

Miljöanpassad hastighet på E18 Norrtäljevägen

-

Utvärdering av mätdata från E18 och Södra länken



Christer Johansson & Michael Norman
SLB analys
Miljöförvaltningen,
Stockholm

genomfört på uppdrag av

 TRAFIKVERKET

Förord

Detta är den tredje SLB-rapporten i uppdraget ”Mätning och utvärdering av luftkvalitet vid väg E18 mellan trafikplatserna Danderyds sjukhus och Danderyds kyrka”. Det genomfördes på uppdrag av Trafikverket (f d Vägverket) i TRV-projektet ”Miljöanpassad hastighet på E18”.

I SLB-rapport 6:2009 presenterades en sammanställning av mätningarna som genomförts under våren 2009. Resultaten från mätningarna 2009 presenterades i SLB-rapport 7:2009.

I denna rapport presenteras de uppföljande mätningar och regressionsanalyser som utförts i anslutning till E18 Norrtäljevägen under vintern och våren 2009/2010, samt analyser av trafik- och miljödata från Södra länken-tunneln och från Essingeleden.

För SLB har medverkat Christer Johansson (uppdragsledare), Michael Norman, Billy Sjövall, Lars Törnquist, Magnus Brydolf, Börje Norberg, Peter Strömberg och Lars Burman.

Rapporter och erfarenheter som berör TRV-projektet sammanställs på Trafikverkets webbplats <http://www.trafikverket.se/Privat/I-ditt-lan/Stockholm/Miljoanpassad-hastighet/> och presenteras i Trafikverkets publikation ”Miljöanpassad hastighet väg E18”.

Stockholm i december 2010,

Christer Johansson

Uppdragsledare, SLB analys

Lars-Olof Landerfors

Projektledare, Trafikverket

Innehåll

1	Sammanfattning	1
1.1	Skillnader i mätprogrammet 2010 jämfört med 2009	1
1.2	Mätresultat	1
1.3	Samband mellan trafikens bidrag till partikelhalterna och fordonshastighet vid E18. 1	
1.4	Vad kan miljöanpassad hastighet betyda för de totala PM ₁₀ -halterna?	2
1.5	Diskussion och slutsatser	2
2	Inledning.....	3
3	Försökssträckan och utrustningen längs E18	3
3.1	Luftföroreningsmätningar.....	3
3.2	Meteorologi	4
3.3	Vägfukt.....	4
3.4	Trafikmätningar	4
3.5	Sammanfattning av skillnader i mätprogrammet 2009/2010 jämfört med det tidigare 2009	5
4	Mätdata från Södra länken och Essingeleden	5
5	Tidstäckning av mätdata.....	6
6	Resultat.....	7
6.1	Variationer i trafikflöden och fordonshastigheter	7
6.2	Meteorologi och vägfuktighet	9
6.3	Dubbdäcksanvändning.....	12
6.4	Luftföroreningshalter.....	13
6.5	Medelhalter och jämförelse med miljökvalitetsnormer.....	19
6.6	Sammanfattning av mätningarna	23
7	Regressionsanalys – modell för prediktion av fordonshastighetens betydelse för PM ₁₀ -halterna	25
7.1	Metodik.....	25
7.2	Resultat från regressionsanalysen.....	26
7.2.1	E18 Norrtäljevägen	26
7.2.2	Essingeleden.....	27
7.2.3	Södra länken.....	29
7.3	Sammanställning av emissionsfaktorer med hänsyn till fordonshastighet.....	29
8	Vad kan miljöanpassad hastighet betyda för PM ₁₀ -halterna	31
9	Diskussion och slutsatser	32

10	Litteraturreferenser.....	34
11	Appendix A. Kvalitetssäkring av mätresultat	37
11.1	Trafikräkning	37
11.2	Luftföroreningsmätarna	37
11.2.1	PM ₁₀ TEOM	37
11.2.2	PM ₁₀ Lighthouse	37
11.2.3	Kväveoxider, NO _x	38
11.3	Vindhastighet och vindriktning.....	38
11.4	Sensorer för vägfukt.....	39
12	Appendix B, Mätdata från Södra länken.....	40
13	Appendix C, Data från L:a Essingen.....	46

1 Sammanfattning

I rapporten redovisas hur halter av inandningsbara partiklar, PM_{10} ¹, samt kväveoxider (NO_x)² varierar vid mätplatserna längs E18. Huvudsyftet med analysen av data har varit att finna samband mellan fordonshastighet och PM_{10} -halter som kan användas för att i realtid motverka att höga PM_{10} -halter uppkommer, genom att reglera de högsta tillåtna fordonshastigheterna. Motsvarande analys har även gjorts för mätdata från Södra länken och från mätstationen intill Essingeleden.

1.1 Skillnader i mätprogrammet 2010 jämfört med 2009

Även om samma mätsträcka användes finns några viktiga skillnader i jämförelse med mätningarna som genomfördes under våren 2009.

- Fyra mätstationer användes istället för tidigare sex.
- Totala trafikflödet och totala medelhastigheten förbi mätstationerna har registrerats (tidigare fanns bara begränsat med data för nordgående körfält).
- Dubbdäckräkningar har gjorts på plats (saknades tidigare)
- Vägytans fuktighet har mätts (saknades tidigare)

1.2 Mätresultat

Mätprogrammet under vintern och våren 2009/2010 har levererat mätdata från december 2009 till maj 2010, vilka har använts för analys av sambandet mellan hastighet och PM_{10} -halter. Meteorologin under mätperioden hade stor inverkan på luftföroreningshalterna. Ett konstant snötäcke från mitten av december till mitten mars gav upphov till fuktiga vägbanor vilket gjorde att PM_{10} -halterna var låga under hela den perioden. Från mitten av mars torkade vägbanorna upp och PM_{10} -halterna steg och var höga från andra halvan av mars till maj. Den stränga vintern gjorde att stabila väderförhållanden dominerade under december till mars och NO_2 -halterna var höga för att sedan tydligt sjunka när snön började smälta i mitten på mars.

Miljö kvalitetsnormerna avseende dygnmedelvärde för både PM_{10} och NO_2 överskreds både 2009 och 2010. Dvs. antalet dygn med halter över gränsvärdena enligt miljö kvalitetsnormen var flera än det tillåtna antalet under ett helt kalenderår. Detta trots att mätningarna inte omfattade ett helt kalenderår.

1.3 Samband mellan trafikens bidrag till partikelhalterna och fordonshastighet vid E18

Stegvis multipel linjär regression applicerades på mätningarna från E18, Essingeleden och Södra länken-tunneln, för att kvantifiera sambandet mellan fordonshastighet och bidrag till PM_{10} -halter. Fordonsflödet är den enskilt viktigaste faktorn som påverkar PM_{10} -halterna. För att minimera inflytandet från fordonshastigheten och erhålla en emissionsfaktor som kan användas för att beräkna effekterna av sänkt hastighet för PM_{10} -halterna, användes kvoten mellan halterna av PM_{10} och NO_x . Analysen visar att emissionsfaktorerna för E18, Essingeleden och Södra länken-tunneln var desamma med hänsyn till 95 procents konfidensintervall, vilket **styrker att sambanden är tillförlitliga** och inte har uppkommit av en slump.

¹ Mängden partiklar med en diameter som är mindre än 10 mikrometer

² Summan av halten NO och NO_2

1.4 Vad kan miljöanpassad hastighet betyda för de totala PM₁₀-halterna?

Genom att använda emissionsfaktorn som erhållits för E18 beräknades vilka effekter olika hastighetsminskningar skulle kunna få för halterna av PM₁₀. Analysen visar att om medelhastigheten under dagtid (06-18) skulle sänkas med 5 km/h skulle dygnsmedelvärdena av PM₁₀ sjunka så att antalet dygn med halter över 50 µg/m³ skulle minska med 4 dygn. Fortfarande skulle fler än 35 dygn per år ha halter över 50 µg/m³ som är det maximalt tillåtna antalet enligt miljökvalitetsnormerna. För att klara miljökvalitetsnormerna skulle medelhastigheterna behöva sänkas med mellan 10 och 20 km/h. Effekter av hastighetsminskning på antalet dygn med halter över 50 µg/m³ beror i hög grad på de meteorologiska förhållandena under våren i samband med att PM₁₀-halterna är som högst. Chanserna att minska antalet dygn över 50 µg/m³ ökar givetvis om halterna ofta ligger strax över 50 µg/m³ jämfört med om halterna är betydligt högre. Med en hastighetsminskning reduceras emissionerna så att den totala befolkningsexponeringen och därmed också hälsoeffekterna av partikelemissionerna minskar.

1.5 Diskussion och slutsatser

Emissionsfaktorer har beräknats utifrån regressionskoefficienter för kvoterna mellan PM₁₀-halterna och NO_x-halterna baserat på mätningar invid E18, Essingeleden och i Södra länken-tunneln i Stockholm. Emissionsfaktorerna för dessa platser visar sig vara ungefär lika stora och signifikanta på samtliga platser. Genom att använda det samband som erhållits för E18 beräknas att en hastighetsminskning skulle sänka PM₁₀-halterna, men ytterligare åtgärder skulle krävas för att klara miljökvalitetsnormerna. Effekterna av hastighetsminskningen beror i hög grad på de meteorologiska förhållandena under våren i samband med att PM₁₀-halterna är som högst.

Till största delen beror PM₁₀-emissionerna vid de platser som studerats på slitage av vägbanorna. Resultaten i denna rapport ligger väl i linje med att dubbdäck ökar vägbaneslitaget när fordonshastigheten ökar och även undersökningar av hur hastigheten påverkar PM₁₀ bildningen i laboratoriestudier, vägtunnelstudier och mätningar med mobila laboratorier i Sverige och Finland. En studie längs en infartsled utanför Oslo har också visat på en kraftig reduktion av partikelhalten efter att hastigheten sänktes.

Hastighets sambanden i denna studie gäller för motorvägar/infartsleder, som har liknande väg- och trafikförhållanden. Andra studier indikerar att hastighetsminskningar längs andra typer av vägar t ex innerstadsgator eller andra trafikleder där förhållandena är helt annorlunda också reducerar partikelemissionerna, även om mätningar tyder på att effekterna på PM₁₀-halterna kan vara mindre vid låga hastigheter. Ytterligare studier krävs för att undersöka hur fordonshastigheten påverkar halterna på andra platser. Hastigheten påverkar inte bara slitage-genererade grova partiklar utan också ultrafina partiklar och gaser som släpps ut via avgasemissionerna. En hastighetsminskning kan förväntas reducera hälsoeffekterna av partikelemissionerna bland befolkningen. Eftersom studier av olika hälsoeffekter av partiklar talar för att det inte finns någon tröskelnivå för halterna under vilken hälsorisk är noll, är alla åtgärder som leder till lägre partikelemissioner viktiga att beakta, även om de inte är tillräckliga för att miljökvalitetsnormerna skall underskridas.

2 Inledning

Längs de mest trafikerade vägarna i Stockholms län och i Stockholms innerstad överskrider partikelhalterna de fastställda normerna enligt miljöbalken. En genomförd studie visar att flera skolor och förskolor i länet ligger i områden där halterna är över eller i närheten av normerna (<http://slb.nu/exponering/>). Förutom åtgärder som syftar till att minska trafikmängderna och andelen dubbdäck finns det ganska få åtgärder som är effektiva för att minska halterna. En åtgärd som har viss potential är att minska hastigheten längs vägarna. Sedan hösten 2007 använder Trafikverket utmärkning med variabla hastigheter längs E18 i sydgående riktning mellan Viggbyholm och Danderyds sjukhus. Syftet med att ha omställbara hastighetsskyltar här är att minska köbildning och risk för påkörningsolyckor vid tät trafik. SLB-analys har tidigare på uppdrag av Vägverket bedömt skillnader i luftföroreningshalt längs denna sträcka vid hastigheterna 70, 90 och 110 km/h. Beräkningarna visade att om medelhastigheten skulle sänkas från 90 km/h till 70 km/h skulle det finnas möjlighet att klara miljökvalitetsnormen för PM₁₀ (LVF 2008:15). Beräkningarna är behäftade med ganska stor osäkerhet på grund av att sambanden mellan hastigheten och emissionerna av slitagepartiklar inte har kvantifierats tidigare för förhållandena i Stockholm. För att klargöra detta krävs mätningar av PM₁₀ längs sträckan – vilket nu redovisas i denna rapport.

Huvudsyftet med projektet har varit att finna samband mellan fordons hastighet och PM₁₀-halter att användas för att i realtid motverka att höga PM₁₀-halter uppkommer, genom att reglera de högsta tillåtna fordons hastigheterna. I den första rapporten i projektet ”Mätningar av luftkvalitet vid väg E18 mellan trafikplatserna Danderyds sjukhus och Danderyds kyrka” presenterades mätplatserna, mätmetoderna och bakgrunden till projektet (SLB 6:2009). I den andra rapporten redovisades analysen av mätresultaten 2009 (SLB 7:2009). I denna rapport redovisas mätresultat och analyser från mätningarna genomförda längs E18 under vintern och våren 2009/2010. Dessutom redovisas motsvarande analyser av mätdata från Södra länken och Essingeleden.

3 Försökssträckan och utrustningen längs E18

3.1 Luftföroreningsmätningar

Försökssträckan omfattar väg E18, delen trafikplats Danderyds sjukhus – trafikplats Danderyds kyrka, i nord- och sydgående köriktningar, Figur 1.

Försöksutrustningen omfattar fyra stationer parvis placerade i två snitt på ömse sidor (öster respektive väster) av väg E18

- a) norr om Kyrkogårdsvägen med instrument för PM₁₀ (massan av alla partiklar med en aerodynamisk diameter < 10µm), kväveoxider, NO_x (innefattar kväveoxid, NO, samt kvävedioxid, NO₂) för 15-minutersmedelvärden på båda sidor av vägen samt meteorologi på östra sidan. Mätstationerna benämns NV för västra sidan vägen och NO för östra sidan vägen.
- b) norr om gångvägen under väg E18 norr trafikplats Danderyds sjukhus med instrument för PM₁₀ och partikelstorleksfördelning för den grova partikelfraktionen (5-minuters medelvärden) på båda sidor av vägen samt meteorologi på västra sidan. Mätstationerna benämns SV för västra sidan vägen och SO för östra sidan vägen.

Mätstationerna beskrivs mer i detalj i SLB-rapport 6:2009, med skillnaden att mätstationerna i anslutning till Mörby centrum inte användes under mätningarna vintern och våren 2009/2010.

3.2 Meteorologi

Till försöken 2009/2010 har även mätstationen på västra sidan vid Danderyds sjukhus kompletterats med en station för mätningen av vindhastighet, vindriktning, temperatur och relativ fuktighet. Stationen kom i drift under januari 2010. Samma typ av mätutrustning som beskrivs för mätstationen vid Danderyds kyrka i SLB-rapport 6:2009 har använts. Placeringen av mätstationerna visas i Figur 1.

3.3 Vägfukt

Under våren 2010 installerades sensorer för att övervaka vägytans fuktighet i anslutning till mätstationer på västra sidan vid Danderyds kyrka. På grund av det långvariga snötäcket under vintern kunde installationen ske först den 30 mars. Sensorerna var i drift och visade full funktion fram till och med den 20 april varefter de visade på tydliga tecken på att inte leverera tillförlitliga mätdata längre.

3.4 Trafikmätningar

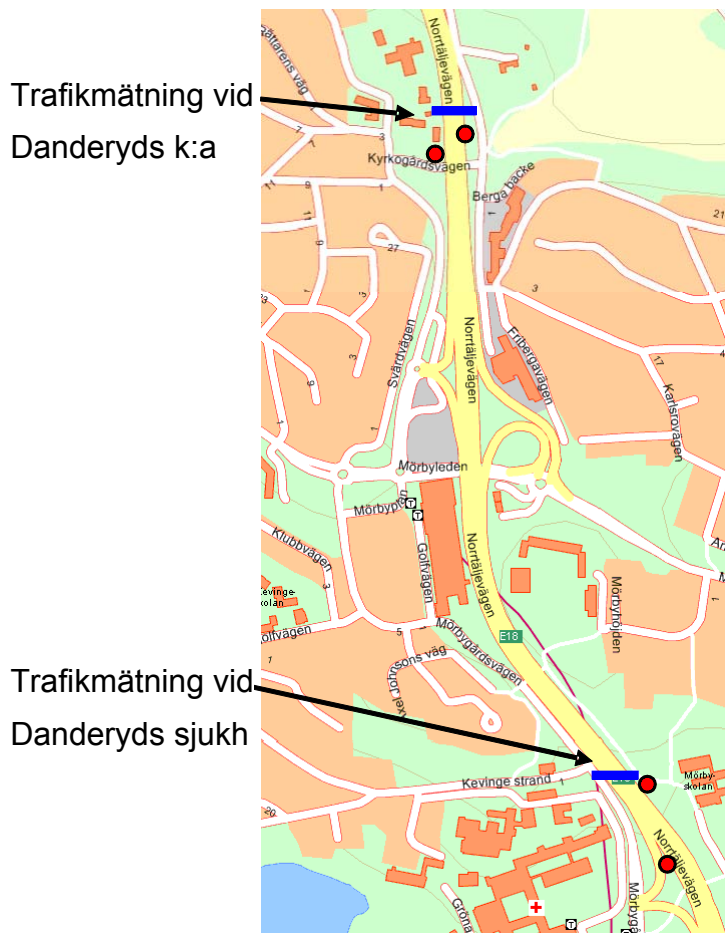
Trafikflöden och fordonshastigheter har registrerats av Trafikverket på två platser i anslutning till mätplatserna för luftföroreningsparametrar. Registreringen har skett med mikrovågsdetektorer som mäter trafiken för samtliga nordgående och sydgående körfält förbi mätpunkten. Följande parametrar registrerades:

1. Antal fordon:

0 -6 m	Personbil, MC
6 – 12,5 m	Lastbil, minibuss, buss
12,5 – 24 m	Ledbuss, lastbil m släp

2. Medelhastighet för alla fordon.

Placering av utrustningen för trafikmätning framgår av Figur 1.



Figur 1. Platser för trafik- och hastighetsmätning visas med blått streck och platser för mätning av partikelhalter är markerade med röd punkt.

3.5 Sammanfattning av skillnader i mätprogrammet 2009/2010 jämfört med det tidigare 2009

- Fyra mätstationer för luftföroreningsmätningar användes till skillnad mot sex stycken under de tidigare försöken. Mätningar av trafik och hastighet saknades i anslutning till stationerna vid Mörby centrum, varför dessa två mätstationer inte har använts i detta försök.
- Trafikflöden och fordonshastigheter har registrerats för samtliga fordon förbi mätstationerna. I de tidigare försöken registrerades endast sydgående trafik.
- Ytterligare en station för mätning av meteorologi installerades i anslutning till mätstationen på västra sidan vägen vid Danderyds sjukhus.
- Sensorer för registrering av vägytans fuktighet installerades i anslutning till mätstationen på västra sidan vägen vid Danderyds kyrka
- Registrering av andelen fordon med dubbdäck har gjorts specifikt vid E18 under vintern och våren 2010.

4 Mätdata från Södra länken och Essingeleden

Mätdata från Södra länken och Essingeleden har använts som komplement för att studera fordonshastighetens betydelse för PM₁₀-genereringen. Dessa data presenteras i Appendix.

5 Tidstäckning av mätdata

I tabellen nedan visas tidstäckningen av mätdata från E18 per månad under försöksperioden från 1 november 2009 till 31 maj 2010.

Tabell 1. Tidstäckning av samtliga mätta parametrar längs E18.

	Nov-2009	Dec-2009	Jan- 2010	Feb-2010	Mar-2010	Apr-2010	Maj-2010
PM₁₀, NV	58 %	93 %	99 %	96 %	100 %	99 %	100 %
PM₁₀, NO	0 %	97 %	100 %	100 %	99 %	99 %	79 %
NO_x, NO	14 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %
NO_x, NV	14 %	100 %	100 %	100 %	100 %	97 %	94 %
PM₁₀, SO	0 %	0 %	0 %	0 %	76 %	97 %	77 %
PM₁₀, SV	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	21 %	84 %
Meteorologi NO	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %
Meteorologi SV	0 %	0 %	16 %	70 %	69 %	100 %	100 %
Vägfukt, NV	0 %	0 %	0 %	0 %	2 %	65 %	0 %
Trafik NO	100 %	60 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %
Trafik SO	100 %	90 %	100 %	100 %	100 %	93 %	69 %

Luftföroreningsmätningarna vid de norra stationerna var i full drift från och med december. En del problem fanns med instrumenten för partikelmätningar vid de södra stationerna där mätdata endast finns tillgängliga från mars 2010. Naturvårdsverkets krav på datafångst för mätningar som övervakning av miljö kvalitetsnormen är 90 %. Mätningarna inom ramen för detta projekt har primärt inte gjorts för att övervaka miljö kvalitetsnormer. Det är viktigare med hög kvalitet på mätdata och att samtliga parametrar finns tillgängliga än att ha full tidstäckning på enskilda parametrar. Mätningarna vid stationerna NV och NO uppfyller dessa krav för december 2009 till och med maj 2010. För mätningarna vid stationerna SV och SO är utfallet inte tillfredsställande, men under delar av april och maj var tidstäckningen bra och kvaliteten tillfredsställande.

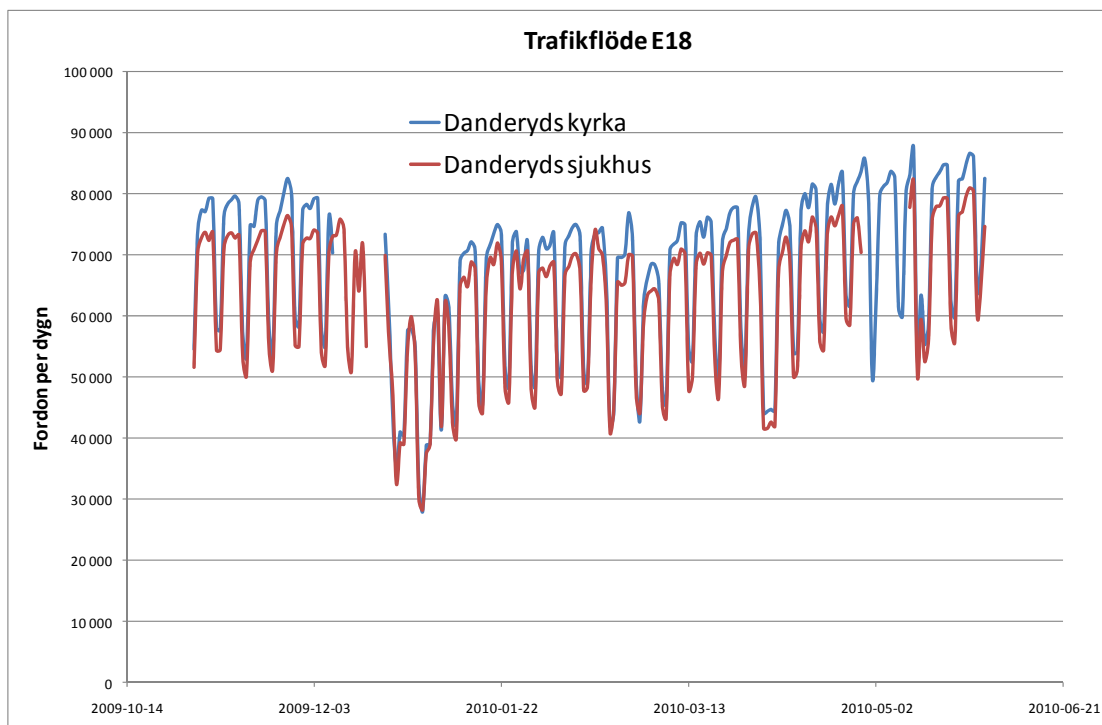
6 Resultat

Under mätningarna har en stor mängd mätdata samlats in. Alla data kan inte presenteras i denna rapport. Nedan visas exempel på mätdata för att belysa viktiga aspekter för analysen av mätdata.

6.1 Variationer i trafikflöden och fordonshastigheter

Skillnaderna är tidvis stora mellan syd- och nordgående trafik (framförallt under morgonrusningen) och kan även variera mellan de olika körfälten i samma körriktning. Men samtliga analyser i denna rapport bygger på det totala trafikflödet och totala medelhastigheten eftersom luftföroreningshalterna påverkas mer eller mindre oavsett om fordonen färdas norrut eller söderut. I figurerna nedan presenteras därför endast den totala trafiken och den totala medelhastigheten av alla fordon förbi mätstationerna.

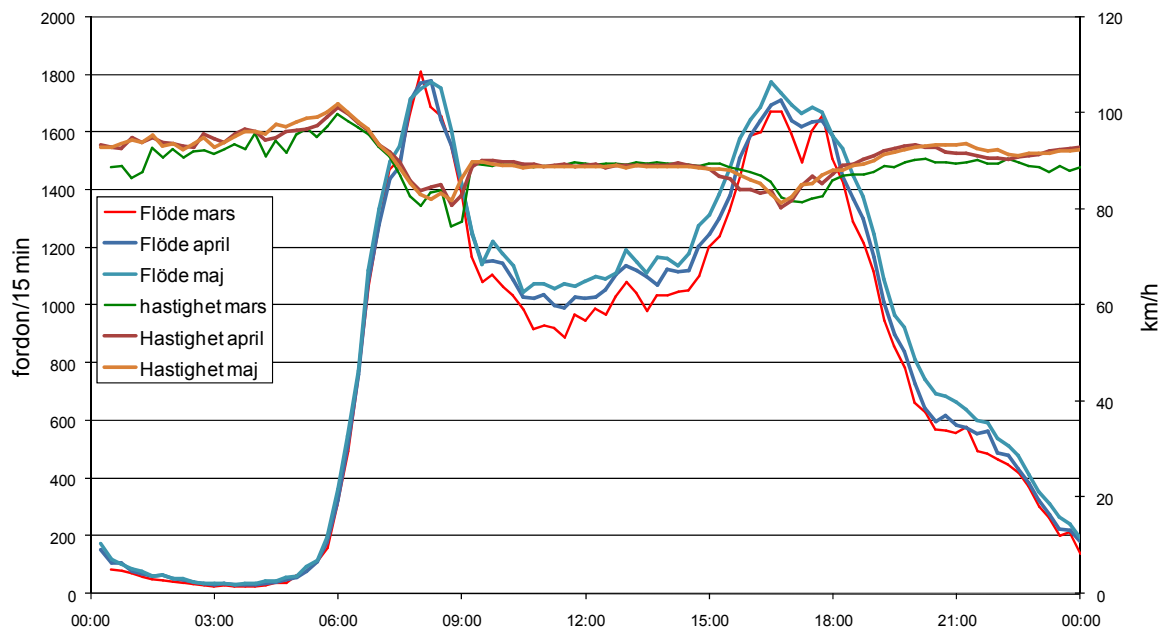
Figur 2 visar hur den totala fordonsmängden för både sydgående och nordgående trafik varierade under mätperioden november 2009 till maj 2010. Vid samtliga tillfällen är trafikflödet större förbi Danderyds kyrka än Danderyds sjukhus. En del sydgående fordon använder avfarterna mot Mörby centrum och mot Danderyds sjukhus vilket är förklaringen. Julhelgen uppvisar tydligt lägre trafikflöde. Trafikmängderna var även mindre under perioden med snö i Stockholm, 14 december till ca 20 mars. Det högsta trafikflödet observerades i början på maj.



Figur 2. Totala trafiken per dygn förbi mätstationerna vid Danderyds kyrka och Danderyds sjukhus.

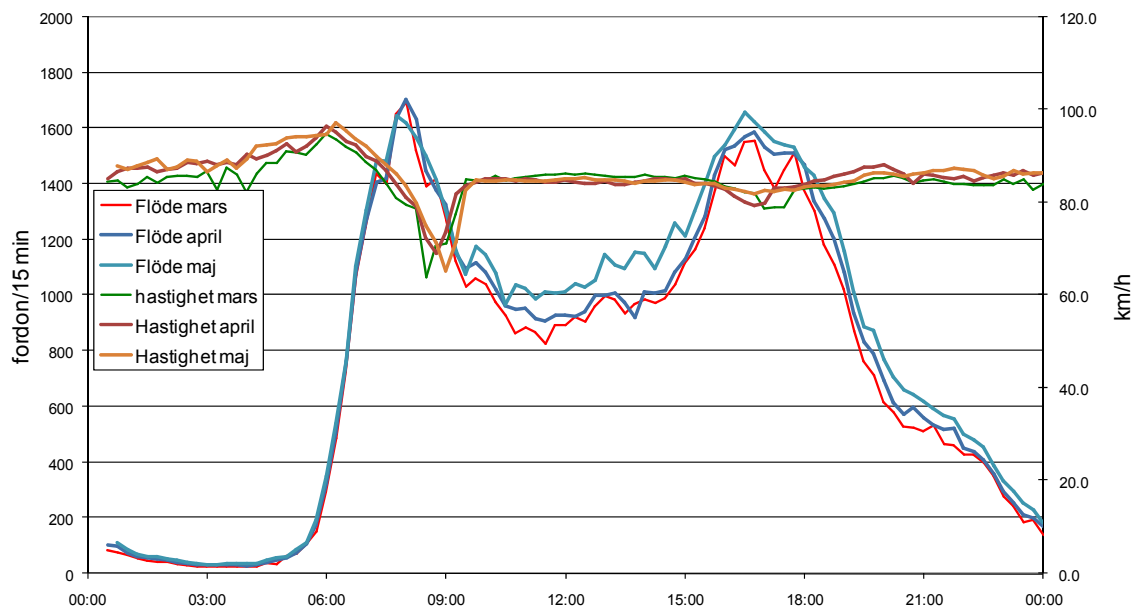
Figur 3 visar dygnsvariationen av totala trafiken (både nord- och sydgående) under vardagsdygn förbi de norra mätstationerna mars-maj 2010. Rusningstrafiken börjar strax före kl 6 på morgonen och avtar runt kl 9. Under eftermiddagen börjar trafiken öka runt kl 15 och avtar framåt kl 19. Hastighetsminskningen är något större under morgonrusningen än för

eftermiddagsrusningen. De högsta hastigheterna uppträder precis innan morgonrusningen börjar. Hastigheten var något lägre under mars jämfört med april och maj. Även trafikflödet var något lägre under mars jämfört med de övriga månaderna.



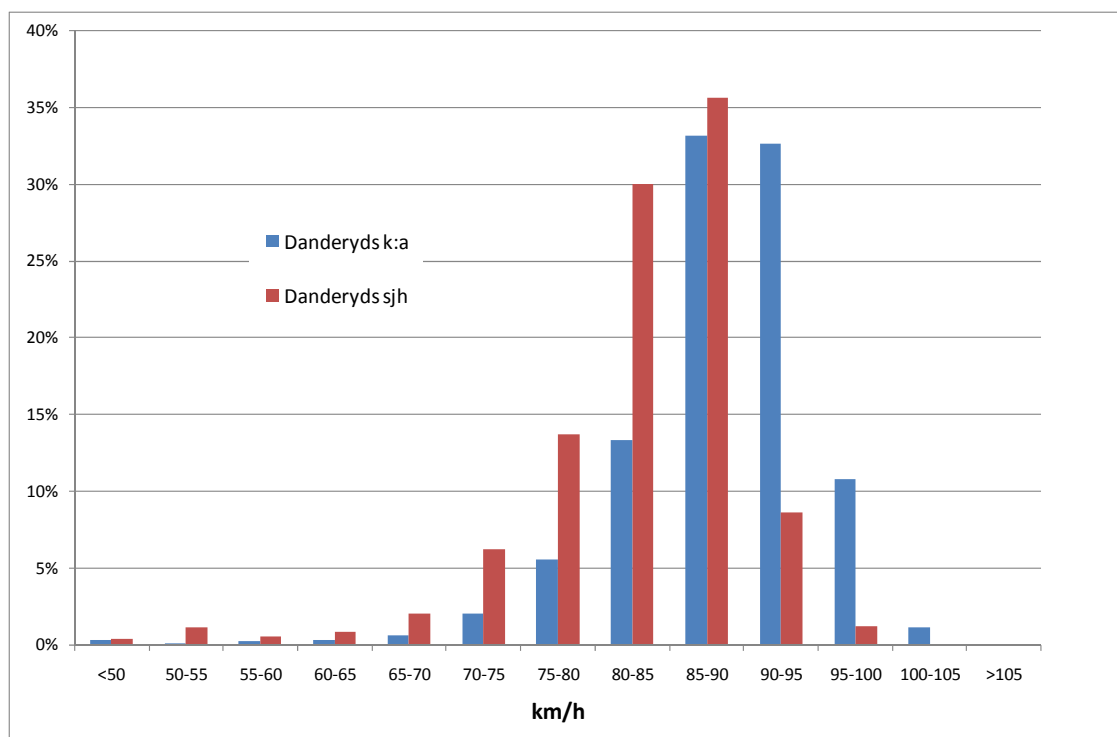
Figur 3. Dygnsvariationen av trafikflöde och hastighet förbi Danderyds kyrka under vardagsdygn mars till maj 2010.

Figur 4 visar dygnsvariationen av trafiken under vardagsdygna förbi de södra mätstationerna. Endast mindre skillnader går att urskilja från de norra mätstationerna i Figur 3. Hastighetsminskningen under morgonrusningen är större vid Danderyds sjukhus. Dessutom är hastighetsminskningen under eftermiddagsrusningen i stort sett obefintlig. Precis som för de norra stationerna så var både hastigheten och trafikflödet lägst under mars.



Figur 4. Dygnsvariationen av trafikflöde och hastighet förbi Danderyds sjukhus under vardagsdygn mars till maj 2010.

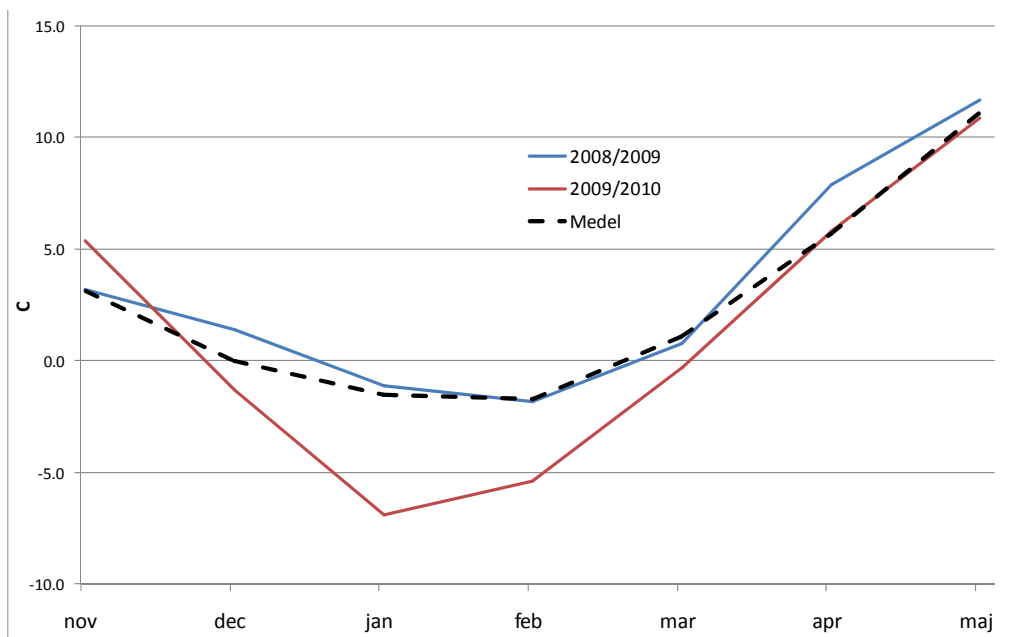
I Figur 5 visas den procentuella andelen av tiden med olika medelhastigheter vid E18 under mätperioden 1 november till 31 maj. Vid båda stationerna är den vanligaste hastigheten 85-90 km/h. Hastigheter över 90 km/h är däremot mycket mer vanligt förekommande vid Danderyds kyrka än vid Danderyds sjukhus. Hastigheter under 85 km/h är däremot betydligt vanligare vid den södra mätstationen.



Figur 5. Andel av tiden med olika medelhastighet vid de två tvärsnittet av E18 från 1 november 2009 till 31 maj 2010.

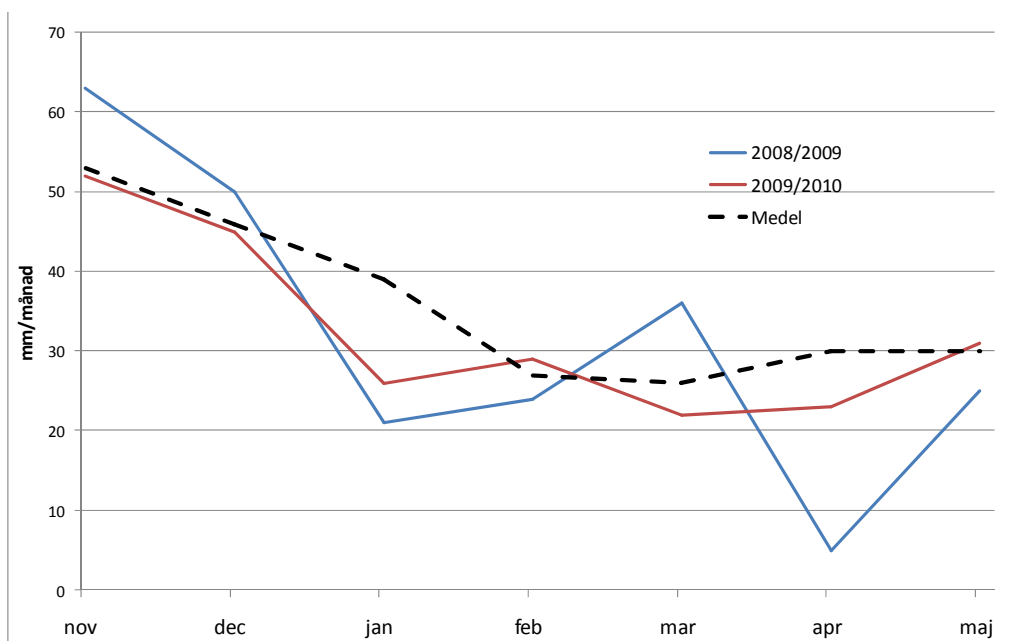
6.2 Meteorologi och vägfuktighet

Vintern och våren 2009/2010 var ovanligt kall och snörik för att vara i Stockholmsområdet. Ett rejält snöfall den 14 december gav ett snötäcke som sedan fylldes på under vintern och det blev inte barmark förrän i slutet på mars. I Figur 6 visas temperaturen under mätperioden. Under samtliga månader mellan december 2009 och mars 2010 var temperaturen i genomsnitt lägre än flerårsgenomsnittet och även tydligt kallare än motsvarande period under 2008 till 2009.



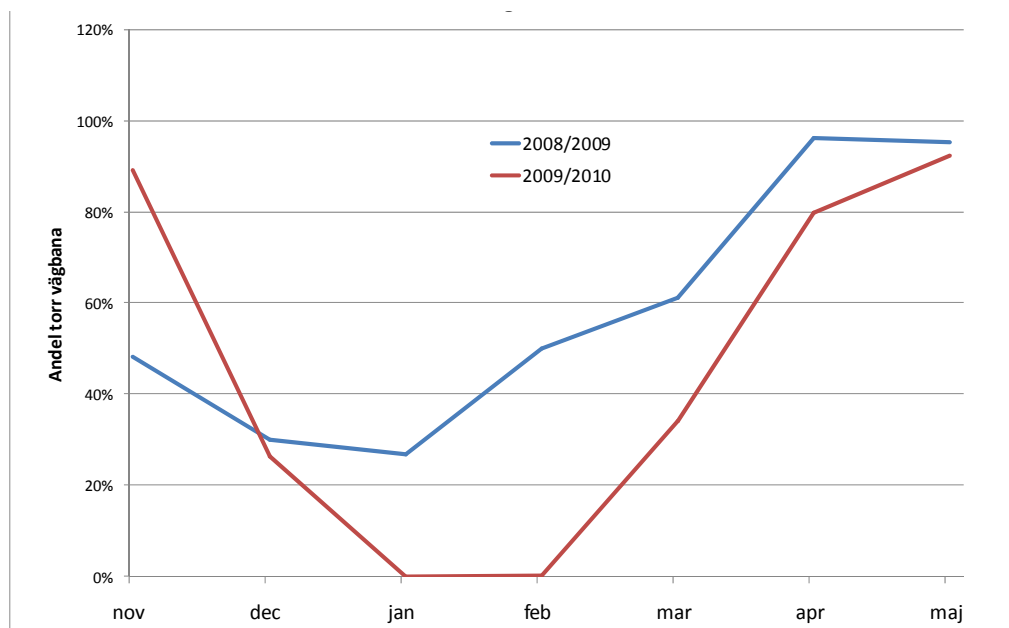
Figur 6. Månadsmedeltemperaturen vid E18 under vintern och våren 2009/2010 jämfört med 2008/2009 och genomsnittet i taknivå på Södermalm i Stockholm 1983-2009.

I Figur 7 presenteras nederbörden under mätperioden jämfört med föregående år och genomsnittet. Nederbörden som föll under mätperioden var under genomsnittet de allra flesta månader och även mindre än ett år tidigare för november, december och mars. Skillnaden under denna mätperiod var att all nederbörd under december till mars föll som snö. Så trots den mindre nederbördsmängden bidrog de låga temperaturerna till att det blev ett konstant snötäcke från mitten av december till slutet på mars.



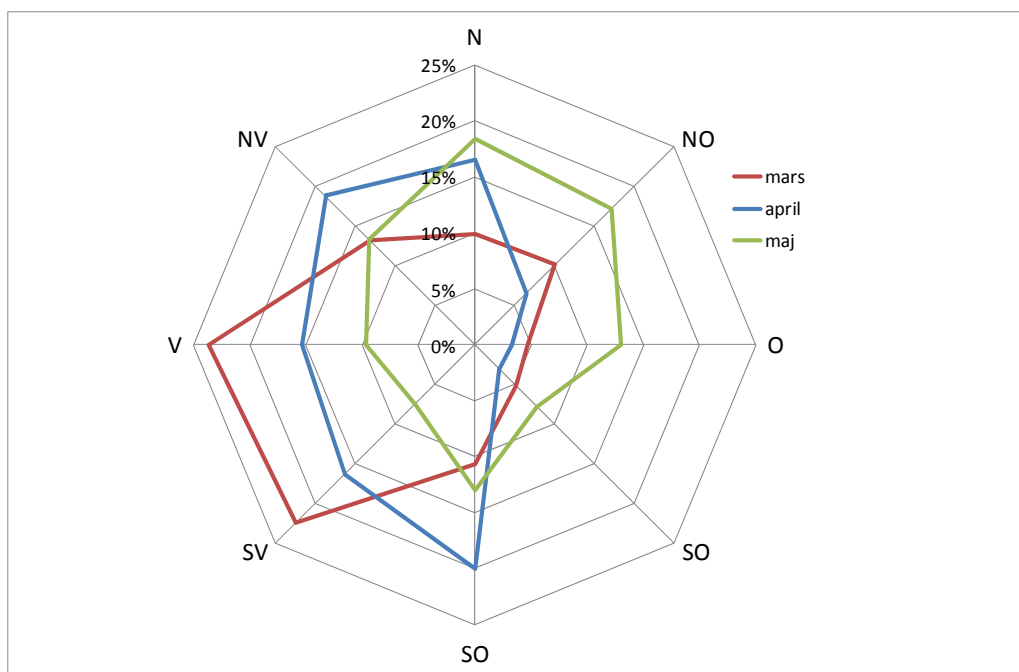
Figur 7. Månadsmedelnederbörden vid E18 under vintern och våren 2009/2010 jämfört med 2008/2009 och genomsnittet från Observatorielunden 1961-1990 (från SMHI).

En följd av det långvariga snötäcket var att vägbanorna till stor del var fuktiga under stor del av mätperioden. I Figur 8 visas andelen timmar med fuktig väg bana på Sveavägen i centrala Stockholm under mätperioden jämfört med året innan. Anledningen till att Sveavägen används beskrivs i appendix A. Endast under november var det fler timmar med torr väg bana under mätningarna 2009/2010 jämfört med året innan. Under januari och februari uppmättes inte en enda timme med torr väg bana och under december och mars endast mindre del av tiden. Vägfuktigheten är av stor betydelse för PM_{10} -halterna då vägdamm främst suspenderas när vägytan är torr. Under mätperioden var det dåliga förutsättningar för att observera vägdamm under långa perioder.



Figur 8. Andelen timmar med torr väg bana på Sveavägen under vintern och våren 2009/2010 jämfört med 2008/2009.

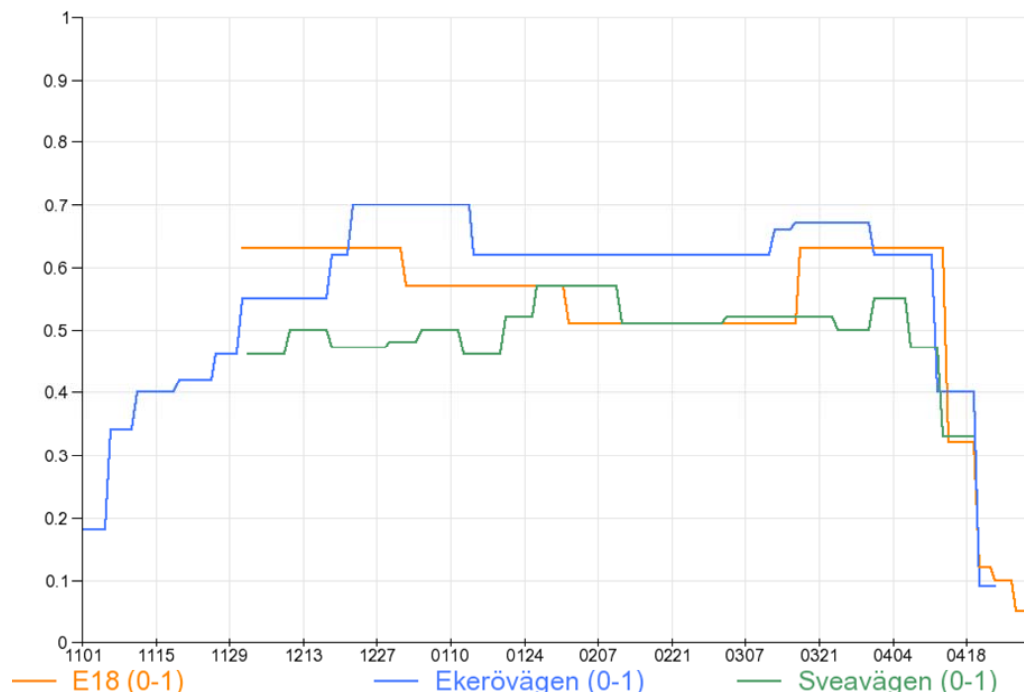
Mätningarna av luftföroreningar gjordes på båda sidor av E18 för att avgöra trafikens bidrag till luftföroreningshalterna beroende på vindriktningen. Fördelningen av vindriktningen under mars, april och maj vid E18 presenteras i Figur 9. Det var relativt stora skillnader mellan de olika månaderna. Under mars dominerade västliga och sydvästliga vindar stort. Under april däremot var det sydvindar som var de dominerande och under maj var det ostliga eller nordostliga. Den stora skillnaden i vindriktningen hade tydlig påverkan på halterna av både PM_{10} och NO_x .



Figur 9. Fördelningen av vindriktningen under mars, april och maj 2010.

6.3 Dubbdäcksanvändning

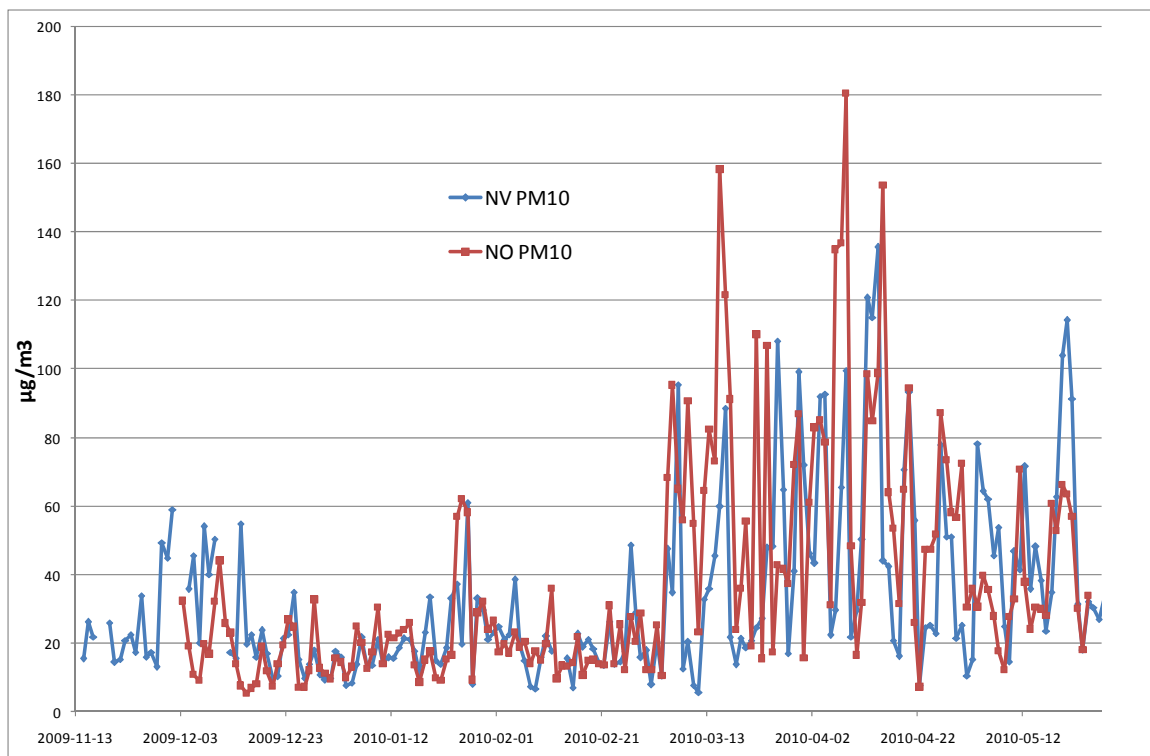
En stor del av PM_{10} -emissionerna från vägtrafiken kommer från dubbdäcksslitage av vägytan, vilket bland annat har visats i provvägsmaskin (VTI-rapport 520:2005) vid mobila mätningar (Hussein m.fl., 2008; ITM-rapport 172:2007) samt vid fasta mätstationer (SLB-rapport 4:2004, SLB-rapport 2:2008). I Figur 10 visas andelen personbilar som använde dubbdäck under mätperioden. Detta registreras manuellt med hjälp av skillnaden i ljudet vid passage av ett fordon med dubbdäck jämfört med ett utan dubbar. Ungefär 200 fordon brukar registreras vid varje tillfälle. I figuren finns data från E18, Ekerövägen samt från Sveavägen (gata i centrala Stockholm). Den registrerade andelen fordon med dubbdäck på E18 var generellt högre än inne i Stockholm, men oftast något under de som registrerade längs Ekerövägen. Resultaten visar även på stor variation mellan de olika mätningarna vid E18. Istället för att vara verkliga storskaliga förändringar är denna variation snarare ett uttryck för variationer vid just den aktuella observationen samt osäkerhet i mätmetoden. Förmodligen finns även en variation i andelen fordon med dubbdäck under dygnet. Under morgon- och eftermiddagsrusning kan man förvänta att andelen är högre då det är pendlare från förörterna på väg till eller från arbetet. Under dagen är andelen yrkestrafik större och det är känt att yrkesfordon såsom taxibilar till mindre del använder dubbdäck än vanliga privatbilister. I början av hösten var det relativt mildt och dubbdäcksanvändningen ökade långsamt. Minskningen av dubbdäcksanvändningen under våren var tämligen hastig. En orsak var säkert de nya reglerna från och med 2010 som betyder att dubbdäck är förbjudna efter 15 april (tidigare var det 31 april).



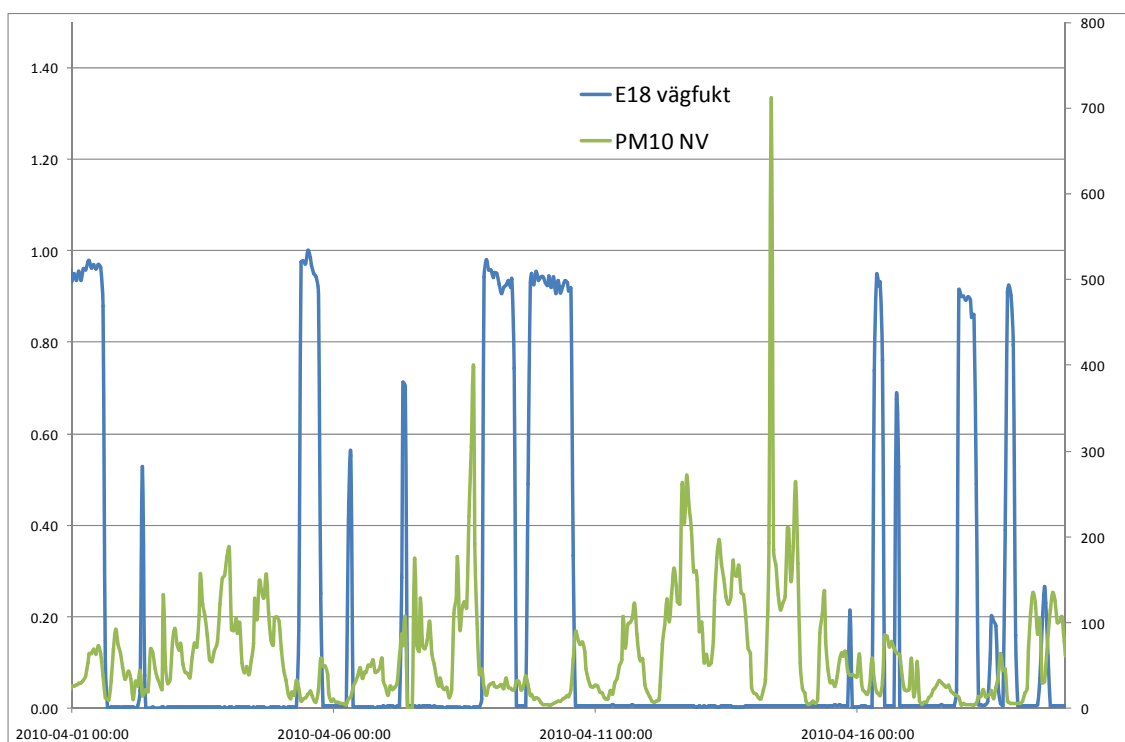
Figur 10. Andelen fordon som använder dubbdäck på E18, Ekerövägen samt Sveavägen.

6.4 Luftföroreningshalter

Dygnsmedelhalterna för båda stationerna vid Danderyds kyrka visas för PM_{10} i Figur 11 och för NO_x i Figur 13. Effekten av de fuktiga vägbanorna under november till februari syns tydligt för PM_{10} -halterna. Endast enstaka dagar med förhöjda halter uppmättes före mitten på mars. När snön började smälta och vägbanorna blev torra steg halterna och de flesta dygnet mellan 10 mars och 31 maj uppvisade förhöjda halter av PM_{10} . Att vägytans fuktighet har mycket stor påverkan på halterna av PM_{10} visas även i Figur 12. Figuren visar vägytans fuktighet och PM_{10} -halterna under den period som fuktsensorerna var i drift vid E18. Höga halter av PM_{10} uppmäts under denna period endast vid perioder då vägytan är torr. Som en följd av de fuktiga vägbanorna under inledningen av 2010 var PM_{10} -halterna längs E18 och på samtliga övriga mätstationer i Stockholmsområdet låga under perioden januari till mitten på mars.

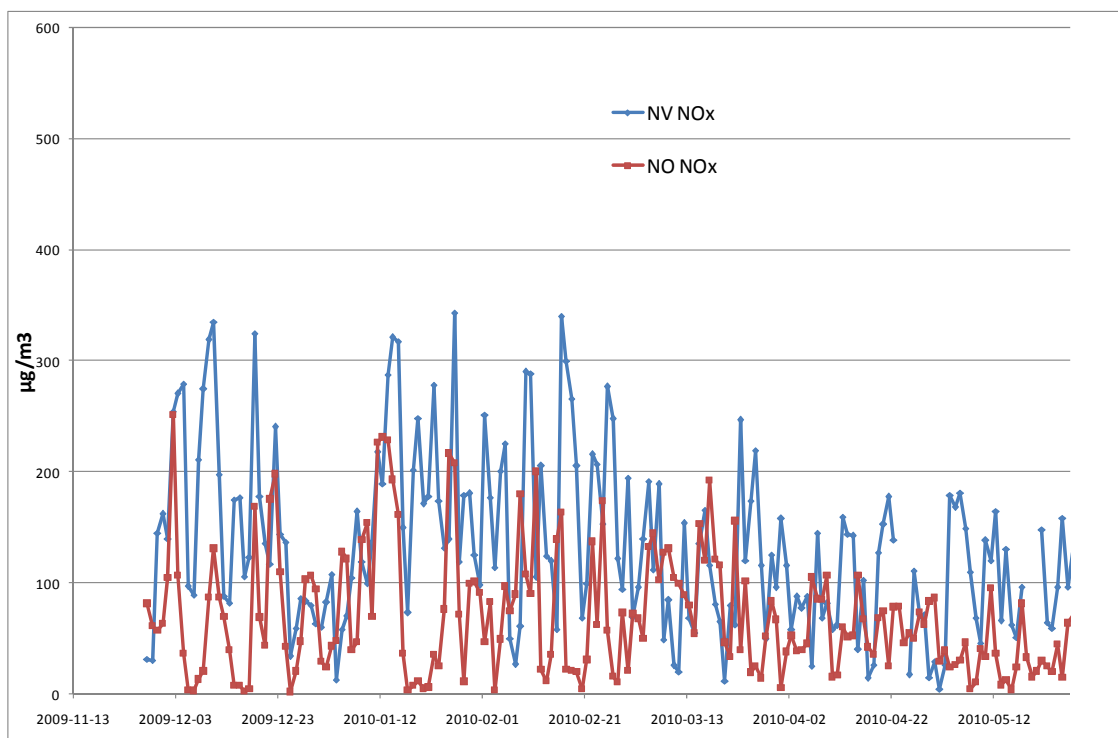


Figur 11. Dygnsmedelhalter av PM₁₀ för mätstationerna vid Danderyds kyrka.



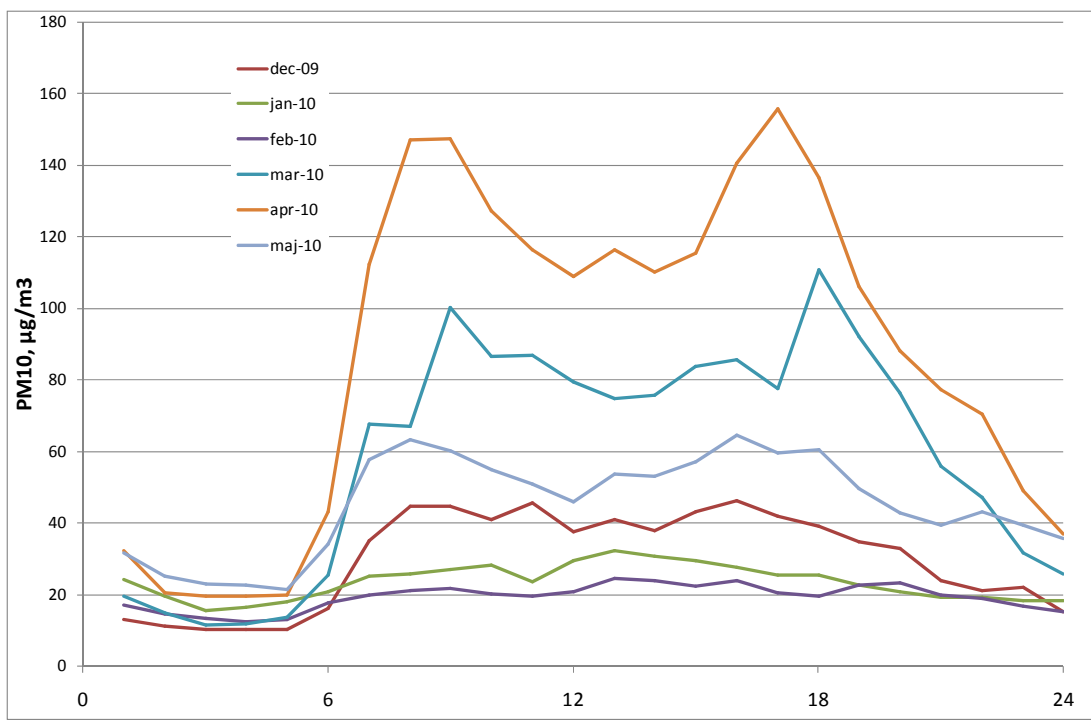
Figur 12. Jämförelse mellan PM₁₀-halterna och vägytans fuktighet vid E18.

Halterna av NO_x (Figur 13) varierade på ett helt annat sätt än PM₁₀ under mätperioden. NO_x kommer från fordonens avgasutsläpp och påverkas inte av vägytans fuktighet. Miljökvalitetsnormerna gäller för NO₂, men NO_x är ett bättre mått på föroreningarna som kommer från fordonens avgaser. Generellt var halterna höga under december till februari med undantag av julhelgen. De låga temperaturerna under vintern gjorde att det ofta bildades stabila väderförhållanden och inversion under morgonen och förmiddagarna. Det ledde till förhöjda halter. För NO_x ses även att halterna var högre på västra sidan, till skillnad från PM₁₀ där halterna oftast var högre på östra sidan. De tunga fordonen bidrar till en relativt stor del av NO_x utsläppen och de färdas främst i körfältet närmast mätvagnen och påverkar de uppmätta halterna relativt mycket. PM₁₀-emissionerna däremot kommer främst från dubbdäckens slitage på vägytan. Dubbdäck finns nästan uteslutande på personbilar, vilka färdas i samtliga körfält och PM₁₀-emissionerna kan därför bli mera utspädda innan de når mätvagnen.

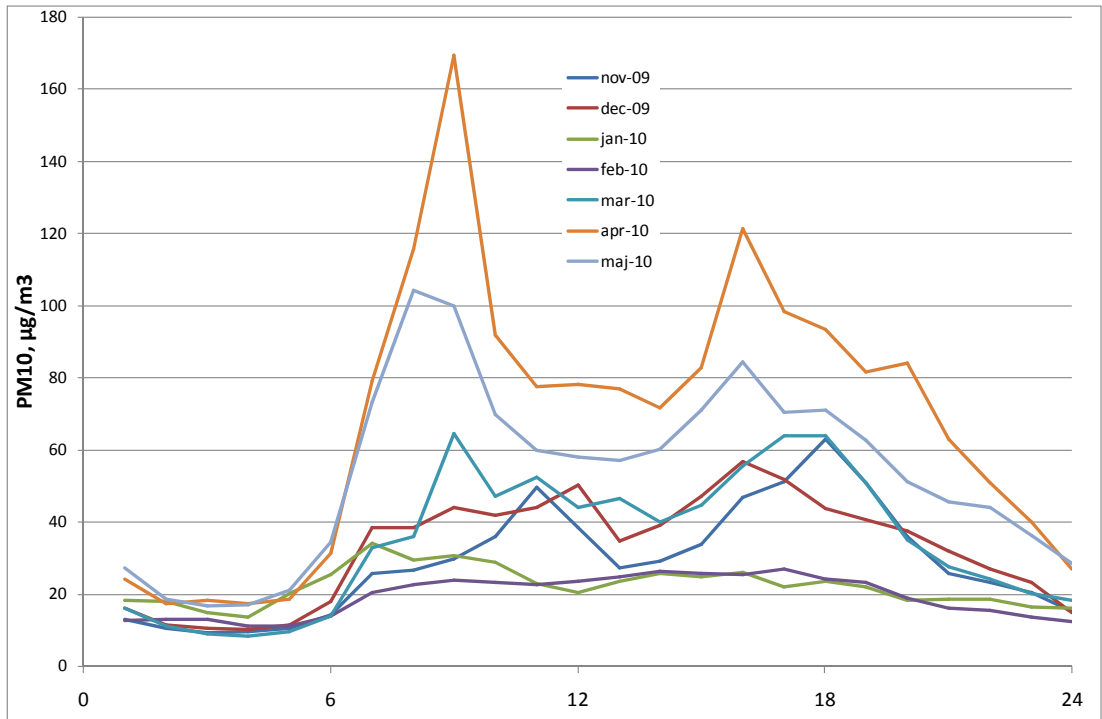


Figur 13. Dygnsmedelhalterna av NO_x för mätstationerna vid Danderyds kyrka.

Som jämförelse mellan de olika mätstationerna och även mot trafiken presenteras medeldygnsvariationer under vardagsdygn. Mätdata finns med 15-minuters tidsupplösning, men presenteras i figurerna nedan endast som timmedelvärden. I Figur 14 visas PM₁₀-halterna vid Danderyds kyrka östra sidan vägen och i Figur 15 visas halterna vid Danderyds kyrka västra sidan vägen under vardagsdygn, uppdelat per månad.



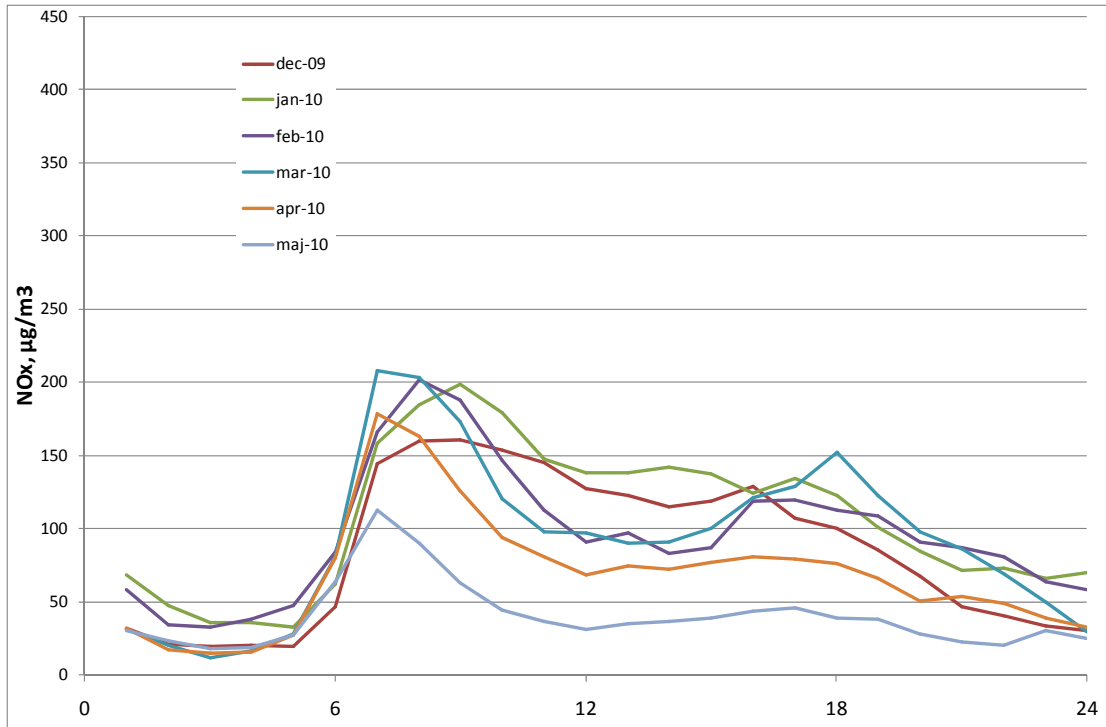
Figur 14. Dygnsvariationen för PM₁₀ under vardagar vid station NO.



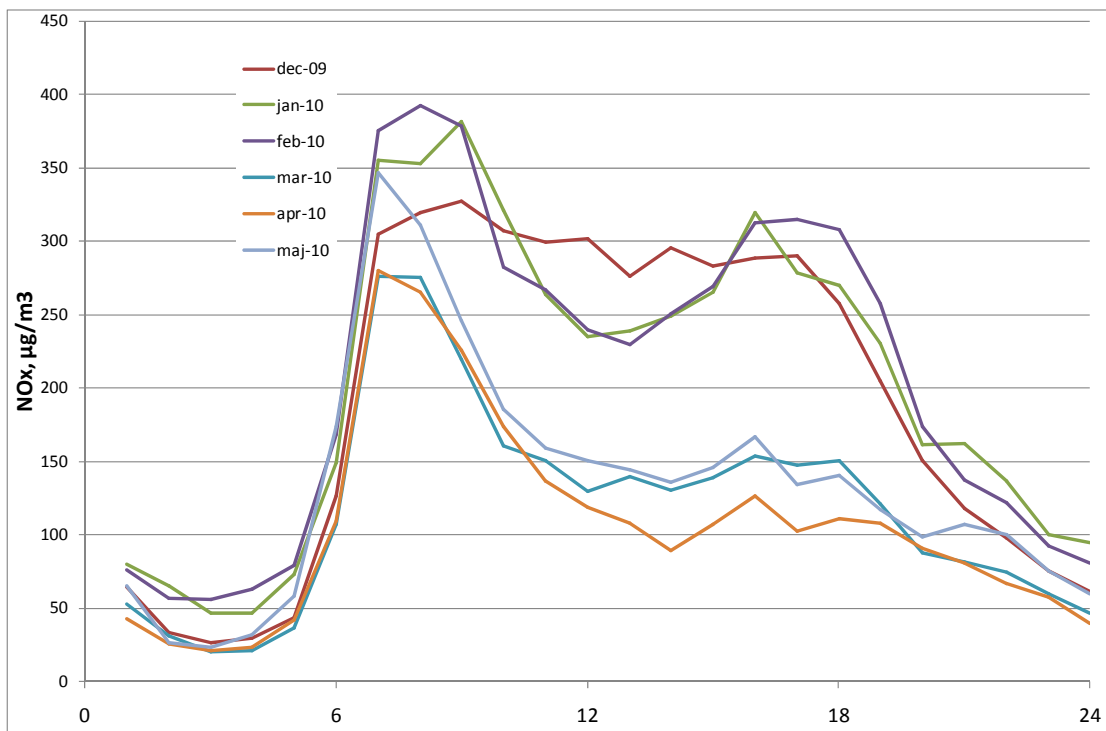
Figur 15. Dygnsvariationen för PM₁₀ under vardagar vid station NV.

Figur 14 och Figur 15 visar tydligt att de högsta halterna uppmättes under april månad samt att de lägsta uppmättes under februari. Orsaken till detta är variationen av vägbanans fuktighet (stycke 6.2). Variationerna mellan de olika månaderna skiljer sig mellan östra och västra sidan av vägen. Orsaken till detta är variationen i vindriktningen. Den stora andelen västlig vind under mars gav utslag genom att halterna var betydligt högre på östra sidan av E18 (stycke

6.2). Under maj 2010 uppmättes höga halter trots att endast en liten del av fordonen använde dubbdäck. Den främsta orsaken är förmodligen att de partiklar som bildades under den långa vintern med fuktiga vägbanor fanns kvar till stor utsträckning i anslutning till vägen och virvlades upp under slutet på april och i maj.

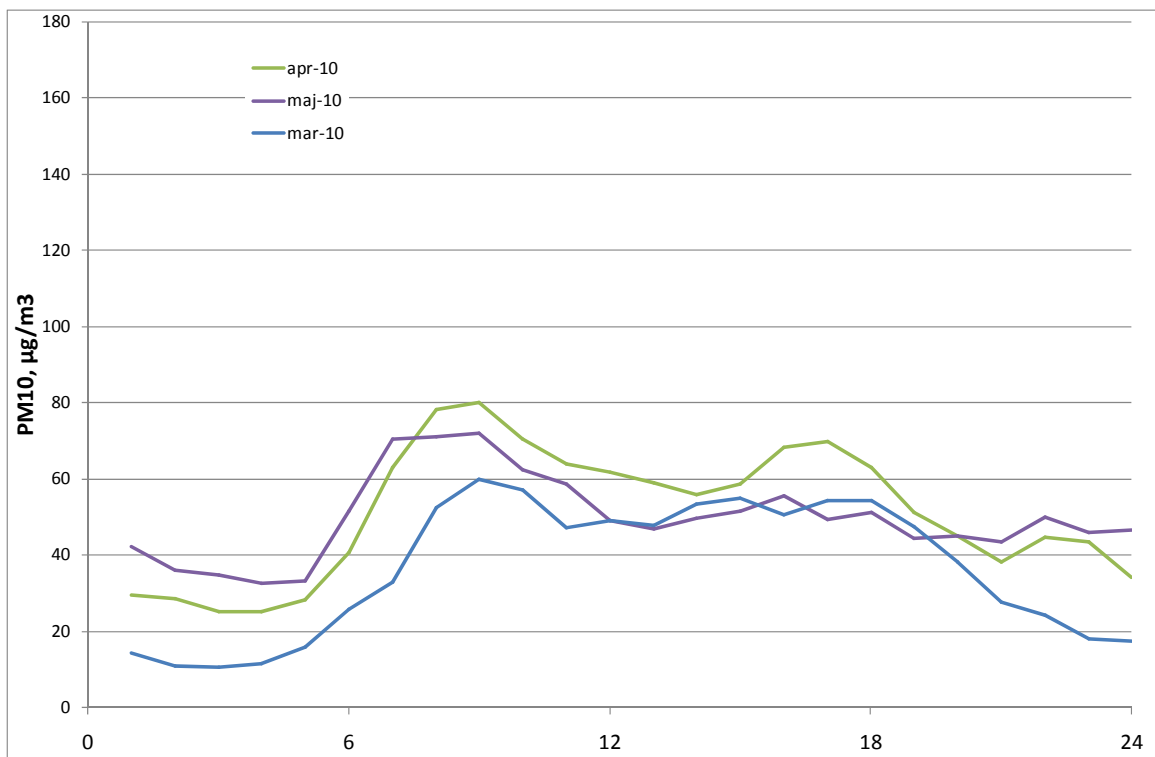


Figur 16. Dygnsvariationen för NO_x under vardagar vid station NO. Observera annan skala än i **Figur 17**.

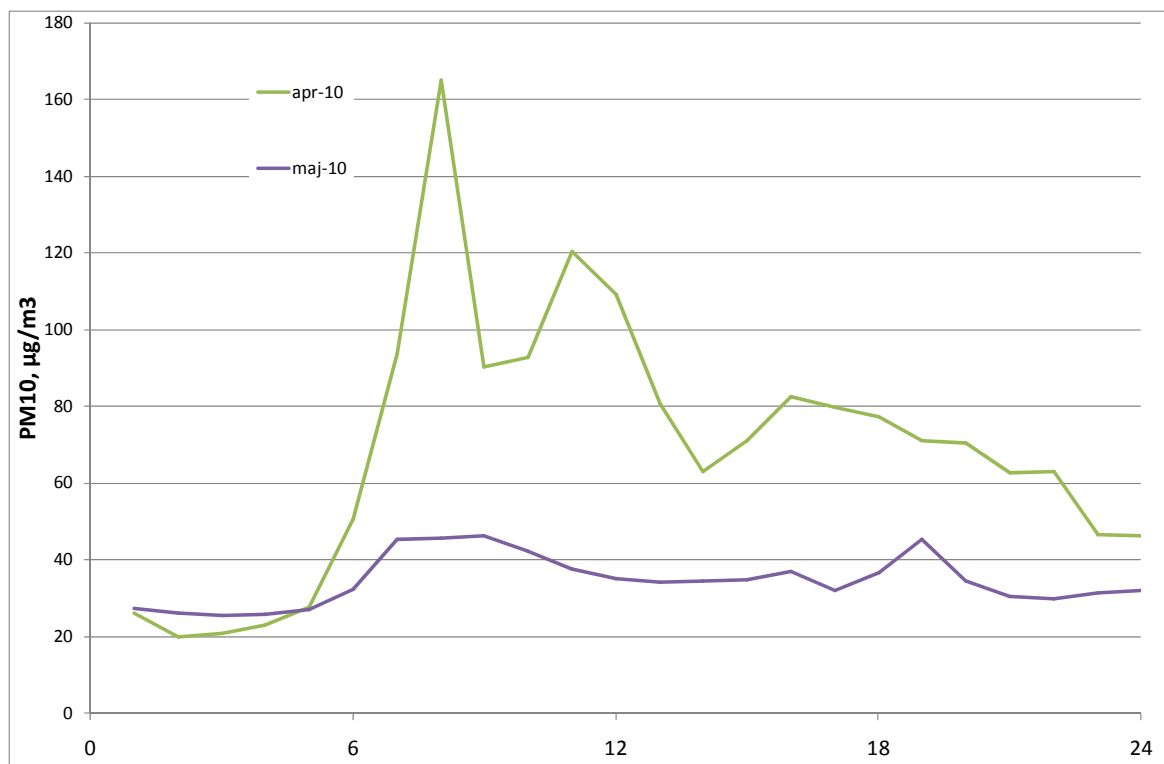


Figur 17. Dygnsvariationen för NO_x under vardagar vid station NV. Observera annan skala än i **Figur 16**.

Variationerna under vardagsdygnet för NO_x-halterna i Figur 16 och Figur 17 uppvisar ett något annat mönster än för PM₁₀. För stationen NO var halterna ungefär desamma under samtliga månader med undantag av maj som uppvisade betydligt lägre halter. Orsaken till detta var den stora dominansen av ostliga vindar under maj (Figur 9). För stationen NV är variationerna större mellan månaderna. Halterna under morgonrusningen är ungefär desamma, men senare under dagen är skillnaderna stora mellan de lägre halterna under mars-maj och de högre under december-februari. När våren kom så blir det större turbulens och utvädring under dagen och eftermiddagen till skillnad från under vintern då de stabila förhållandena kan finnas kvar under hela dagen. Den lilla andelen ostliga vindar under maj 2010 (Figur 9) återspeglar sig också i låga NO_x halter på västra sidan under maj.



Figur 18. Dygnsvariationen för PM₁₀ under vardagar vid station SO.



Figur 19. Dygnsvariationen för PM₁₀ under vardagar vid station SV.

Mätstationerna vid Danderyds sjukhus hade lägre tidstäckning (Tabell 1) och endast ett fåtal månader med data finns med i Figur 18 och Figur 19. Medeldygnsvariationen var ungefär densamma på södra sidan under både mars, april och maj vilket skiljer sig till viss del från stationen NO. Stationerna vid Danderyds sjukhus är mer öppet placerade och påverkas mer av vind än de vid Danderyd kyrka, vilket kan vara en av orsakerna till de mindre variationerna vid de södra stationerna. Tidstäckningen för stationen vid SV var ännu lägre och data finns endast under april och maj. Tydligt är ändå att PM₁₀-halterna var betydligt högre under april än under maj. Observera att data från april inte är jämförbara mellan station SO och SV på grund av den stora skillnaden i tidstäckning, se Tabell 1.

6.5 Medelhalter och jämförelse med miljö kvalitetsnormer

Eftersom mätningarna inte genomförts under ett helt år kan värdena inte direkt jämföras med miljö kvalitetsnormerna. En sammanfattning av halterna presenteras i tabellerna nedan. I tabellerna är mätstationerna namngivna efter N = nord, mätstationerna vid Kyrkskolan och S = syd, mätstationerna vid Danderyds sjukhus. Placeringen på de olika sidorna av vägen anges med O = ost och V = väst.

Tabell 2. Fördelningen av antalet dagar med PM₁₀-halter över 50 µg/m³ vid E18 samt vid L:a Essingen som jämförelse. Siffran inom parantes visar antal dagar med tillgängliga data. Max antalet tillåtna dygn över 50 µg/m³ för ett kalenderår är 35.

	NV	NO	SV	SO	L:a Essingen
November	0 (16)	-	-	-	1 (30)
December	4 (27)	0 (30)	-	-	5 (31)
Januari	1 (31)	3 (31)	-	-	1 (31)
Februari	0 (26)	0 (28)	-	-	1 (26)
Mars	7 (31)	17 (31)	-	5 (23)	14 (31)
April	14 (30)	21 (30)	4 (5)	12 (30)	14 (30)
Maj	9 (31)	6 (24)	4 (26)	9 (23)	6 (31)
Totalt	35 (192)	47 (174)	8 (31)	26 (76)	42 (210)

PM₁₀-halterna är som högst under senvintern och våren för att sedan vara generellt låga under sommaren och hösten. Detta är också typiskt för andra mätstationer och andra år (se exempelvis LVF-rapport 2010:2 och SLB-rapport 3:2010). Endast ett fåtal dygn med halter över 50 µg/m³ uppmäts under juni-oktober, så summan i Tabell 2 är troligen nära det verkliga utfallet för ett kalenderår.

Kartläggningen av PM₁₀-halterna i Danderyd av luftvårdsförbundet (<http://www.slb.nu/lvf/pdf/PM10karta/2005/danderyd.pdf>) visar på överskridanden vilket alltså bekräftas av dessa mätningar.

Tabell 3. Genomsnittliga PM₁₀-halter vid E18 under 2009/2010 samt vid L:a Essingen som jämförelse. Miljökvalitetsnorm för kalenderår är 40 µg/m³. Enhet: µg/m³.

	NV	NO	SV	SO	L:a Essingen
November	23,5	16,7	-	-	29,6
December	24,9	22,2	-	-	25,6
Januari	20,5	18,4	-	-	20,4
Februari	19,4	57,5	-	-	19,0
Mars	38,2	71,9	-	35,6	51,4
April	53,7	37,1	69,9	44,4	52,9
Maj	43,3	16,7	34,9	47,8	35,6
Hela perioden	33,0	37,7	-	-	33,8

Medelvärdena för november 2009 – maj 2010 framgår av Tabell 3. Medelvärdena ligger mellan 30 och 40 µg/m³. Eftersom halterna är betydligt lägre under andra tider på året är det osannolikt att miljökvalitetsnormen för årsmedelvärdet (40 µg/m³) överskrids vid någon av stationerna.

Tabell 4. Fördelningen av antalet dagar med NO₂ halter över 60 µg/m³ vid E18 samt vid L:a Essingen som jämförelse. Siffran inom parantes visar antal dagar med tillgängliga data. . Det högsta antalet tillåtna dygn med halter över 60 µg/m³ är sju under ett helt år.

	NV	NO	L:a Essingen
November	0 (4)	0 (4)	0 (30)
December	1 (31)	3 (31)	2 (30)
Januari	14 (31)	8 (31)	12 (31)
Februari	16 (28)	4 (28)	13 (28)
Mars	9 (31)	8 (31)	9 (31)
April	0 (28)	0 (30)	0 (30)
Maj	1 (28)	0 (31)	0 (31)
Hela perioden	41 (181)	23 (186)	36 (211)

I Tabell 4 jämförs halterna av NO₂ vid E18 med miljö kvalitetsnormen för dygn. De ogynnsamma väderförhållandena under vintern ledde till ovanligt höga NO₂ halter och många dygn över normvärdet, både vid E18 samt vid L:a Essingen. De uppmätta halterna kan jämföras med kartläggningen av NO₂ halterna i Danderyds kommun (<http://www.slb.nu/lvf/Miljokvalitetsnormer/no2karta/2006/danderyd.pdf>). Kartläggningen visar på att det inte skulle vara överskridanden i anslutning till E18. Mätningarna i denna rapport visar att överskridande sker, vilket även var fallet för mätningar under våren 2009 (SLB-rapport 7:2009). Båda årens mätningar antyder att kartläggningen underskattar halterna i anslutning till E18 vid Danderyd. Orsaken kan delvis vara ett högre trafikflöde sedan kartläggningen gjordes. Kartläggningen av NO₂-halter kommer troligen att uppdateras under 2011.

Tabell 5. NO₂ halter i µg/m³ vid E18, samt vid L:a Essingen. Miljökvalitetsnorm för kalenderår är 40 µg/m³.

	NV	NO	L:a Essingen
November	27,0	29,9	28,3
December	42,1	27,4	32,8
Januari	57,9	40,2	58,2
Februari	60,0	34,0	58,9
Mars	45,9	44,0	50,9
April	34,0	34,5	38,5
Maj	35,3	20,5	35,7
Hela perioden	45,6	33,4	43,2

I Tabell 5 jämförs NO₂-halterna vid E18 med miljökvalitetsnormen för kalenderår. För station NV är medelvärdet för mätperioden över miljökvalitetsnormen. Under sommaren och hösten är även halterna av NO₂ normalt lägre än under vintern och våren, dels tack vare lägre trafikflöde, men även tack vare lägre ozonhalter och mindre tillfällen med stabila meteorologiska förhållanden. Som exempel har stationen vid L:a Essingen under perioden 2005-2009 aldrig överskridit årsmedelnormen (LVF-rapport 2010:2). Medelvärdet vid E18 går inte att jämföra med miljökvalitetsnormen, men jämförelsen med L:a Essingen antyder att årsmedelvärdet 40 µg/m³ inte överskrider för ett kalenderår.

6.6 Sammanfattning av mätningarna

Mätprogrammet under vintern 2009 och våren 2010 längs E18 i Danderyd har resulterat i en stor mängd data. De två mätstationerna i anslutning till Danderyds kyrka har levererat data med tillfredsställande kvalitet under perioden december 2009 till maj 2010. Under samma period har även fullständiga trafikdata levererats från Trafikverket och data från dessa stationer ligger till stor grund sambanden mellan fordonshastighet och PM₁₀ i denna rapport. De två mätstationerna vid Danderyds sjukhus har endast levererat data med bra kvalitet under april och maj 2010 och samband mellan hastighet och PM₁₀ har endast kunnat göras under den perioden.

Vintern 2009/2010 bjöd på mycket snö vilket på ett påtagligt sätt påverkade halterna av PM₁₀. En kall och snörik period från mitten av december till mitten på mars medförde att vägbanorna konstant var fuktiga vilket bidrog till låga PM₁₀-halter under hela perioden. Vägbanorna torkade upp i mitten på mars och då steg PM₁₀-halterna kraftigt och var höga mätperioden ut. En sannolik orsak till höga halter även under maj kan vara att mycket partiklar som bildats av dubbdäckens slitage på vägbanan inte transporterats bort under perioden med fuktiga vägbanor. När de sedan blev torra blev halterna höga på grund av uppvirvling av ackumulerade partiklar. Halterna av PM₁₀ både med avseende på

månadsmedelvärden och på antalet dygn över 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ var generellt något lägre under mars-maj 2010 än för motsvarande period under 2009 (SLB-rapport 7:2009). För NO_2 var halterna förhöjda under december 2009 till februari 2010. Stabila meteorologiska förhållandet under perioden med snötäcke orsakade höga NO_2 halter som sedan tydligt sjönk när snön började smälta i mitten på mars. Halterna av NO_2 under mars 2010 var tydligt högre än under mars 2009 (SLB-rapport 7:2009), men för april och maj är de ungefär likvärdiga under 2009 och 2010.

För både PM_{10} och NO_2 uppmättes överskridande av miljökvalitetsnormerna med avseende på dygn, trots att mätningarna endast gjordes under en del av ett år. Det är andra året i rad som överskridande uppmätts i anslutning till E18.

Trafiken och hastigheten uppvisade en tydlig dygnsvariation med tydliga toppar på vardagarna under morgon och eftermiddagsrusning. Under morgonrusningen sker även en tydlig sänkning av hastigheten. Detsamma sker även på eftermiddagen, men är då inte lika stor. Hastigheten och trafikflödet är något lägre vid Danderyds sjukhus än vid Danderyds kyrka. Medelhastigheten varierar till största del mellan 70 och 95 km/h, med några få undantag.

Halterna av PM_{10} och NO_x skiljer sig stort mellan de olika månaderna, till största del orsakat av de meteorologiska förhållandena samt variation i dubbdäcksanvändningen. Däremot varierar halterna av både PM_{10} och NO_x på samma sätt som trafikflödet, med högsta halterna under morgonrusningen, för samtliga månader med mätdata varierade. Sämre omblandning av luften under morgonen och förmiddagen gör att halterna är tydligt högre i samband med morgonrusningen än under eftermiddagen. Samvariationen mellan luftföroreningshalterna och trafikflödet visar tydligt på att det är trafiken på E18 som är den största källan till luftföroreningshalterna vid mätstationerna (SLB rapport 7:2009).

7 Regressionsanalys – modell för prediktion av fordons hastighetens betydelse för PM₁₀-halterna

7.1 Metodik

Stegvis multipel linjär regression³ applicerades på mätningar vid E18, Essingeleden och i Södra länken tunneln enligt följande modeller:

$$\Delta PM_{10} = A * \text{Antal_fordon} + B * \text{Fordons hastigheten} + C * \text{Relativ_luftfuktighet} + D * \text{Temperatur} + E * \text{Vindhastigheten} + F * \text{STDvindhastighet} + G * \text{STDvindriktning}$$

$$\Delta PM_{10}/\Delta NO_x = A * \text{Antal_fordon} + B * \text{Fordons hastigheten} + C * \text{Relativ_luftfuktighet} + D * \text{Temperatur} + E * \text{Vindhastigheten} + F * \text{STDvindhastighet} + G * \text{STDvindriktning}$$

Med ” ΔPM_{10} ” menas ökningen av PM₁₀-halten på grund av utsläppen från trafiken. Eftersom antalet fordonspassager har mycket stor inverkan på bidraget till PM₁₀-halterna från trafiken används också kvoten ” $\Delta PM_{10}/\Delta NO_x$ ”, dvs kvoten mellan bidraget från trafiken till PM₁₀ och bidraget till NO_x. För E18 beräknades ΔPM_{10} och ΔNO_x som skillnaden mellan halten på de olika sidorna av vägen. För vindriktningar mellan 190 och 340 grader beräknades ΔPM_{10} och ΔNO_x som halten på den östra minus den på västra sidan av vägen. För vindriktningar mellan 20 och 170 grader beräknades ΔPM_{10} och ΔNO_x som halten på den västra minus den på östra sidan av vägen. Halterna vid övriga vindriktningar användes ej.

För Essingeleden beräknades ΔPM_{10} och ΔNO_x som skillnaden mellan halten invid Essingeleden och halten i taknivå på Torkel Knutssongatan (urban bakgrund). För Södra länken gjordes inget avdrag för bakgrundshalter eftersom halterna i änden av tunneln helt domineras av utsläppen från trafiken in i tunneln. I tunneln baserades regressionen endast på antal fordon och medelhastigheten.

Standardavvikelse (STD) i vindhastighet och vindriktning är mått på den turbulenta omblandningen. Regressionsberäkningarna har applicerats på data från norra och södra mätplatserna. För södra mätplatsen har endast ΔPM_{10} beräknats eftersom NO_x inte mättes där.

Till skillnad från beräkningarna som genomfördes i förra rapporten (SLB 7:2009), används nu alla data oavsett vägbaneförhållanden (tidigare användes endast perioder med torra vägbanor). Dessutom ingår nu de uppmätta fordonsflödena för norrgående körfält längs E18. Detta betyder att betydligt mer data ingår i regressionsanalyserna. I samtliga regressionsanalyser användes 15-minutersmedelvärden. Detta kan bidra till att öka möjligheterna att finna samband mellan fordons hastigheten och PM₁₀-halterna eftersom de största variationerna i

³ Beräkningarna genomfördes med stegvis multipel linjär regression med partiellt F-test (MLRF med Fishers F-kriterium, Airviro/SMHI). F-värde (F-in) för inkludering av variabel sattes till 0.05 (5 % sannolikhet att en icke signifikant variabel inkluderas) och F-värde (F-out) för förkastande av variabel som tidigare inkluderats sattes till 0.25 (25 % sannolikhet att variabeln inte signifikant bidrar till att förklara variansen i PM₁₀-halten). Statistikprogrammet XLSTAT har använts för att beräkna förklaringsgraderna för olika variabler.

hastigheten främst förekommer under morgon- och eftermiddagsrusning, som är en begränsad period av dygnet.

7.2 Resultat från regressionsanalysen

7.2.1 E18 Norrtäljevägen

I Tabell 6 redovisas regressionskoefficienterna för norra (Kyrkskolan) och södra (Danderyds sjukhus) mätstationen längs E18. Av tabellen framgår att koefficienterna för fordonshastighetens påverkan på både ΔPM_{10} och kvoten $\Delta PM_{10}/\Delta NO_x$ vid norra stationen är signifikanta (värdena är skilda från noll med 95 procents konfidensintervall). För kvoten $\Delta PM_{10}/\Delta NO_x$ är koefficienten för fordonshastighetens påverkan 0.011 ± 0.003 g PM_{10}/g NO_x per km/h, dvs PM_{10} -bidraget ökar med 110 ± 30 mg/g NO_x för 10 km/h ökad hastighet. Kvoten ($\Delta PM_{10}/\Delta NO_x$) är inte beroende av fordonsslödet vilket är rimligt eftersom detta påverkar både PM_{10} och NO_x -bidraget. Däremot påverkas kvoten signifikant av relativa fuktigheten, vilket kan bero på att vägbanans fuktighet påverkar PM_{10} -bidraget men inte NO_x -bidraget. PM_{10} påverkas mest av emissionerna av slitagepartiklar, som i sin tur beror på vägbanans fuktighet. NO_x beror uteslutande på avgasemissionerna som inte påverkas av vägbanans fuktighet.

För södra stationen erhöles inget signifikant samband med fordonshastigheten, vilket sannolikt beror på att det finns för få relevanta mätvärden (336 värden jämfört med över 4 500 värden för norra stationen). Alla övriga koefficienter för ΔPM_{10} är signifikanta enligt det 95-procentiga konfidensintervallet. Av tabellen framgår också att PM_{10} -bidraget (ΔPM_{10}) ökar med fordonsslödet vilket förstås beror på att emissionerna ökar då fordonsslödet ökar. Bidraget minskar då relativa fuktigheten ökar, vilket har samma förklaring som för kvoten ($\Delta PM_{10}/\Delta NO_x$) enligt ovan. Vidare minskar bidraget då turbulensen (luftomblandningen) ökar, vilket framgår av negativa koefficienter för standardavvikelseerna av vindhastighet och vindriktning.

Tabell 6. Regressionskoefficienter från multipel linjär regression av ΔPM_{10} och kvoten $\Delta PM_{10}/\Delta NO_x$ mot antal fordon ($\mu\text{g}/\text{m}^3$ respektive g PM_{10}/gNO_x per fordon), fordonshastighet ($\mu\text{g}/\text{m}^3$ respektive g PM_{10}/gNO_x per km/h), relativ luftfuktighet ($\mu\text{g}/\text{m}^3$ respektive g PM_{10}/gNO_x per %), temperatur ($\mu\text{g}/\text{m}^3$ respektive g PM_{10}/gNO_x per °C), vindhastighet ($\mu\text{g}/\text{m}^3$ respektive g PM_{10}/gNO_x per m/s), standardavvikelse av vindhastighet ($\mu\text{g}/\text{m}^3$ respektive g PM_{10}/gNO_x per m/s) och standardavvikelse av vindriktning ($\mu\text{g}/\text{m}^3$ respektive g PM_{10}/gNO_x -grad). För Norra stationen ingår data under perioden december-maj 2010 och för södra mars-maj 2010. Standardfelen avser 95 % -iga konfidensintervall. Data från E18.

	Antal värden	Intercept	Antal ford.	Ford.- hast.	Vind- hast.	Temp.	Relativ fukt.	STD vind- hast.	STD vind- riktn.
$\Delta PM_{10}/\Delta NO_x$ (Norra stationen)	4522	-0.080 ± 0.31		0.011 ± 0.003			-0.013 ± 0.001	0.18 ± 0.09	0.009 ± 0.001
ΔPM_{10} (Norra stationen)	4987	30 ± 21	0.025 ± 0.004	0.84 ± 0.20		0.40 ± 0.19	-0.79 ± 0.075	-32 ± 5.0	-0.21 ± 0.062
ΔPM_{10} (Södra stationen)	336	98 ± 25	0.019 ± 0.010	(¹)	-10 ± 8.8	-1.6 ± 0.90	-0.42 ± 0.21	-23 ± 19	-0.31 ± 0.16

(¹) Fordonshastighetens inverkan för Södra mätstationen bidrog ej signifikant till PM_{10} -bidraget vid stegvis multipel linjär regression. Med (vanlig) multipel linjär regression erhöles värdet 0.21 ± 0.31 , dvs ej signifikant skilt från noll.

7.2.2 Essingeleden

Mot bakgrund av att hastighetssambandet blev signifikant vid E18 då alla vägbaneförhållanden inkluderades, genomfördes nya beräkningar också för Essingeleden (i rapporten SLB 7:2009 inkluderades endast torra dagar). Mätningarna vid Essingeleden har pågått sedan 2005 och trafikdata har använts sedan 2006. Mätprogrammet omfattar PM_{10} , $PM_{2.5}$, NO_x och sot och värdena sparas som 15 minuters medelvärden. Mätningarna genomförs av SLB-analys och på uppdrag av Trafikverket. Till skillnad från mätningarna vid E18 finns på Essingeleden ingen mätstation på motsatta sidan av vägen. Före regressionsanalysen har halterna på Torkel Knutssongatan dragits ifrån, så att värdena bättre representerar bidraget från trafiken på Essingeleden.

Tabell 7. Regressionsanalys baserad på data från mätningarna invid Essingeleden för kvoten $\Delta PM_{10}/\Delta NO_x$ mot antal fordon, fordonshastighet, relativ luftfuktighet, temperatur, vindhastighet, standardavvikelse av vindhastighet och standardavvikelse av vindriktning. Standardfelen avser 95 % -iga konfidensintervall.

År	Period (Antal värden)	Intercept	Antal ford.	Ford.-hast.	Vind-hast.	Temp.	Relativ fukt.	STD vind-hast.	STD vind-riktn.
2006 (bara december ¹)	1583	0.685 ± 0.697		0.010 ± 0.007			-0.017 ± 0.004	0.107 ± 0.061	0.039 ± 0.011
2007	7306	0.653 ± 0.158		0.0049 ± 0.0016	0.011 ± 0.017		- 0.0079 ± 0.0006		-0.0022 ± 0.0019
2008	10717			0.012 ± 0.002	0.054 ± 0.018	-0.040 ± 0.003	-0.018 ± 0.001	-0.091 ± 0.053	
2009	10618	0.227 ± 0.190		0.011 ± 0.002	0.071 ± 0.010	-0.014 ± 0.002	-0.011 ± 0.001		0.005 ± 0.002
2010 (jan-maj)	7255	0.034 ± 0.261		0.010 ± 0.003	0.049 ± 0.027	0.011 ± 0.003	-0.007 ± 0.001	-0.071 ± 0.064	-0.003 ± 0.003
2006-2010	37515	0.374 ± 0.092		0.010 ± 0.001	0.063 ± 0.006	-0.009 ± 0.002	-0.011 ± 0.001		0.002 ± 0.001

¹ Saknas NO_x-data för jan-maj på Torkel Knutssonsgatan (15 – minutersvärden).

Av Tabell 7 framgår regressionskoefficienterna för kvoten $\Delta PM_{10}/\Delta NO_x$ under månaderna januari-maj samt december. Koefficienten för fordonshastighetens inverkan på kvoten var ungefär densamma under alla år (0.010 – 0.012), utom år 2007 då den var lägre 0.0049 ± 0.0016. Koefficienterna stämmer mycket bra med värdet som erhöles vid E18 (0.011 ± 0.003). Den låga koefficienten under 2007 kan hänga samman med att PM₁₀-halterna påtagligt reducerades med hjälp av dammbindning längs Essingeleden just det året. Under samtliga dygn med prognos om torra vägbanor under perioden 1 februari tom 3 april behandlades vägbanan med magnesiumkloridlösning, vilket reducerade halterna med 25 % - 35 % (SLB rapport 3:2007).

Samtliga år erhålls negativa koefficienter för relativ fuktighet, dvs ökad luftfuktighet minskar PM₁₀-bidraget från vägbaneslitage, vilket troligen hänger samman med ökad vägbanefuktighet.

7.2.3 Södra länken

Regressionsanalyser genomfördes också på data från Södra länken-tunneln. I tunneln mäts NO_x , PM_{10} , fordonsslöden, fordonshastigheter och luftflöden. Förhållandena är bättre kontrollerade än längs motorvägarna där meteorologin har stor inverkan på halternas variationer (i tunneln styrs luftflödet av trafikflödet och bakgrundshalterna har marginell inverkan). Analysen gjordes på de totala halterna av PM_{10} och NO_x från samma plats. Fordonsslöden och fordonshastigheter mättes på en plats som kan anses representativ. Analysen gjordes för kvoten mellan PM_{10} - och NO_x -halter från tunneln under februari – april 2009.

Av Tabell 8 framgår att koefficienterna för fordonshastigheten är signifikanta. Värdet för hastighetens inverkan på kvoten österut (0.0099 ± 0.0029) är något högre än för västgående trafik (0.007 ± 0.0014). Skillnaderna kan hänga samman med olika påverkan från anslutande ramper, olika fordonssammansättning mm.

Tabell 8. Regressionsanalys baserad på data från mätningarna i Södra länken 2009 för kvoten $\Delta\text{PM}_{10}/\Delta\text{NO}_x$ mot antal fordon och fordonshastighet. Medelvärden och 95 % -iga konfidensintervall.

År	Antal värden	Intercept	Antal fordon	Fordons-hastighet
Västerut	4988	-0.0544 ± 0.1193	0.0002 ± 0.0001	0.0077 ± 0.0014
Österut	4550	-0.2991 ± 0.2160	0.0004 ± 0.0001	0.0099 ± 0.0029

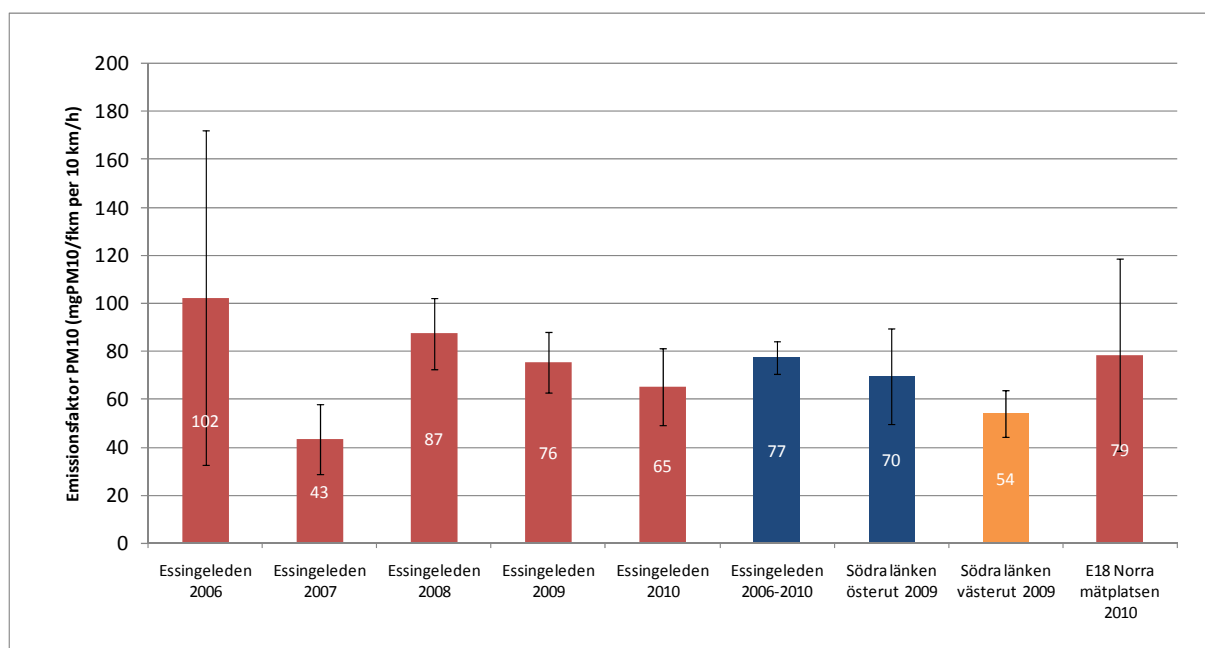
7.3 Sammanställning av emissionsfaktorer med hänsyn till fordonshastighet

För att kunna jämföra hastighetssambanden från E18, Essingeleden och Södra länken beräknades emissionsfaktorer genom att multiplicera regressionskoefficienterna för $\Delta\text{PM}_{10}/\Delta\text{NO}_x$ (g PM_{10} /g NO_x per km/h) med emissionsfaktorn för NO_x (g per fordonskilometer; g/fkm). Emissionsfaktorerna för NO_x beror främst på vilket år som avses (fordonsparkens ålder) samt fordonssammansättningen och till viss del på fordonshastigheten.

I Tabell 9 och Figur 20 presenteras beräknade emissionsfaktorer för PM_{10} från mätningarna längs E18, Essingeleden och Södra länken. De flesta värdena skiljer sig inte signifikant (dvs. de 95-procentiga konfidensintervallen överlappar). För E18 var medelvärdet 79 mg PM_{10} /fkm per 10 km/h. Om man bortser från 2007 (då dammbindning genomfördes) finns en tendens till sjunkande emissionsfaktor på Essingeleden under perioden 2006-2010, även om skillnaderna mellan åren inte är statistiskt signifikanta. Det går dock inte att avgöra om det finns en sjunkande trend i mängden PM_{10} som emitteras, eftersom emissionsfaktorn för NO_x har sjunkit kraftigt under perioden. Medelvärdet för samtliga mätningar under 2009 – 2010 är 68 ± 8.4 mg PM_{10} /fkm per 10 km/h.

Tabell 9. Emissionsfaktorer för PM₁₀ beroende på hastighet beräknade från regressionskoefficienterna i Tabell 6, Tabell 7, Tabell 8.

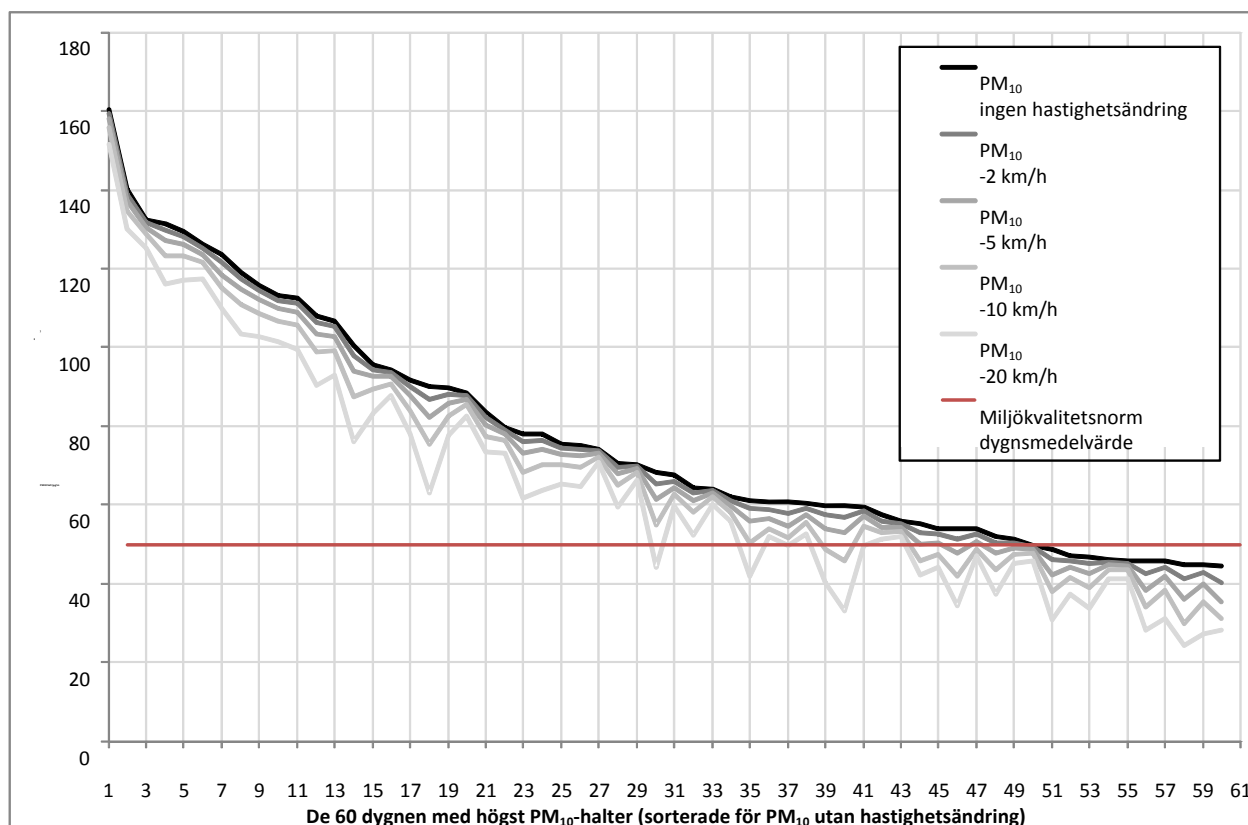
Plats	Tidsperiod	Använd emissionsfaktor för NO _x (g NO _x /fkm)	Emissionsfaktor ± 95 procentiga konfidensintervall (mg PM ₁₀ /fkm per 10 km/h)
E18 Norra mätplatsen	Dec 2009 – maj 2010	0.70	79 ± 40
Essingeleden	Dec 2006	1.0	102 ± 70
Essingeleden	Jan – maj, dec 2007	0.88	43 ± 15
Essingeleden	Jan – maj, dec 2008	0.75	87 ± 15
Essingeleden	Jan – maj, dec 2009	0.69	76 ± 12
Essingeleden	Jan – maj, dec 2010	0.62	65 ± 16
Essingeleden	2006 – 2010	0.77	75 ± 7
Södra länken österut	Jan – apr 2009	0.70	70 ± 20
Södra länken västerut	Jan – apr 2009	0.70	54 ± 10
Medelvärde (alla data, 2009-2010)	-	-	68 ± 8.4



Figur 20. Emissionsfaktorer för PM₁₀ beroende på hastighet (samma data som Tabell 9).

8 Vad kan miljöanpassad hastighet betyda för PM₁₀-halterna

Syftet med detta avsnitt är att uppskatta effekten av hypotetiska hastighetsminskningar för PM₁₀-emissionerna och PM₁₀-halterna vid mätstationen vid Kyrkskolan längs E18. Hastighets sambandet för E18 applicerades på mätningarna som genomfördes under december 2009 – maj 2010. Nedan redovisas effekterna på dygnsmedelvärden och periodmedelvärden (eftersom normerna gäller dygnsvärden och årsmedelvärden).



Figur 21. Beräknade effekter av fordonshastigheten på de 60 högsta dygnsmedelvärdena av PM₁₀-halterna längs E18 (norra mätplatsen) under december 2009 – maj 2010. Värdet "utan hastighetsändring" avser den uppmätta högsta halten (läsidan av vägen). Övriga linjer visar vad halten skulle kunnat vara om den genomsnittliga hastigheten under dagtid (06-18) varit 2, 5, 10 respektive 20 km/h lägre än den verkliga vid mätningen.

Figur 21 visar vilken betydelse de hypotetiska hastighetsminskningarna har för de 60 högsta dygnsmedelvärdena av PM₁₀-halterna längs E18 (norra mätplatsen). Av figuren framgår att de högsta PM₁₀-halterna skulle kunna sjunka med upp till flera $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Men om halten är högre än ca $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ räcker inte ens en hastighetsreduktion med 20 km/h för att halten ska bli lägre än normen för dygnvärdet ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Den maximala minskningen av halten som åstadkoms med en reduktion på 2, 5, 10 och 20 km/h är $4,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $6,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $6,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ respektive $12,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Förhållandena gäller för mätperioden. Effekten av en hastighetsreduktion på antalet överskridanden beror på hur de totala halterna fördelar sig, dvs. hur många värden som ligger strax över $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Tabell 10. Beräknade effekter av fordonshastigheten på antalet dygnsmedelvärden över 50 µg/m³ samt periodmedelvärdet av PM₁₀ vid E18 (norra mätplatsen, Kyrkskolan) beroende på hypotetiska minskningar av medelhastigheten under dagtid (06-18). Värdet "utan hastighetsändring" avser den uppmätta högsta halten (läsidan av vägen). PM₁₀-värdena utan hastighetsförändringar utgörs av mätningar under 5 månader (december 2009 - april 2010).

	PM ₁₀ utan hastig- hets- ändring	PM ₁₀ vid 2 km/h lägre hastig- het	PM ₁₀ vid 5 km/h lägre hastig- het	PM ₁₀ vid 10 km/h lägre hastig- het	PM ₁₀ vid 20 km/h lägre hastig- het
Antal dygnsmedelvärden > 50 µg/m ³	49	49	45	41	37
Antal färre dygn >50 µg/m ³ med lägre medelhastighet		0	4	8	12
Periodmedelvärde (µg/m ³)	41	39	37	36	33
Minskning av medelvärdet med lägre medelhastighet		-4 %	-8 %	-13 %	-18 %

Tabell 10 visar att en minskning av medelhastigheten med 2, 5, 10 respektive 20 km/h under dagtid (06-18) skulle ge 0, 4, 8, respektive 12 färre dygn med halter över 50 µg/m³. För att minska antalet dygn med halter över 50 µg/m³ till färre än 35 (som är kravet enligt miljö kvalitetsnormen) skulle medelhastigheten behöva sänkas med mer än 20 km/h under de förhållanden som var rådande perioden december 2009 – maj 2010. Andra år kan samma hastighetsminskning leda till flera (eller färre) dygn med halter över (eller under) normen beroende på de totala halterna, som i sin tur påverkas av främst lokala förhållanden såsom vägbanornas fuktighet och meteorologin (vindhastigheten och stabiliteten) samt i viss mån av bidrag till halterna från andra källor och intransport av partiklar från andra länder. Tabellen visar också att medelhalterna minskar med 4 % - 18 % vid en hastighetsreduktion på 2 – 20 km/h.

9 Diskussion och slutsatser

Resultaten i denna rapport ligger i linje med flera tidigare undersökningar. Vid användning av dubbdäck ökar vägbaneslitaget när fordonshastigheten ökar (VTI notat 21, 1997; VTI 543, 2006). Slitaget beror förutom hastigheten på typen av vägbeläggning, typ av dubbar samt huruvida vägbanan är torr eller fuktig. Undersökningar med provvägsmaskin har visat att PM₁₀ bildningen ökar när hastigheten ökar (Gustafsson et al., 2009; VTI rapport 520, 2005).

Mätningar av PM₁₀-emissionerna vid användning av olika typer av däck längs vägar i verklig trafikmiljö, visar också på ett tydligt samband mellan fordonshastigheten och PM₁₀-bildningen (Hussein et al., 2008; Pirjola et al., 2009). Likaså har mätningar i Söderledstunneln i Stockholm visat att PM₁₀-emissionen beror av hastigheten (Kristensson et al, 2004).

Däremot finns inte många studier som kvantifierat vad en sänkning av hastigheten kan betyda för partikelhalterna längs vägarna. En sänkning av medelhastigheten på riksväg 4 i Oslo med ca 10 km/h gav en kraftig minskning av PM₁₀-halterna (Hagen et al., 2005). De största

partiklarna (grova partikelfraktion; partiklar med en diameter mellan 10 och 2.5 μm), som till största delen beror på vägbaneslitaget, var ca 39 % lägre medan den genomsnittliga reduktionen för alla partiklar mindre än 10 μm (PM_{10}), uppskattades till ca 36 %. De totala PM_{10} -halterna, som också påverkas av andra källors bidrag såsom vedeldning, sjönk också men inte så mycket (ca 20 %). Mot bakgrund av att dubbdäcksandelen var betydligt lägre i Oslo (ca 25 %) så förefaller effekten på partikelreduktionen av denna hastighetsreduktion vara väldigt kraftig.

Sänkt hastighet och jämnare trafikflöde har också testats i Holland, men effekterna på partikelhalterna var mycket små (IPL-8, 2009). Dubbdäck används inte i Holland, vilket gör att resultaten inte kan jämföras med resultaten från analyserna och mätningarna i denna rapport. Studier i USA m fl. länder där dubbdäck inte används har också visat att fordonshastigheten påverkar uppvirvlingen av partiklar från vägbanorna (Abu-Allaban et al., 2003; Kuhns et al., 2001; Countess et al. 2001).

Det bör noteras att hastighetssambanden i denna studie gäller för motorvägar/infartsleder med hastigheter på 50 – 100 km/h, omkring 5 % - 7 % tung trafikandel och en dubbdäcksandel på upp till 60 % - 70 %. Partikelemissionerna längs dessa vägar uppkommer sannolikt främst direkt i samband med slitaget av beläggningen, inte i så stor utsträckning på grund av suspension av ackumulerat material på vägbanan. På infartslederna används enbart salt vid halkbekämpning (inte sand). Emissionsfaktorerna kan inte appliceras på innerstadsgator där väg- och trafikförhållandena ofta är helt annorlunda; ryckigare körning kan bidra till ökat slitage, mer ackumulerat material på vägbanorna innebär att en större del av partikelemissionerna beror på uppvirvling, inslag av sandning i kombination med salt kan påverka slitage av vägbanor och bidra till uppvirvling av partiklar etc. Mobila mätningar indikerar att hastighetens betydelse för PM_{10} -emissionerna minskar vid lägre hastigheter (under ca 50 km/h) (Hussein et al., 2008). Ytterligare studier krävs för att undersöka hur fordonshastigheten påverkar halterna på andra platser.

Till största delen beror PM_{10} -emissionerna vid de platser som studerats på slitage av vägbanorna. Fordonshastigheten påverkar inte bara slitage-genererade partiklar utan också partiklar och gaser som släpps ut via avgasemissionerna. Minskade fordonshastigheter innebär därmed också minskade emissioner av avgasutsläppen och därmed minskad miljö- och hälsopåverkan av dessa.

Slutsatser

- I denna rapport har vi analyserat hur fordonshastigheten påverkar PM_{10} -halterna längs E18, Södra länken och Essingeleden.
- Emissionsfaktorer har beräknats utifrån regressionskoefficienter för kvoterna mellan PM_{10} -halterna och NO_x -halterna för respektive dataset. Emissionsfaktorerna visar sig vara ungefär lika stora och signifikanta på samtliga platser, vilket **styrker att sambanden är tillförlitliga** och inte har uppkommit av en slump.
- Den genomsnittliga emissionsfaktorn för alla platser under 2009 – 2010 är 68 ± 8 mg PM_{10} /fkm per 10 km/h ändrad fordonshastighet. Regressionsanalys av mätdata från E18 (i höjd med Kyrkskolan) gav en emissionsfaktor på 79 ± 40 mg PM_{10} /fkm per 10 km/h.
- Genom att använda det samband som erhållits för E18 beräknades vilka effekter olika hastighetsminskningar skulle kunna få för halterna av PM_{10} . Analysen visar att om

medelhastigheten under dagtid (06-18) skulle sänkas med 2, 5, 10 respektive 20 km/h så skulle detta innebära 0, 4, 8, respektive 12 färre dygn med halter över gränsvärdet 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

- För att minska antalet dygn med halter över 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ till färre än 35 (som är kravet enligt miljö kvalitetsnormen) skulle medelhastigheten behöva sänkas med mer än 20 km/h under de förhållanden som var rådande perioden december 2009 – maj 2010.
- Effekterna av hastighetsminskningen på antalet dygn med halter över 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ beror i hög grad på de meteorologiska förhållandena under våren i samband med att PM_{10} -halterna är som högst. Chanserna att minska antalet dygn över 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ökar givetvis om halterna ofta ligger strax över 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ jämfört med om halterna är betydligt högre.
- En hastighetsminskning reducerar också medelhalterna, vilket minskar den totala befolkningsexponeringen och därmed också hälsoeffekterna bland befolkningen av partikelemissionerna. Studier av olika hälsoeffekter av partiklar talar för en linjär relation mellan halterna och effekterna och att det inte finns någon tröskelnivå för halterna under vilken hälsorisk är noll (Forsberg & Segerstedt, 2004).

10 Litteraturreferenser

Samtliga SLB-, LVF- och ITM-rapporter finns att ladda ner från www.slb.nu/lvf under Rapporter.

- Abu-Allaban, M., John A. Gillies, Alan W. Gertler, 2003. Application of a multi-lag regression approach to determine on-road PM_{10} and $\text{PM}_{2.5}$ emission rates, Atmospheric Environment, 37, 11th International Symposium, Transport and Air Pollution, December 2003, 5157-5164.
- Countess, R., Barnard, W., Claiborn C., Gilette, D., Latimer, D., Pace, T., Watson, J., 2001. Methodology for estimating fugitive windblown and mechanically resuspended road dust emissions applicable for regional scale air quality modelling. Final Report for WGA Contract No. 30203-9. Countess Environmental 4001 Whitesail Circle Westlake Village, CA 91361, USA.
- Forsberg, B. & Segerstedt, B., 2004. Vägdamm och grova partiklars effekter på befolkningens hälsa. Vägverket, publikation 2004:136.
(http://publikationswebbutik.vv.se/upload/1097/2004_136_vagdamm_och_grov_a_partiklars_effekter_pa_manniskans_halsa.pdf).
- Gustafsson M, Blomqvist, G., Gudmundsson, A., Dahl, A., Jonsson, P., Swietlicki, E., 2009, Factors influencing PM_{10} emissions from road pavement wear, Atmospheric Environment, 43, 4699-4702. doi:10.1016/j.atmosenv.2008.04.028.
- Hagen, L.O; Larssen, S., Schaug, J., 2005. Speed limit in Oslo effect on air quality of reduced speed on RV4 (Only in Norwegian). NILU OR 41/2005, ISBN 82-425- 1686-3, Norwegian Institute for Air Research, Kjeller, Norway. Hussein, T., Johansson, C., Karlsson, H., & Hansson, H. C., 2008. Factors affecting non-tailpipe aerosol particle emissions from paved roads: On-road measurements in Stockholm, Sweden. Atmospheric Environment, 42, 688-702.

- Hussein, T., C. Johansson, H. Karlsson and H.-C. Hansson, 2008. Factors affecting non-tailpipe aerosol particle emissions from paved roads: on-road measurements in Stockholm, Sweden, *Atmospheric Environment* 42 (2008), 688–702.
- Kristensson, A., Johansson, C. Westerholm, R. Swietlicki, E., Gidhagen, L., Wideqvist, U. and Vesely, V., 2004. Real-World Traffic Emission Factors of Gases and Particles Measured in a Road Tunnel in Stockholm, Sweden. *Atmospheric Environment*, 38, 657-673.
- Kuhns, H., V. Etyemezian, D. Landwehr, C. MacDougal, M. Pitchford and M. Green, Testing re-entrained aerosol kinetic emissions from roads (TRAKER): a new approach to infer silt loading on roadways. *Atmospheric Environment* 35 (2001), 2815–2825.
- Pirjola, L., K.J. Kupiainen, P. Perhoniemi, H. Tervahattu, H. Vesala, 2009. Non-exhaust emission measurement system of the mobile laboratory SNIFFER, *Atmospheric Environment*, 43, Urban Air Quality - Selected Papers from the 6th International Conference on Urban Air Quality, October 2009, 4703-4713.
- SLB-rapport 3:2010. Burman, L., & Norman, M., Luften i Stockholm. Årsrapport 2009.
- SLB-rapport 7:2009. Johansson, C., Norman, M., Sjövall, B., Törnquist, L., Brydolf, M., Norberg, B., Strömberg, P., 2009. Miljöanpassad hastighet på E18 Norrtäljevägen Utvärderingsrapport 2009.
- SLB-rapport 6:2009, Johansson, C., Norman, M., Sjövall, B., Törnquist, L., Brydolf, M., Norberg, B., Strömberg, P., 2009. Miljöanpassad hastighet på E18 Norrtäljevägen – Mätrapport 2009.
- SLB-rapport 2:2008, Johansson, C., Norman, M. & Gustafsson, M., 2008. Genomsnittliga emissionsfaktorer för PM₁₀ i Stockholmsregionen som funktion av dubbdäcksandel och fordonshastighet.
- SLB-rapport 3:2007. Norman, M och Johansson, C. Försök med dammbindning längs E4/E20 vid L:a Essingen 2007.
- SLB-rapport 4:2004, Johansson, C., Norman, M., Omstedt, G., & Swietlicki, E., Partiklar i stadsmiljö – källor, halter och olika åtgärders effekt på halterna mätt som PM₁₀. Slutrapportering av FoU projekt.
- LVF-rapport, 2008:15. Löwenheim, B., Johansson, C. 2008, Beräkning av PM10-halten längs E18 i Danderyd – inverkan av hastighetsbegränsning. Luftvårdsförbundet i Stockholms och Uppsala län.
- LVF-rapport 2010:2. Löwenheim, B., & Norman, M., Luftkvalitet i Stockholms och Uppsala län samt Gävle och Sandviken kommun. Kontroll och jämförelse med miljökvalitetsnormer år 2009.
- ITM-rapport 172:2007, Johansson, C. Kvantifieringen av relativa betydelsen av dubbdäck, sandning/saltning och vägmateriäl för PM₁₀-halterna längs vägarna. Institutionen för tillämpad miljövetenskap, Stockholms universitet.
- IPL-8, 2009. McCrae, I. Review Scientific Board - International review of the Air Quality Innovation Programme. Rijkswaterstaat - Dienst Verkeer en Scheepvaart. Afdeling Innovatie & Implementatie (MII). Innovatieprogramma Luchtkwaliteit (IPL). www.verkeerenwaterstaat.nl (actueel/publicaties).

- VTI Notat 21, 1997. Wågberg, L-G. & Jacobson, T. Utveckling av prognosmodell för beläggningsslitage. Slitageprofil och årskostnad. Statens väg- och transportforskningsinstitut, Linköping.
- VTI-rapport 520:2005, Gustafsson M, Blomqvist, G., Gudmundsson, A., Dahl, A., Jonsson, P., Swietlicki, E., Inandningsbara partiklar från interaktionen mellan däck, vägbanan och friktionsmaterial. Slutrapport av WearTox projektet. Statens väg- och transportforskningsinstitut, Linköping.
http://www.vti.se/templates/Report_2796.aspx?reportid=4706
- VTI-rapport 543:2006, Gustafsson, M., Berglund, C M., Forsberg, B., Forsberg, I., Forward, S., Grudemo, S. Hammarström, U., Hjort, M., Jacobson, T., Johansson, C., Ljungman, A. Nordström, O., Sandberg, U., Wiklund, M., Öberg, G., Effekter av vinterdäck – En kunskapsöversikt. Statens väg- och transportforskningsinstitut, Linköping.
<http://www.vti.se/EPiBrowser/Publikationer/R543.pdf>

11 Appendix A. Kvalitetssäkring av mätresultat

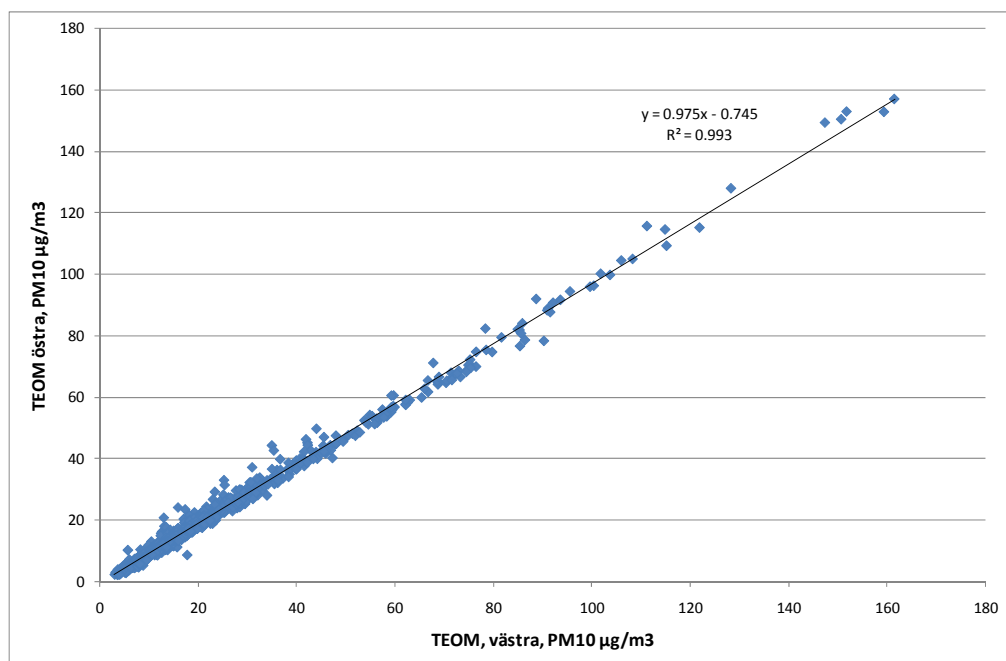
11.1 Trafikräkning

De nya trafikräknarna (Wavetronix) jämfördes med de fasta befintliga för sydgående trafik (ASIM) av Maria Varedian vid Vectura. Totalflöde och medelhastighet stämde mycket bra överens (Maria Varedian, muntligen). Däremot skiljer sig klassningen av tunga fordon mellan de båda typerna av sensorer och inga jämförelser kan göras. Emissionerna av PM₁₀ sker till största del från vägslitage genom dubbdäck på personbilar. Jämförelse av personbilstrafiken för de två olika trafikräknarna visade på små skillnader (Maria Varedian, muntligen) och har inte påverkat analyserna i denna rapport.

11.2 Luftföroreningsmätarna

11.2.1 PM₁₀ TEOM

Mätningarna av PM₁₀ vid de båda norra stationerna utfördes med hjälp av två TEOM instrument. Båda dessa instrument mätte parallellt med varandra under perioden 14 november till 2 december i mätvagnen på västra sidan. De visade på en mycket bra överensstämmelse ($r^2 > 0.99$). Den genomsnittliga skillnaden var mindre än 3 % och visas i Figur 22.



Figur 22. Jämförelsen mellan de två TEOM instrumenten.

11.2.2 PM₁₀ Lighthouse

De båda stationerna vid Danderyd sjukhus var utrustade med Lighthouse instrument för mätning av PM₁₀. Under flera tillfällen under våren 2010 placerades de båda instrumenten i samma mätskåp för jämförelse. Dessutom gjordes jämförelser med TEOM instrumenten vid de norra stationerna. Ett av Lighthouse instrumenten visade något lägre värden (~15 %) än det andra. Skillnaden var konstant mellan de olika parallelljämförelserna och samtlig data i denna

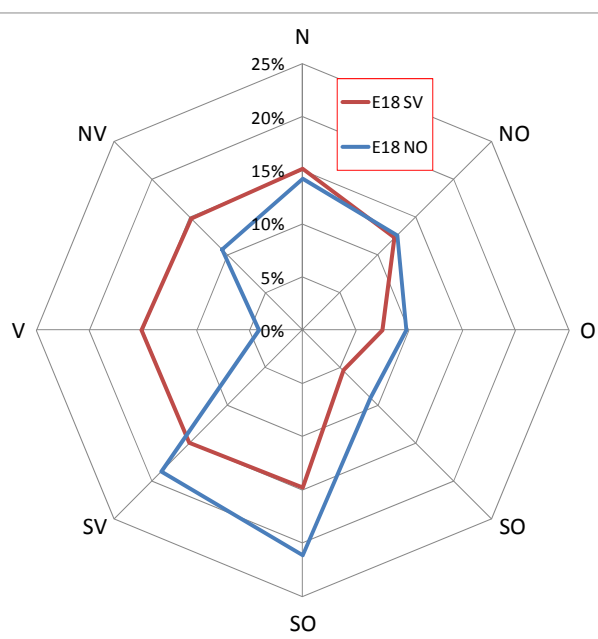
rapport är justerade för denna skillnad. Utöver denna justering har även justeringen för de största partiklarnas storlek gjort i enlighet med proceduren beskriven i SLB-rapport 7:2009.

11.2.3 Kväveoxider, NO_x

Mätinstrumenten för kväveoxider placerade i mätvagnarna vid Kyrkskolan, kalibrerades varannan vecka med hjälp av standardgas från gastub med känd koncentration. Avvikelse från standardgasen var vid samtliga tillfällen mindre än 5 %. Inga parallelltester gjordes för NO_x instrumentet eftersom de kontinuerliga kalibreringarna visade på tillfredsställande precision.

11.3 Vindhastighet och vindriktning

Den nya meteorologiska stationen vid Danderyds sjukhus jämfördes med den som fanns under de tidigare försöken vid den östra stationen vid Danderyds kyrka, samt mot den fasta meteorologiska stationen på Södermalm i Stockholm. Trots att stationerna vid E18 inte var placerade bredvid varandra uppvisade vindhastigheten en mycket bra korrelation mellan stationerna ($r^2=0.84$). I genomsnitt skiljde sig vindhastigheten mellan de båda stationerna mindre än 1 %. Den största anledningen till installerandet av den nya meteorologiska stationen var osäkerheten om vindriktningen vid stationen vid Danderyd kyrka. Den visade upp mer sydliga vindar än de stationer som den jämfördes med och orsaken var troligen att den ligger lite i lä bakom berget där Kyrkskolan ligger (SLB-rapport 7:2009). Den statistiska fördelningen av vindriktningen under mars tom maj 2010 för de båda stationerna presenteras i Figur 23.

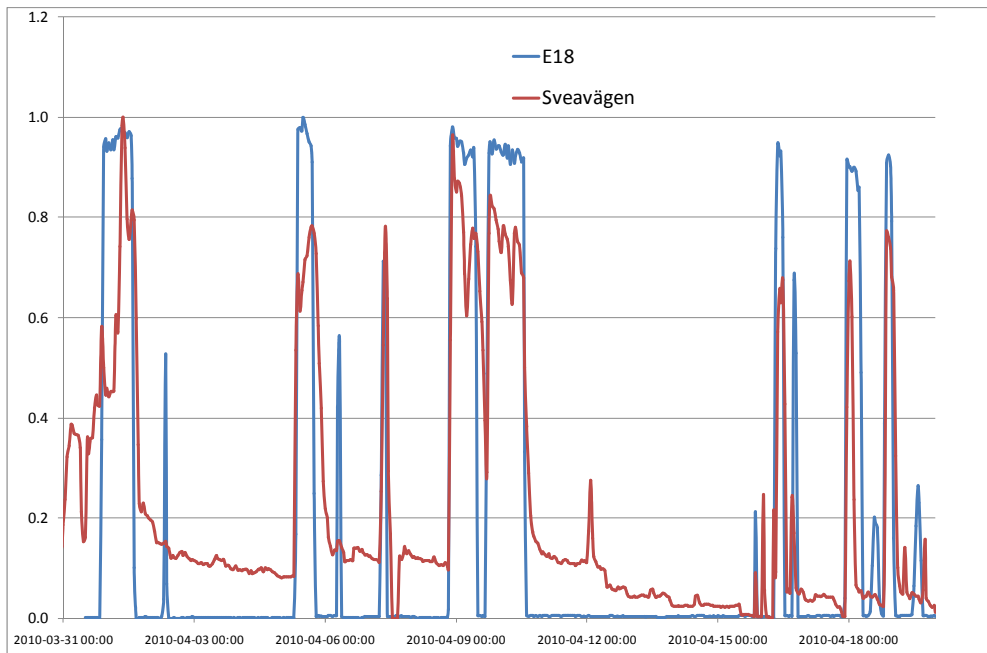


Figur 23. Den statistiska fördelningen av vindriktningen för de båda stationerna vid E18 under mars-maj 2010.

Jämförelsen mellan de båda stationerna verifierar misstanken från föregående mätningssomgång. Det uppmäts betydligt mer sydliga vindar vid den norra stationen. Den nya stationen vid SO stämmer även mycket bättre överens med stationen på Södermalm (visas ej). Vid analysen av mätdata har endast vindriktningen från SO stationen används.

11.4 Sensorer för vägfukt

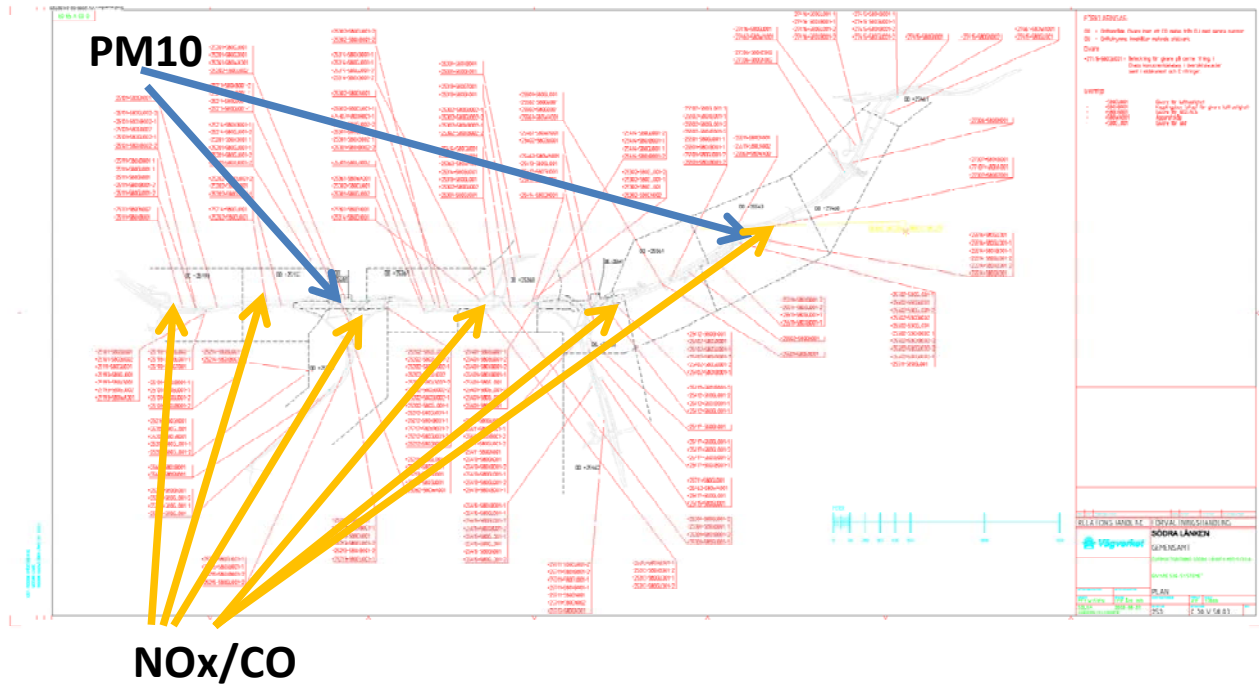
Sensorer för registrering av vägytans fuktighet installerades vid station NV under slutet av mars 2010. Sensorerna var i drift och visade full funktion från den 30 mars fram tom den 20 april varefter de visade på tydliga tecken på att inte leverera tillförlitliga mätdata längre. Fuktsensorerna ger en tydlig voltsignal vid fuktig vägyta och inget utslag vid torr vägbana. Under den perioden sensorerna var i drift vid E18 jämfördes de med motsvarande sensorer på Sveavägen i Stockholm. Jämförelsen visas i Figur 24. Av figuren framgår att sensorerna vid E18 indikerade fuktiga vägbanor vid i stort sett samma tidpunkter som sensorerna på Sveavägen. Skillnaden är oftast att en motorväg som E18, torkar upp snabbare än en innerstadsgata pga högra trafikflöde och högre hastighet. För analysen av mätdata 2009/2010 har Sveavägen fuktsensorer använts. Det blir då en konservativ sortering och det är nästan en garanti att samtliga torra tillfällen fås med i en sådan sortering.



Figur 24. Jämförelse mellan fuktsensorer vid E18 och Sveavägen.

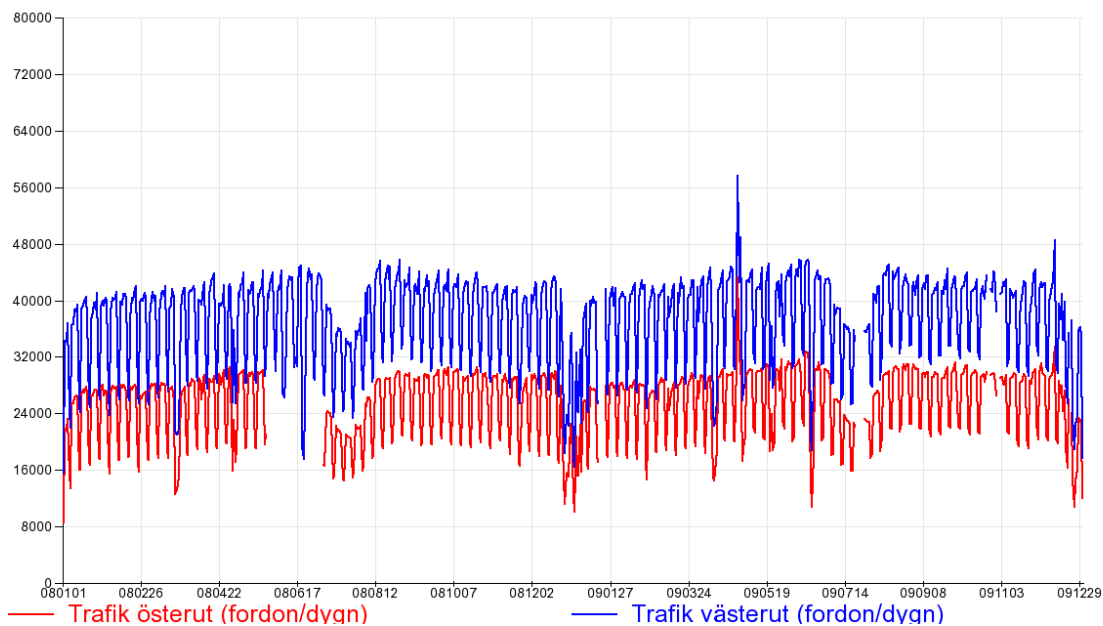
12 Appendix B, Mätdata från Södra länken

Mätdata från Södra länken under 2008 och 2009 har använts för utvärdering.



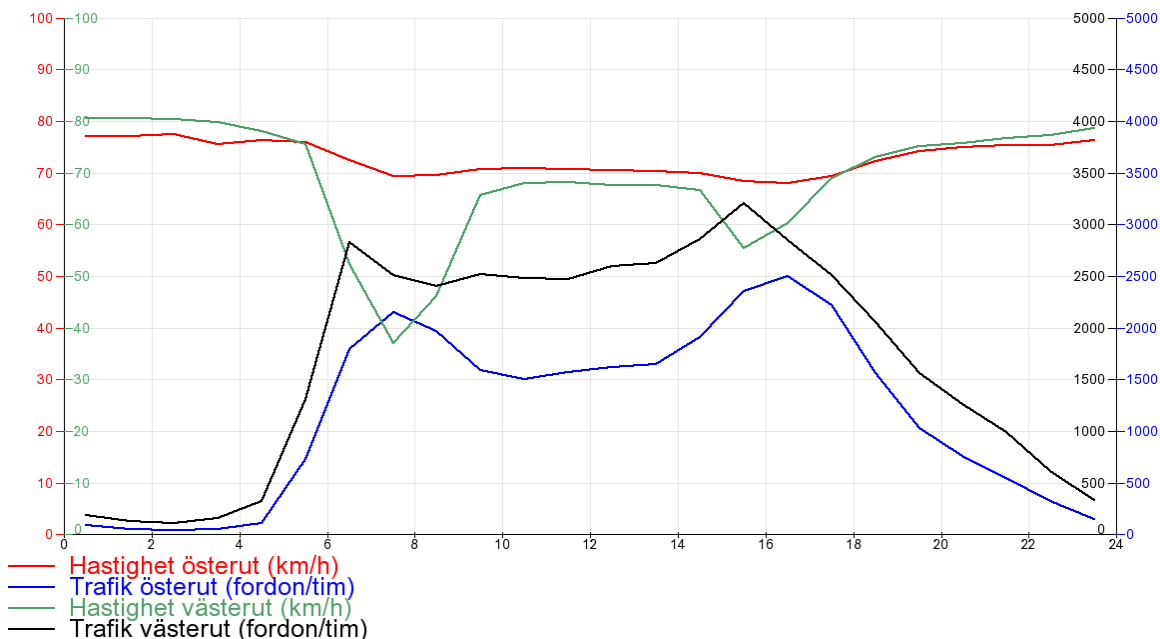
Figur 25. Skiss över Södra länken-tunneln med markering på placering av luftföroreningsmätare.

PM₁₀-halterna i Södra länken mäts på en plats i slutet av varje enskilt tunnelrör, Figur 25. De sensorer för CO och NO_x som med sitt fysiska läge är närmast PM₁₀-monitorerna har använts för utvärderingen. Fordonsflöde och hastighet mäts på många plaster i vardera tunnelröret. Den sensor som ansåg vara mest representativ för halterna som uppmäts vid PM₁₀ - instrumentet har använts för varje tunnelrör. För östgående trafik har sensor 4395 använts och för västgående trafik har sensor 2315 valts.



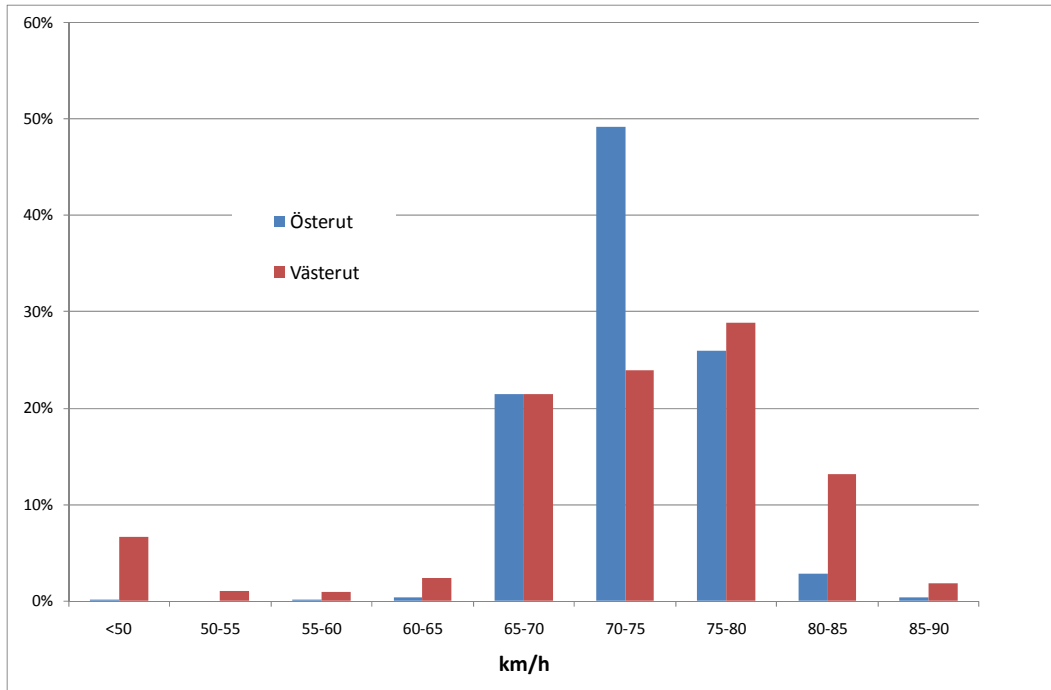
Figur 26. Totala trafiken förbi PM₁₀-instrumenten i södra länken tunneln under 2008 och 2009.

Trafiken i Södra länken-tunneln är konstant bortsett från några minskningar under sommar och juledigheterna, Figur 26. Största mängden trafik i tunneln finns mellan Gullmarsplan och Essingeleden, vilket syns för den västgående trafiken. Mellan Gullmarsplan och Hammarby är det betydligt mindre trafik vilket syns för östgående trafik.



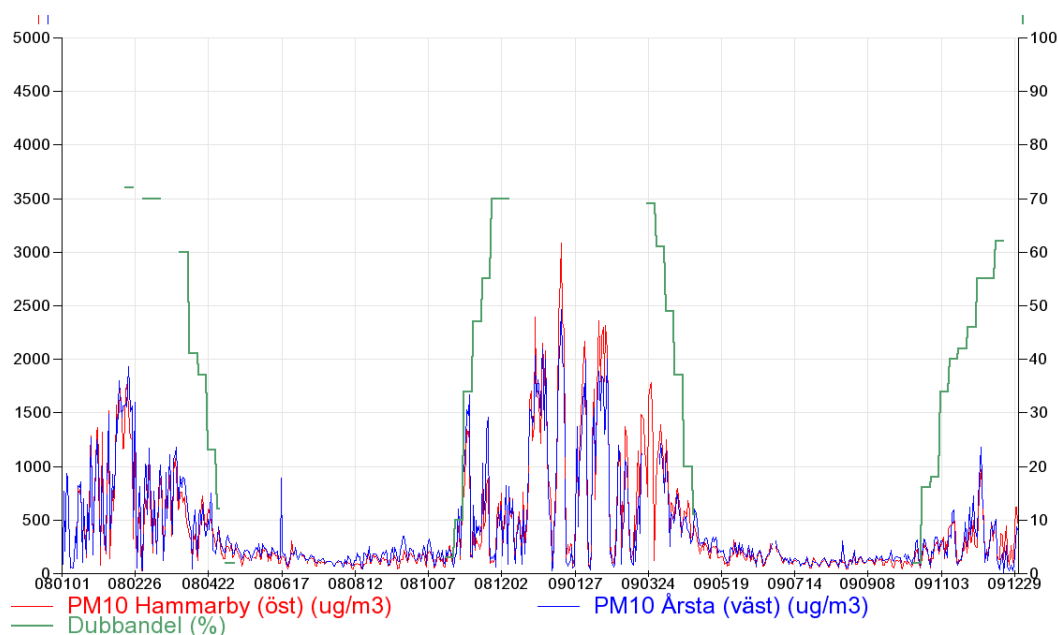
Figur 27. Variationen av hastigheten och trafikflödet under vardagar i södra länken under 2008 och 2009. Värderna visas för de sensorer som valts för utvärdering i denna rapport.

Hur hastigheten och trafikflödet varierar under vardagsdygn presenteras i Figur 27. Största mängden trafik går västerut under morgonen och österut under eftermiddagen. Hastigheten sänks betydligt mer för västgående trafik under rusningstrafik (både morgon och kväll) än för östgående.

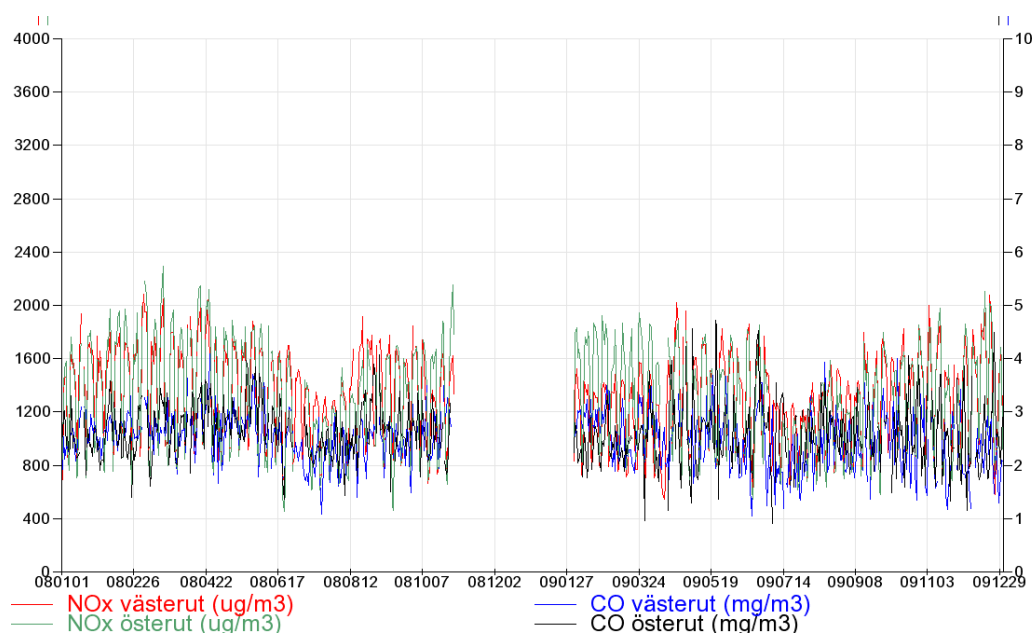


Figur 28. Fördelningen av hastigheten i södra länken under 2008 och 2009.

Fördelningen av olika hastigheter under analysperioden visas i Figur 28. Det framgår att hastigheten är mer konstant för trafiken österut och varierar i stort endast mellan 65 och 80 km/h. För trafiken västerut är hastigheten betydligt mer utspridd. Fler tillfällen med höga (>80 km/h) hastigheter, men även för hastighet under 65 km/h. Vid köbildning blir det nästan stillastående trafik vilket återspeglar sig i drygt 5 % av tiden med hastigheter under 50 km/h.

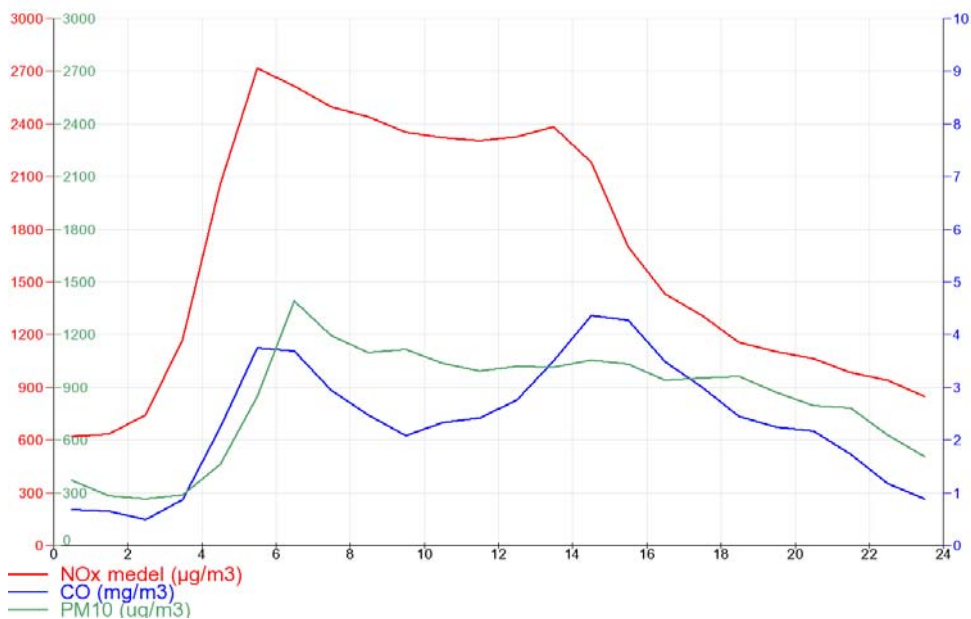


Figur 29. Dagnsmedelvärden av PM_{10} i Södra länken-tunneln jämfört med andelen fordon med dubbdäck (från Ekerövägen) under 2008 och 2009.

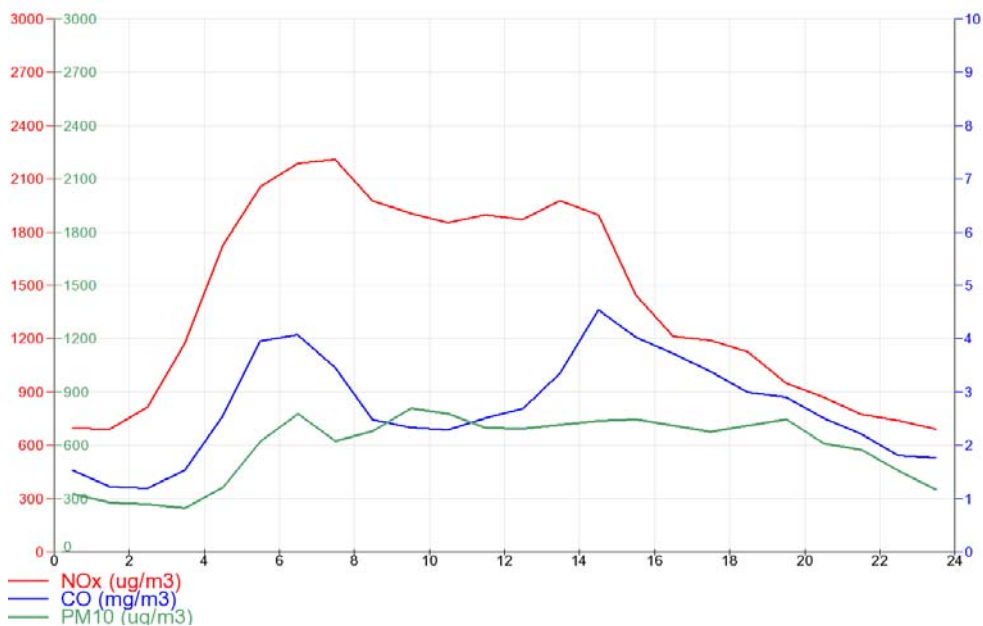


Figur 30. Dagnsmedelvärden av NO_x och CO i Södra länken-tunneln under 2008 och 2009.

Halterna av PM_{10} i tunneln är starkt beroende på dubbdäcksanvändningen vilket visas i Figur 29, där PM_{10} -halterna kraftigt är förhöjda under vintern. Skillnaden från gator och vägar utomhus är att det till största del är torra vägbanor i tunneln, och därför ett tydligare samband med dubbdäcksanvändningen. Däremot är NO_x och CO inte förhöjda under vintern, Figur 30.



Figur 31. Dygnsvariation av PM_{10} , CO, NO_x i tunneln för västgående trafik under vardagsdygn 1 februari till 1 maj 2009.



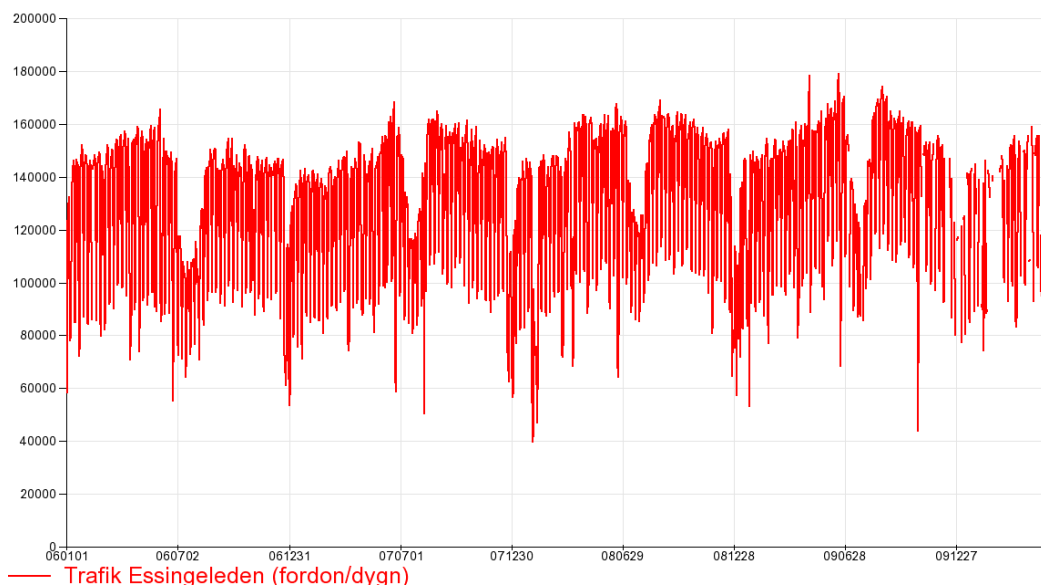
Figur 32. Dygnsvariation av PM_{10} , CO, NO_x i tunneln för östgående trafik under vardagsdygn 1 februari till 1 maj 2009.

Exempel på hur luftföroreningshalterna varierar under vardagsdygn presenteras i Figur 31 och Figur 32. Samtliga parametrar följer trafikflödet vilket visar att trafiken står för utsläppen som påverkar halterna i tunneln.

13 Appendix C, Data från L:a Essingen

Mätstationen bredvid Essingeleden vid L:a Essingen har varit i drift sedan 2005.

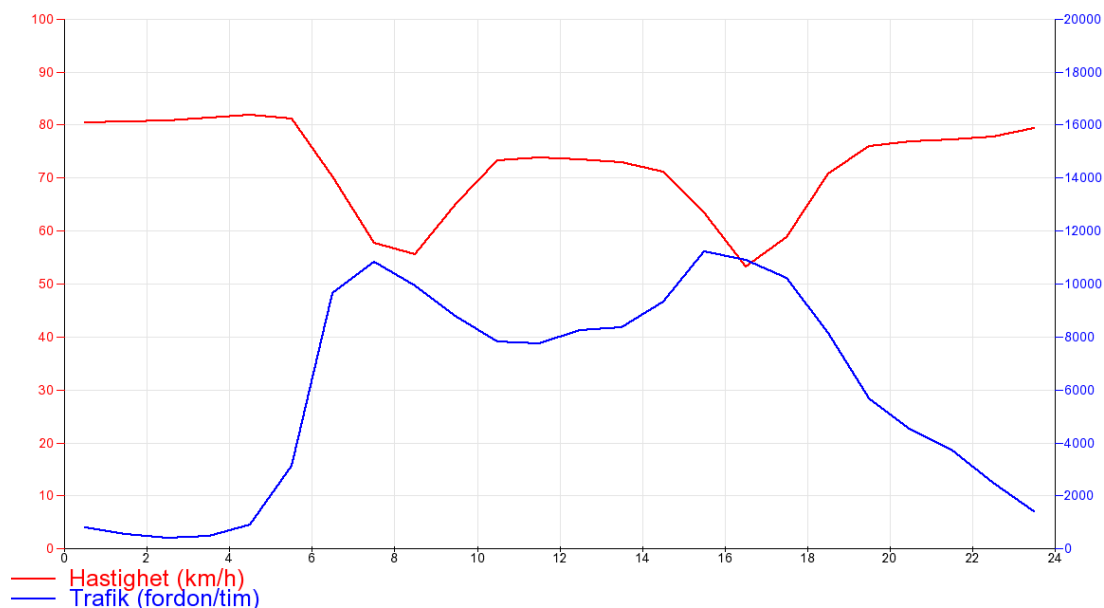
Luftföroreningsdata presenteras varje år i Luftvårdsförbundets årsrapporter, (t ex LVF-rapport 2010:2 för 2009 års data) och presenteras inte i denna rapport. I anslutning till mätstationen mäts även fordonsslödet och hastigheten. I denna rapport har data under perioden januari 2006 till juni 2010 analyserats.



Figur 33. Totala trafiken per dygn förbi mätstationen vid L:a Essingen från januari 2006 till juni 2010.

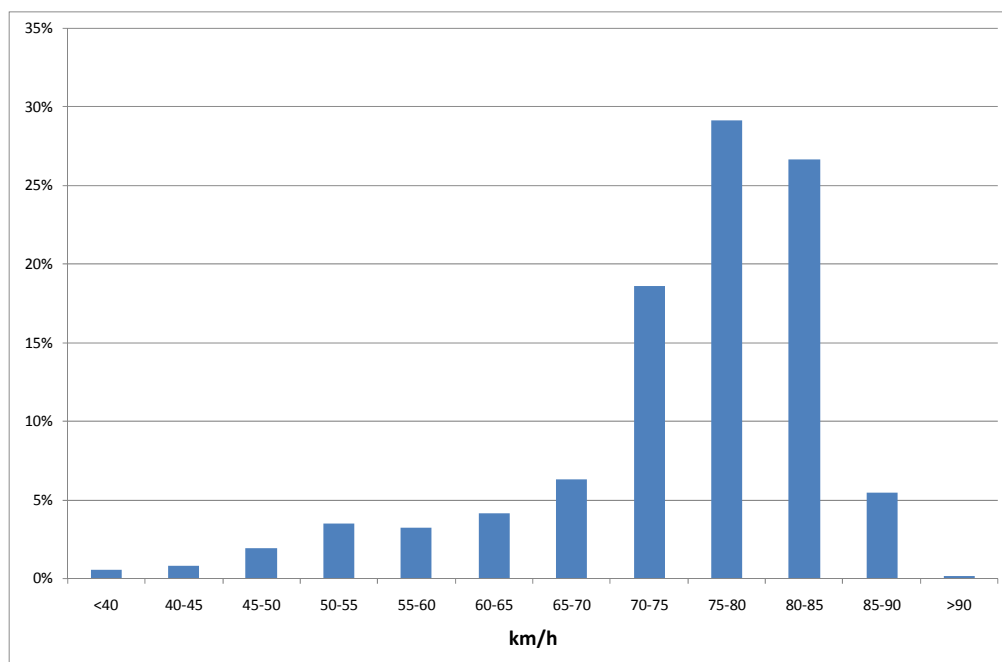
Precis som för E18 så påverkar trafiken i båda körriktningarna luftföroreningshalterna och därför presenteras en sammanställning av trafikflöde och hastighet i båda riktningarna.

Det totala trafikflödet förbi L:a Essingen är drygt 150000 fordon per dygn under vardagar, Figur 33.



Figur 34. Fördelningen av trafikflödet och hastigheten på Essingeleden vid L:a Essingen under vardagar januari 2006 till juni 2010.

Fördelningen av trafiken över vardagsdygnet, Figur 34, visar på två tydliga toppar under såväl morgon- som eftermiddagsrusningen med drygt 10000 fordon per timma. Samtidigt uppmäts en tydlig sänkning av hastigheten till ca 55 km/h från det normala 80 km/h. Minskningen i hastighet är ungefär lika stor under morgonen som under eftermiddagen.



Figur 35. Fördelningen av hastigheten på Essingeleden förbi L:a Essingen januari 2006 till juni 2010.

Fördelningen av medelhastigheten vid L:a Essingen visas i Figur 35. Under större del av tiden är hastigheten mellan 70 och 85 km/h. Endast i undantagsfall är medelhastigheten över 90 km/h, däremot är hastigheten under 60 km/h för 10 % av tiden.