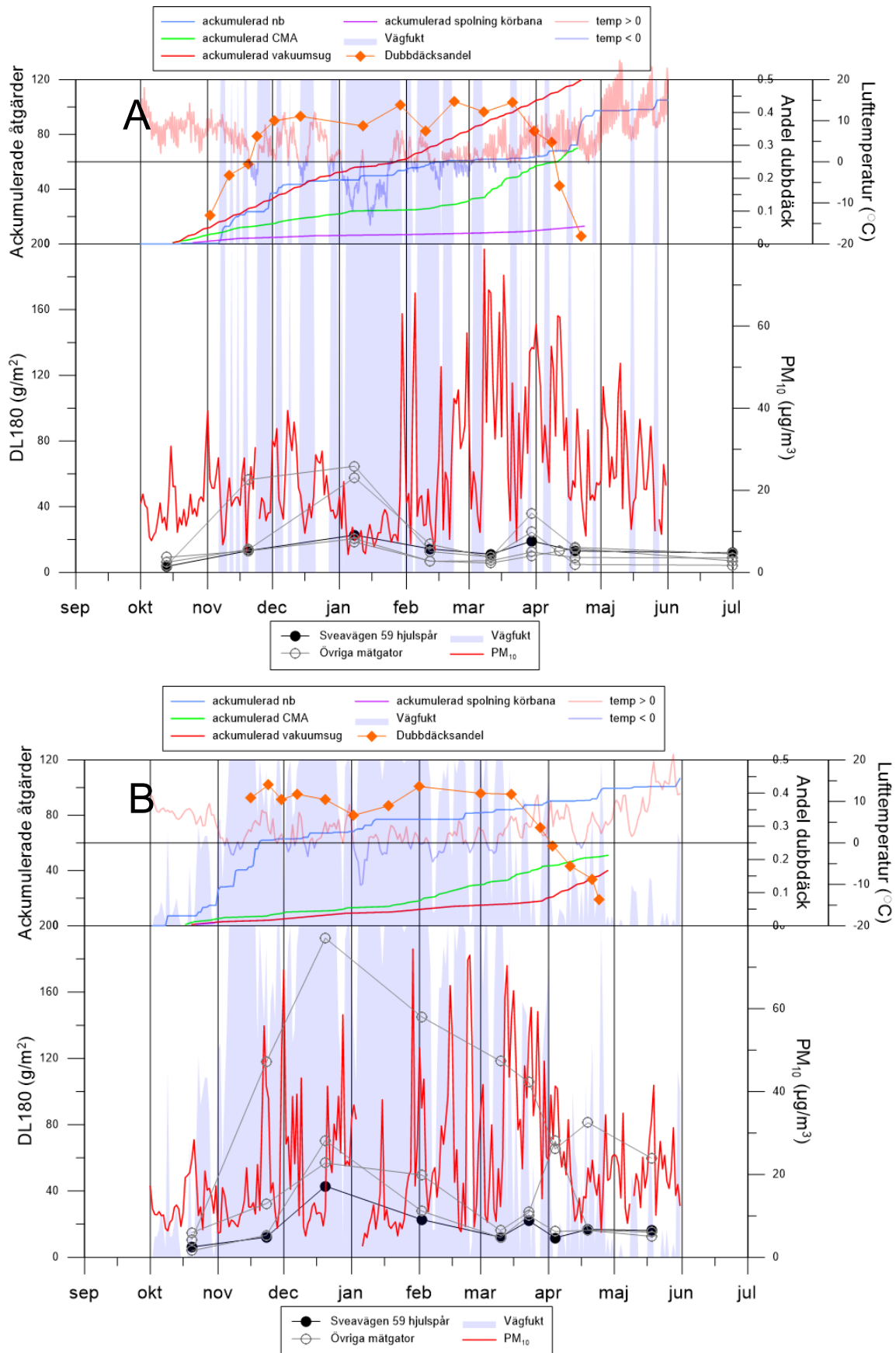
Såväl DL180 som mängderna och andelarna av partiklar under 10  $\mu\text{m}$  (DL10) på vägytan varierar kraftigt från gata till gata och har en tydlig säsongsvariation med de lägsta nivåerna på hösten och sen vår. De trender som kan ses i DL180 återspeglas i DL10-data.

Den organiska andelen av vägdamm är 6–10 % utom i mätningen i oktober då mängden är cirka 14–18 %. Då dubbdäcken orsakar en ökad andel mineraldamm genom beläggningsslitage, medan däckslitaget sannolikt är ungefär detsamma, är det rimligt att andelen organiskt material minskar under vintern. En ytterligare rimlig orsak till den högre andelen under sommarhalvåret är att källor till organiskt damm generellt är större då. På hösten kan även lövfällningen förväntas bidra till en högre organisk andel. Denna andel har hittills inte vidare utretts, men med ett ökat intresse för däck som källa till mikroplaster, kan skäl föreligga att i fortsatta studier noggrannare undersöka den organiska andelens beståndsdelar.

Variationerna i jonmängderna på vägytan visar en tydlig koppling till utläggning av CMA och vägsalt och reagerar med snabbt minskande nivåer efter nederbörd.

Som observerats även tidigare säsonger, är kopplingen mellan  $\text{PM}_{10}$  och vägdammförrådet inte självklart. Höga DL180-nivåer behöver inte samtidigt betyda höga  $\text{PM}_{10}$ -halter. Sambanden är komplexa. I föregående rapport (Gustafsson m. fl., 2017) fördes ett förklarande resonemang kring säsongens variationer i dammkällor, åtgärder, nederbörd och dammförråd och hur de påverkat  $\text{PM}_{10}$ -halterna under säsongen. Ett motsvarande resonemang för säsongen 2016/2017 visar på uppenbara likheter med föregående säsongens mönster. I Figur 52 (B) visas  $\text{PM}_{10}$  och DL180 i hjulspår tillsammans med vägfukt, nederbörd och åtgärderna CMA och vakuumsug.

Under hösten byggs dammförrådet upp som ett resultat av stigande dubbdäcksanvändning och fuktiga vägbanor. Vid tillfälliga torra perioder stiger  $\text{PM}_{10}$ -halterna hastigt, som till exempel i mitten och slutet på januari, då dammförrådet också är stort. Allteftersom det blir torrare på våren minskar dammängderna långsamt och  $\text{PM}_{10}$ -topparna blir fler. Dammbindningen intensifieras från februari. Liksom föregående säsong verkar en tillfällig tillväxt av dammförrådet ske i slutet på mars, vilket sannolikt hänger ihop med en kort fuktigare period i kombination med fortsatt kraftiga dammkällor och frekventdammbindning. Under hösten och vintern ansamlas damm förhållandevis lätt på vägytan, medan den snabba upptorkningen på våren kräver mer fukt tillförsel. Förhållandena för uppbyggnad av dammförrådet är alltså gynnsamma på hösten och mindre gynnsamma på våren. Från april avtar dubbdäcksanvändningen snabbt, dammförrådet stabiliseras på låg nivå och  $\text{PM}_{10}$ -halterna är låga.



Figur 52. Variationen i DL180 i hjulspår och  $PM_{10}$  under säsongerna 2015/2016 (A) och 2016/2017 (B). I övre delen av diagrammen visas variation i dubbdäcksanvändning, ackumulerade åtgärder och nederbörd.

För att undvika de höga PM<sub>10</sub>-halterna i början på våren bör alltså åtgärder för att förhindra uppbyggnaden av vägdammsförrådet på hösten och vintern vara gynnsamma. Både ordinarie städteknik och den särskilda vakuumsugen som används i Stockholm är inte så effektiv vid fuktig vägbana och det är alltså svårt med dagens teknik att, under vinterförhållanden, hålla vägen fri från damm. Möjligen kan moderna högtryckstvättande städmaskiner på hösten (då minusgrader inte förväntas) vara effektiva. Studier i Trondheim har påvisat en positiv effekt på dammförrådet av denna typ av maskiner (Järllskog m. fl., 2017). Ett problem är dock låg arbetshastighet. Att minska källorna ytterligare är antagligen en effektivare lösning, vilket omfattar såväl minskad dubbdäcksanvändning som minskad användning av sand/kross på såväl körbanor, som på gång- och cykelbanor.

Den kriteriebaserade utvärderingen av insatserna med CMA tyder både på tillfällen då dammbindning skulle behövts, men även på tillfällen då dammbindning för att nå gränsvärdet genomförts men sannolikt inte hade behövts. En bättre precision i åtgärderna skulle kunna optimera insatserna. Även om metoden är tämligen grov kan den sannolikt bidra till en effektivisering av insatserna och metoden för att förbättra precisionen i åtgärderna kan utvecklas ytterligare. De tillfällen där dammbindning inte räcker till för att sänka halterna är svårare att åtgärda utan ytterligare eller andra åtgärdsinsatser.

Som nämnts så klaras miljö kvalitetsnormen för PM<sub>10</sub> även denna säsong och åtgärderna ser ut att fungera. Potentialen att klara normen även med färre och mer välriktade insatser bedöms som fortsatt stor.

---

## 7. Slutsatser

---

Från föreliggande studie kan följande slutsatser dras:

- Miljö kvalitetsnormen för PM<sub>10</sub> klarades under 2017 för fjärde året i rad i Stockholm. Mycket tack vare dammbindnings- och städåtgärderna i kombination med minskad dubbdäcksanvändning.
- PM<sub>10</sub>-halterna var något lägre (0,5–3,4 µg/m<sup>3</sup>) under november 2016 till maj 2017 jämfört med motsvarande period 2015 till 2016.
- Dammbindning dagtid vid Sveavägen 59 sänkte PM<sub>10</sub>-halterna för dygnsmedelvärdet jämfört med Sveavägen 83 med 3 µg/m<sup>3</sup> vilket motsvarar en sänkning av dygnsmedelvärdet av PM<sub>10</sub> med 6 %.
- Kvartersvis dammbindning och vakuumbeskrivning vid Sveavägen 59 har inte kunnat påvisas sänka halterna av PM<sub>10</sub> utöver vad den reguljära städningen och dammbindningen medför.
- Den genomsnittliga halten av vägsalt (NaCl) var 2,2 µg/m<sup>3</sup> av PM<sub>10</sub>-halten, vilket motsvarade 7 %. Detta var i stort sett samma andel som föregående säsong.
- Vid 6 tillfällen (dygn) av 17 dygn totalt hade PM<sub>10</sub>-halten underskridit 50 µg/m<sup>3</sup> på Hornsgatan om natriumklorid hade subtraherats från den totala halten (i enlighet med EU 2008/50/EG). Mängden salt i luften samvarierar ganska väl med mängden salt på körbanorna.
- Gatorna var i genomsnitt fuktigare under hösten och vintern jämfört med föregående säsonger. Däremot var februari torrare. Mars och april var ungefär som föregående säsonger.
- Vägdammsmängderna tenderar att i genomsnitt ha ökat något jämfört med föregående säsong, en ökning som pågått sedan säsongen 2014/2015. Den fuktiga hösten och vintern är sannolikt en viktig faktor som gynnat både bildning av slitagepartiklar och uppbyggnaden av vägdammsförrådet.
- Omläggningen av Folkungagatan har resulterat i kraftigt ökade vägdammsmängder, men också lägre PM<sub>10</sub>-halter än föregående säsonger. Den slitstarka porfyren i asfalten i kombination med grov textur, som lagrar mycket vägdamms bidrar sannolikt till detta resultat.
- Andelen DL180 som är mindre än 10 µm varierar mellan några procent till cirka 20–25 %. Högst andel uppmäts i proverna under december till januari.
- Den organiska andelen av vägdammet varierar mellan cirka 4–8 % av vägdammsproverna utom i oktober då andelen är cirka 12–18 %. Det ökande intresset för mikroplast och däckslitage bidrar till detta motiverar en noggrannare analys av den organiska andelen i eventuella fortsatta provtagningar.
- Mätningarna av mängden joner på vägytan avspeglar användningen av CMA och NaCl och visar även på mycket effektiv bortspolning/utspädning vid regntillfällen.
- Vid ett mättillfälle i februari uppmättes friktionskoefficienter under eller nära 0,5 på Norrlandsgatan och Sveavägen. Så kallad torrhalka (torrfriktion lägre än våtfriktion) noterades både i november och februari på Norrlandsgatan, Sveavägen och Hornsgatan.
- Utvärderingen av möjligheterna att optimera dammbindningen visar att detta är svårt då ett schema med fasta dagar för dammbindning används. Flera dagar med överskridanden på hösten missas, medan flera dagar i januari behandlas med CMA utan att behov för att klara gränsvärdet för PM<sub>10</sub> egentligen föreligger.
- En villkorsbaserad beräkningsmetodik för att identifiera tillfällen då ytterligare åtgärder hade behövts för att hålla PM<sub>10</sub> halterna låga eller då driftåtgärder gjorts även då MKN inte riskerar att överskridas, visar att MKN överskridits 9 gånger på våren vid tillfällen då CMA inte lagts



ut, men även att CMA lagts ut vid 23 tillfällen då  $PM_{10}$ -halterna sannolikt hade klarat gränsvärdet ändå. Procentuellt är denna andel 45 % av utläggningarna, vilket stärker tidigare slutsatser att högre precision med prognosbaserade åtgärder behövs för optimering av insatserna. Metoden är grov och tar inte hänsyn till meteorologi och flerdugnseffekt av CMA, varför resultaten inte ska övertolkas, men kan i fortsatt arbete förfinas med hjälp av NORTRIP-modellen.

---

## 8. FoU-behov

---

De FoU-behov som identifierades i förra säsongens rapport kvarstår i mångt och mycket. En mer prognosstyrd gatudrift även avseende åtgärder mot damm (förutom halkbekämpning) bör rimligen vara kostnadseffektivt. För att analysen ska bli bättre behövs noggrannare aktivitetsdata, vilket bör vara möjligt genom tillgång till GPS-data för varje fordon. Eftersom uppvirvlingen av damm på våren är avhängig dammförrådets uppbyggnad under den fuktiga hösten och vintern, kvarstår ett behov att bättre förstå uppbyggnaden av dammförrådet i början på säsongen och vilken roll driftåtgärderna har i denna, liksom deras roll då processerna ändras från i huvudsak uppbyggande av förrådet till uppvirvling och bortförsl i slutet av vintern och under våren.

För att kunna studera hur strategier och tekniker kan optimeras pågår även för närvarande projekt i tunnelmiljö där utvärderingen är enklare än i gatumiljö. Detta arbete kan förhoppningsvis bidra till tillämpbara metodiker även för gatumiljö.

Dammbindning dagtid ger en extra effekt, vilket denna rapport visar. Det föreligger dock stora praktiska problem då dammbindning i intensiv stadstrafik med dagens teknik resulterar i pölbildning, nedstänkning av fordon och risk för halka. Vidare utveckling av utläggningsteknik skulle kunna förbättra möjligheterna att dammbinda dagtid på våren då behovet är som störst. Analys av mätdata samt modellstudier med vattenbegjutning dagtid visar att detta har en lika stor eller till och med större potential än dammbindning dagtid. Mer om dessa resultat kommer att finnas i OptiDrift-projektets slutrapport. Vattenbegjutning kan alltså vara en bra åtgärd då det är praktiskt lättare att lägga ut vatten än dammbindning, men det behöver utvärderas i verklig trafikmiljö.

Teknik för att effektivt motverka dammförrådets uppbyggnad på hösten och vintern saknas idag. Vakuumsugen som använts flera säsonger är effektiv på torra gator, men har problem med fuktiga gator. Samtidigt är vattenbaserade metoder känsliga för kyla. Tester med motsvarande teknik som provats i Norge (Järskog m. fl., 2017) under oktober–november skulle kunna utföras för att utreda potentialen för att dämpa uppbyggnaden av damm i gatumiljön.

Stockholm har ett ambitiöst åtgärdsprogram, men att göra justeringar i metodik och material är tungrovt på grund av åtagandet att klara miljö kvalitetsnormen och kontraktutformningar. Samtidigt används alternativa driftmetoder mot dammproblematiken i andra kommuner utan att någon egentlig utvärdering görs. De alternativa metoder som används kan mycket väl tänkas ha intressanta implikationer även för driften i Stockholm, varför det finns ett behov av att följa upp och utvärdera insatser även i andra kommuner.

På ett övergripande plan är idag möjligheterna att mer dynamiskt och funktionsinriktat kunna styra driftåtgärder mot  $PM_{10}$  begränsade, då upphandlingsformer och kontrakt inte är anpassade för ändamålet. Idag sker en utveckling mot funktionsentreprenader, som skulle kunna utvecklas till att omfatta även damningsminimerad gatudrift.

Hornsgatan har i dagsläget en beläggning i dåligt skick, med en hel del stensläpp och sprickor, som fungerar som fällor för vägdamm. Likaså är texturen grov, vilket också gynnar ansamling av damm. De planer som finns för beläggningsbyte på Hornsgatan erbjuder en unik möjlighet till en före- efterstudie där effekterna på dammförråd och luftkvalitet, men även andra miljöaspekter som till exempel buller, kan studeras.

Sambanden mellan vägdammsförråd, vägsitage, vägbanestatus, meteorologi och andra faktorer som påverkar  $PM_{10}$ -halterna är komplexa. Ett bra verktyg för att öka förståelsen av dessa samband är NORTRIP-modellen som utvecklats under flera år och validerats mot mätningar på ett flertal platser inklusive Hornsgatan. Modellen kan även utnyttjas för att analysera hur en förändrad dammbindningsstrategi eller andra driftåtgärder skulle påverka  $PM_{10}$ -halterna.

---

## Referenser

---

- Brydolf, M., Norman, M. & Sjövall, B. 2017. Användning av dubbdäck i Stockholms innerstad år 2016/2017. *SLB 2017:4*.
- Denby, B. R., Ketzell, M., Ellermann, T., Stojiljkovic, A., Kupiainen, K., Niemi, J. V., Norman, M., Johansson, C., Gustafsson, M., Blomqvist, G., Janhäll, S. & Sundvor, I. 2016. Road salt emissions: A comparison of measurements and modelling using the NORTRIP road dust emission model. *Atmospheric Environment*, 141, 508-522.
- Elmgren, M. 2018. Trafikomläggning och ny hård asfalt på Folkungagatan, Stockholm. *SLB 4:2018*. SLB-analys.
- Eneroth, K., Hurkmans, J., Silvergren, S. & Bergström, S. 2018. Luften i Stockholm År 2017. *SLB 3:2018*. Stockholm: SLB-analys.
- Gustafsson, M., Bennet, C., Blomqvist, G., Johansson, C., Norman, M. & Sjövall, B. 2011. Utvärdering av städmaskiners förmåga att minska PM10-halter. *VTI Rapport 707*.
- Gustafsson, M., Blomqvist, G., Janhäll, S., Johansson, C. & Norman, M. 2014. Driftåtgärder mot PM10 i Stockholm : utvärdering av vintersäsongen 2012–2013. Linköping: VTI.
- Gustafsson, M., Blomqvist, G., Janhäll, S., Johansson, C. & Norman, M. 2015. Driftåtgärder mot PM10 i Stockholm : utvärdering av vintersäsongen 2013–2014. Linköping: Statens väg- och transportforskningsinstitut.
- Gustafsson, M., Blomqvist, G., Janhäll, S., Johansson, C., Norman, M. & Silvergren, S. 2016. Driftåtgärder mot PM10 i Stockholm : utvärdering av vintersäsongen 2014-2015. Linköping: Statens väg- och transportforskningsinstitut.
- Gustafsson, M., Blomqvist, G., Janhäll, S., Järleskog, I., Johansson, C., Lundberg, J., Norman, M. & Silvergren, S. 2017. Driftåtgärder mot PM10 i Stockholm : utvärdering av vintersäsongen 2015-2016. Linköping: Statens väg- och transportforskningsinstitut.
- Gustafsson, M., Blomqvist, G., Johansson, C. & Norman, M. 2012. Driftåtgärder mot PM10 på Hornsgatan och Sveavägen i Stockholm - utvärdering av vintersäsongen 2011-2012. VTI.
- Gustafsson, M., Blomqvist, G., Jonsson, P. & Ferm, M. 2010. Effekter av dammbindning av belagda vägar, VTI Rapport 666. Linköping: VTI.
- Järleskog, I., Blomqvist, G., Gustafsson, M. & Janhäll, S. 2017. Utvärdering av städmaskiners förmåga att reducera vägdammförrådet i gatu- och tunnelmiljöer - En fältstudie i Trondheim 2016. *VTI rapport*. Linköping: Statens väg- och transportforskningsinstitut.
- Leggett, T. 1999. Temperature and humidity effects on the co-efficient of friction value after application of liquid anti-icing chemicals – final report.
- Nordström, C., Ellermann, T. & Ketzell, M. 2010. *International conference: Road dust - health effects and abatement strategies*. Stockholm.
- Norman, M. 2016. Utvärdering av dubbdäcksförbud på Kungsgatan och Fleminggatan. Effekten på luftkvaliteten, emissionerna till luften samt trafiken och dubbdäcksanvändningen. SLB-rapport 8:2016.

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

Sjödín, Å., Ferm, M., Björk, A., Rahmberg, M., Gudmundsson, A., Swietlicki, E., Johansson, C., Gustafsson, M. & Blomqvist, G. 2010. Wear particles from road traffic - a field, laboratory and modeling study, IVL Report B 1830.

Vägverket 2005. VV Publ 2005:112.

Åström, H. 2001. Validering av VTI PFT version 3, VTI notat 50-2001. Linköping.



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

