



UPPSALA  
UNIVERSITET

UPTEC W 19 002

Examensarbete 30 hp  
Februari 2019

# Hur påverkas emissioner och halter av PM10 och NO<sub>x</sub>/NO<sub>2</sub> av farthinder på Vaksalagatan i Uppsala?

---

Josefine Dahlstedt

## REFERAT

### Hur påverkas emissioner och halter av PM10 och NO<sub>x</sub>/NO<sub>2</sub> av farthinder på Vaksalagatan i Uppsala?

*Josefine Dahlstedt*

I detta projekt har farthinders påverkan på luftkvaliteten på Vaksalagatan i Uppsala studerats. Bakgrunden till detta projekt var att oro bland de boende på Vaksalagatan uppstod då farthinder infördes på gatan under 2017 och att det ligger i Uppsalas kommuns intresse att ständigt arbeta med att förbättra luftkvaliteten i kommunen. Höga halter av luftföroreningar är ett allvarligt folkhälsoproblem och orsakar många för tidiga dödsfall. Partiklar med en aerodynamisk diameter mindre än 10 µm (PM10) och kvävedioxid (NO<sub>2</sub>) är de luftföroreningar som idag påverkar människors hälsa främst och det är därför just dessa två valts att studera i detta projekt. Båda dessa luftföroreningar har vägtrafiken som en av de främsta utsläppskällorna. Halter av PM10 domineras av partiklar som frigörs vid slitage av vägbana, däck och bromsar bland annat. Vid förbränning av bränslen frigörs kväveoxider (NO<sub>x</sub>) som sedan oxideras till NO<sub>2</sub> i luft.

För att utvärdera hur luftkvaliteten på Vaksalagatan påverkades av farthinder användes simuleringsverktyget SIMAIR. SIMAIR är ett webbaserat modellsystem utvecklat av Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut (SMHI) främst för att beräkna luftkvaliteten runt om i Sveriges tätorter och för att kontrollera halterna i jämförelse med miljökvalitetsnormer, utvärderingströsklar och miljökvalitetsmålet Frisk luft. Då resuspensionsmodellen som är implementerad i SIMAIR saknar hastighetsberoende för partiklar infördes en korrektion av detta.

Resultatet från detta projekt resulterade i att både emissionerna och halterna PM10 minskade vid införandet av farthinder. För NO<sub>x</sub> samt NO<sub>2</sub> ökade emissioner och halterna då simuleringar med farthinder genomfördes i jämförelse med referenskörningen som inte innefattade några farthinder. För att fastställa hur luftkvaliteten påverkades av farthinder längs hela Vaksalagatan beräknades procentuella förändringar av respektive luftförorening. Den procentuella förändringen visar dock att halten PM10 minskar med 12 % samt att NO<sub>2</sub> ökar med 17 %. Resultat från en tidigare studie visar att PM10 har en större negativ effekt på folkhälsan i jämförelse med NO<sub>2</sub> och därmed är den samlade bedömningen att luftkvaliteten, sett till människors hälsa, förbättras något på Vaksalagatan.

Nyckelord: PM10, kväveoxider, kvävedioxid, farthinder, luftkvalitet, SIMAIR

## **ABSTRACT**

### **How are the emissions and levels of PM10 and NO<sub>x</sub>/NO<sub>2</sub> affected by the speed bumps on Vaksalagatan in Uppsala?**

*Josefine Dahlstedt*

In this project the impact of speed bump on the air quality on Vaksalagatan in Uppsala has been studied. The background to this project was that concern among residents on Vaksalagatan occurred when speed bumps were introduced at the street in 2017. It is also in interest of Uppsala kommun to improve the air quality and ensure the inhabitants' health. High levels of air pollution are a public health problem and are causing premature deaths. In this project, PM10, nitric oxide and nitrogen dioxide have been studied since these are currently mainly affecting human health. The main sources of emission for these air pollutants are road traffic. PM10 are emitted due to wear of the road, tyres and breaks. The main source to NO<sub>x</sub> is during combustion of fuels.

In order to compare the air quality with or without speed bumps at Vaksalagatan SIMAIR was used. SIMAIR is a web based model system developed by Swedish Meteorological and Hydrological Institute primarily for calculating air quality in swedish cities and controlling the levels in relation to environmental quality standards. However, the current resuspension model in SIMAIR does not take velocity into account. Thus, a velocity correction of the emissions is also introduced.

This project resulted in decreased emissions and concentration levels of PM10 when speed bumps were used. For NO<sub>x</sub> and NO<sub>2</sub> the emissions and concentrations level increased when simulations with speed bump were performed compared to those simulations without speed bumps. To determine how the air quality was affected by speed bumps along the entire street a percentage change was calculated for both pollutants. The result shows that PM10 concentrations decreases with 12 % with speed bumps and NO<sub>2</sub> concentrations increases with 17 %. It is shown that PM10 has a larger negative impact on humans health and from that perspective the air quality is improved on Vaksalagatan with speed bumps.

Key words: PM10, nitric oxide, nitrogen dioxide, speed bump, air quality, SIMAIR

*Department of Earth Sciences, Program for Air, Water and Landscape Science, Uppsala university, Villavägen 16, SE-75236 Uppsala, Sweden. ISSN 1401-5765.*

## **FÖRORD**

Detta examensarbete är slutet på fem års studier på civilingenjörsprogrammet i miljö- och vattenteknik vid Uppsala universitet och Sveriges lantbruksuniversitet. Arbetet har utförts hos Uppsala kommun där Saga Hävermark har varit handledare. Stefan Andersson på Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut har varit ämnesgranskare.

Jag vill rikta ett stort tack till min ämnesgranskare Stefan som varit till stor hjälp under hela arbetet och gjort det möjligt att genomföra detta. Jag vill även tacka min handledare Saga som varit väldigt hjälpsam under hela projektet.

Josefine Dahlstedt  
Uppsala, 2019

Copyright © Josefine Dahlstedt, Institutionen för geovetenskaper, Luft- vatten- och landskapslära, Uppsala universitet  
UPTEC W 19 002, ISSN 1401-5765  
Digitalt publicerad vid Institutionen för geovetenskaper, Uppsala Universitet,  
Uppsala 2019.

## POPULÄRVETENSKAPLIG SAMMANFATTNING

Luftföroreningar i stadsmiljöer är ett folkhälsoproblem som leder till både sjukdomar och för tidiga dödsfall vid exponering. I stadsmiljöer med mycket trafik skapas höga halter av luftföroreningar med utsläppskällor så som slitage från vägar, bromsar samt däck och även förbränning av fossila bränslen.

I detta projekt har luftkvaliteten på Vaksalagatan i centrala Uppsala studerats för att undersöka hur den påverkas av farthinder. Under 2017 införde Uppsala kommun sju partier med farthinder i anslutning till övergångsställen på Vaksalagatan för att säkertställa säkerheten för gång- och cykeltrafikanter. Införandet av dessa farthinder skapade oro bland de boende i området om försämrade luftkvalitet.

Studien på Vaksalagatan fokuserade på två olika typer av luftföroreningar som idag anses ha störst effekt på människors hälsa och dessa var små partiklar och kväveoxider. Den dominerande källan till de små partiklarna är vägslitage samt bränsleförbrukning och kväveoxider bildas vid förbränning av fossila bränslen. För att undersöka hur dessa luftföroreningar påverkas av det förändrade körbeteende som uppstår vid farthinder simulerades olika trafikscenarier. Simuleringarna genomfördes i ett webbaserat simuleringsverktyg som heter SIMAIR och är framtaget av Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut. Resultatet från studien visade att halterna av små partiklar minskade med farthinder då lägre hastigheter minskar slitaget på samtliga komponenter. Kväveoxider ökade däremot eftersom farthinder genererar ett ryckigare körbeteende där förbränningen ökar med fler inbromsningar och accelerationer. De ökade inbromsningarna kan också leda till ökade emissioner av partiklar i samband med inbromsningar. Totalt sett ses det en liten procentuell ökning av luftföroreningar enligt denna studie.

Resultatet från denna studie påvisar förbättrad luftkvalitet ur ett folkhälsoperspektiv då partiklarna minskar och dess effekt påverkar människors hälsa mer än kvävedioxiderna. För att säkerställa människors hälsa bör ändå resultatet från denna studie användas som grund för att skapa farthinder som ger ett jämnt trafikflöde och låga hastigheter längs med hela gatan. En sådan åtgärd skulle leda till gott skydd för oskyddade trafikanter på gatan och även skapa en god luftkvalitet.

# Innehållsförteckning

<b>Referat</b>	<b>I</b>
<b>Abstract</b>	<b>II</b>
<b>Förord</b>	<b>III</b>
<b>Populärvetenskaplig sammanfattning</b>	<b>IV</b>
<b>1 Inledning</b>	<b>1</b>
1.1 Mål och syfte . . . . .	1
1.2 Frågeställningar . . . . .	1
<b>2 Teori</b>	<b>2</b>
2.1 Farthinder . . . . .	2
2.1.1 Busskuddar på Vaksalagatan . . . . .	2
2.2 PM10 . . . . .	3
2.2.1 Faktorer som påverkar halten PM10 . . . . .	3
2.2.2 Hälsoeffekter . . . . .	4
2.2.3 MKN och miljö kvalitetsmål . . . . .	5
2.3 NO <sub>x</sub> och NO <sub>2</sub> . . . . .	5
2.3.1 Faktorer som påverkar halten NO <sub>x</sub> och NO <sub>2</sub> . . . . .	5
2.3.2 Hälsoeffekter . . . . .	5
2.3.3 MKN och miljö kvalitetsmål . . . . .	6
2.4 SIMAIR . . . . .	6
2.4.1 Modellbeskrivning av resuspension av partiklar . . . . .	8
2.4.2 Validering av SIMAIR . . . . .	9
2.5 Hastighetsberoendet för PM10 . . . . .	10
2.6 Vaksalagatan . . . . .	11
<b>3 Metod</b>	<b>13</b>
3.1 Val av vägsträcka . . . . .	14
3.2 Validering mot mätningar vid Kungsgatan i Uppsala . . . . .	15
3.3 Simulering i SIMAIR . . . . .	16
3.3.1 Indata i SIMAIR . . . . .	16
3.4 Halter av PM10 och No <sub>2</sub> . . . . .	21
3.4.1 Simulering i SIMAIR . . . . .	21
3.4.2 Beräkningar av PM10 . . . . .	21
3.4.3 Emissionsfaktor . . . . .	22
<b>4 Resultat</b>	<b>23</b>
4.1 Validering mot mätningar vid Kungsgatan i Uppsala . . . . .	23
4.2 PM10 . . . . .	23
4.2.1 Årsmedelvärde av emissionerna och halterna . . . . .	23
4.2.2 Tidsvariation av emissionerna och halterna . . . . .	25
4.3 NO <sub>x</sub> och NO <sub>2</sub> . . . . .	28

4.3.1	Årsmedelvärde av emissionerna och halterna . . . . .	28
4.3.2	Tidsvariation av emissionerna och halterna . . . . .	30
<b>5</b>	<b>Diskussion</b>	<b>33</b>
5.1	Validering mot mätningar vid Kungsgatan i Uppsala . . . . .	33
5.2	PM10 . . . . .	33
5.3	NO <sub>x</sub> och NO <sub>2</sub> . . . . .	34
5.4	Sammanfattande bedömning av farthinders påverkan på luftkvaliteten vid Vaksalagatan . . . . .	36
5.5	Felkällor . . . . .	37
5.6	Framtida studier . . . . .	38
<b>6</b>	<b>Slutsatser</b>	<b>39</b>
	<b>Referenser</b>	<b>40</b>

# 1 INLEDNING

Höga halter av luftföroreningar i stadsmiljö är ett allvarligt problem som påverkar folkhälsan negativt. För att skydda människors hälsa och naturen finns miljö kvalitetsnormer för utomhusluft definierade i svensk lagstiftning (Luftkvalitetsförordningen 2010:477). För de flesta miljö kvalitetsnormer åligger det kommunerna att kontrollera luftkvaliteten (Naturvårdsverkets föreskrifter 2016:9); således är det av stort intresse för kommunerna att ha god förståelse och kunskap om faktorer som kan påverka luftkvaliteten. PM10 och kvävedioxid (NO<sub>2</sub>) är de två luftföroreningar som idag är ett av de största problemen i stadsmiljöer där trafiken är en av de främsta utsläppskällorna. PM10 är partiklar som frigörs till mindre del vid bränsleförbränning samt vid slitage på vägbana, däck och bromsar (Naturvårdsverket, 2017a). Kväveoxider (NO<sub>x</sub>) är ett samlingsnamn för NO<sub>2</sub> och NO. NO frigörs vid förbränning och oxideras till NO<sub>2</sub> i luften. Emissionerna av NO<sub>x</sub> bidrar således till stora problem ur både miljö- och hälsosynpunkt (Naturvårdsverket, 2017b). Emissionerna och halterna av dessa föroreningar är starkt kopplade till trafiken och faktorer som påverkar är bland annat fordons hastighet och körbeteende. I detta projekt studeras hur körbeteende i samband med farthinder påverkar emissionerna och halterna av PM10 samt NO<sub>x</sub>/NO<sub>2</sub>.

Farthinder används idag längs med Vaksalagatan för att öka säkerheten för oskyddade trafikanter. Genom att studera sambandet mellan farthinder och luftkvalitet kan arbetet för att säkra miljön för människor i stadsmiljöer förbättras ytterligare med både säkrare övergångsställen och ren luft.

## 1.1 MÅL OCH SYFTE

Målet med detta projekt är att studera hur luftkvaliteten på Vaksalagatan i Uppsala påverkas av farthinder. Syftet med projektet är att utvärdera luftkvalitet för att kunna säkerställa en god miljö. Denna studie kan också ge ett underlag till Uppsala kommun då det uppstått oro om försämrad luftkvalitet bland boende på Vaksalagatan efter införandet av farthinder. Även i det fortsatta arbetet med placering av farthinder är det viktigt att studera hur luftkvaliteten påverkas av olika faktorer.

## 1.2 FRÅGESTÄLLNINGAR

I projektet behandlades följande frågeställningar:

- Ger farthindren på Vaksalagatan ökade emissioner PM10?
- Ger farthindren på Vaksalagatan ökade emissioner NO<sub>x</sub>?
- Vilken effekt ger farthindren på luftkvaliteten på Vaksalagatan?



## 2 TEORI

*I detta avsnitt beskrivs teorin för de olika ämnen som detta projekt innefattar. I avsnittet ges djupare kunskap inom farthinder, PM10, NO<sub>x</sub>, NO<sub>2</sub>, SIMAIR samt Vaksalagatan.*

### 2.1 FARTHINDER

En vanlig åtgärd för att sänka fordonshastigheten i tätorter är att använda farthinder. Farthinder används i utsatta områden för att säkerställa säkerheten för oskyddade trafikanter, ofta i anslutning till övergångsställen. Målet med farthinder är att de ska passeras med en maximal hastighet på 30 km/tim (Vägar, 2011). Då de passeras med rätt hastighet påverkas inte fordonet nämnvärt men en liten hastighetsökning bidrar till ett större obehag. På så sätt uppmuntras förare att välja en lägre hastighet. Den mest bidragande faktorn för skaderisken hos en person som blir påkörd är fordonets hastighet och när fordonets hastighet överskrider 40 km/tim ökar risken markant för den påkörda att mista livet (Rosen och Sander, 2009). De tre huvudsakliga typerna av farthinder som används är gupp, avsmalning av vägbanan samt sidoförskjutning av körbanan. Av dessa metoder är gupp mest effektivt ur ett hastighetsänkande perspektiv (Vägar, 2011). Vid användandet av farthinder påverkas körbeteende och ger upphov till ett körande med inbromsning innan hindret och sedan acceleration efter. Enligt en avhandling från Chalmers (Karlgrén, 2001) blir körningen ryckigare på gator med farthinder och detta leder till högre emissioner av avgaser. I avhandlingen har fordons hastighet registrerats och resultatet visar ett betydligt ryckigare körbeteende än vad som innan var känt. Avhandlingen visade resultat som tyder på att det sker en hastighetsökning med flera km/tim mellan guppen även då avståndet endast är 20 meter och ökade emissioner genereras. Avhandlingens slutsats är att det är omöjligt att med hjälp av gupp få en låg och jämn hastighet längs gatan och att de främst leder till ökade avgasutsläpp på grund av ryckigt körbeteende (Karlgrén, 2001).

En studie som har genomförts i Linköping (Lingegård, 2011) visar tydliga resultat på hastighetsänkning efter införande av farthinder. De studerade farthindren var aktiva farthinder som endast påverkar de fordon som kör för fort genom att en "lucka" i marken faller ned när en viss hastighet överstigs. Resultat visar att andelen fordon som körde fortare än 35 km/tim minskade från 50 % till 30 % samt att den andel som körde under 30 km/tim ökade från 20 % till 40 % efter införandet av farthinder (Rosen och Sander, 2009).

#### 2.1.1 Busskuddar på Vaksalagatan

Under 2017 placerades totalt sju stycken farthinder längs med Vaksalagatan i Uppsala på en sträcka som totalt uppmättes till 2 km. Syftet med dem är att öka säkerheten för oskyddade trafikanter vid övergångsställen (Uppsala Kommun, 2017). De farthinder som används längs Vaksalagatan är så kallade busskuddar. Dessa busskuddar används för att ej försämra arbetsmiljön för bussförarna då busskuddarna är så pass smala att bussarna kan grensla över guppen. Bilar måste dock köra upp på guppet och på så vis regleras hastigheten. I figur 1 ses busskuddar som är placerade på Vaksalagatan i höjd med Skruvgatan.



**Figur 1:** *Farthinder på Vaksalagatan i form av busskuddar.*

## 2.2 PM10

### 2.2.1 Faktorer som påverkar halten PM10

PM10 är ett mått på den sammanlagda massan för alla partiklar med en aerodynamisk diameter mindre än  $10 \mu\text{m}$ . PM10 har både naturliga och antropogena utsläppskällor. De främsta antropogena utsläppskällorna av PM10 är slitage av däck, bromsar och vägar samt förbränning av fossila bränslen (Naturvårdsverket, 2017a). De partiklar som frigörs i samband med slitage har en större diameter i jämförelse med de partiklar som frigörs i samband med förbränning. Detta gör att PM10-halterna främst påverkas av slitagepartiklar då de ger ett större bidrag till den totala massan av PM10. Inbromsning och acceleration genererar högre emissioner av PM10 eftersom det ökar slitaget på både däck och vägbanan. En åtgärd mot att minska däck- och bromsslitage är att skapa ett jämnt trafikflöde (Gustafsson, u.å). Fordonens hastighet är också en aspekt som påverkar PM10-halterna där högre hastigheter ökar slitaget på vägbanan (Naturvårdsverket, 2018a). Högre hastighet bidrar dock till en ökad fordonsgenererad turbulens vilket har en utspädande effekt på halterna (Andersson och Omstedt, 2008). Även användandet av dubbdäck genererar högre halter PM10 då de sliter extra mycket på vägbanan vilket leder till ökade halter under våren då slitagepartiklarna efter dubbdäcksäsongen virvlar upp när vägbanan torkar. I en studie där sambandet mellan dubbdäck och halter av PM10 studerades var slutsatsen att en möjlig åtgärd skulle vara att i de södra delarna av Sverige, där Uppsala innefattas, förkorta dubbdäckssäsongen (Andersson och Omstedt, 2008). Sedan denna studie genomfördes har en sådan åtgärd genomförts då dubbdäcksförbud nu gäller (om vinterväglag ej råder) från och med 16 april och tidigare var det 1 maj som gällde. Förkortningen av säsongen ger en förbättring av luftkvaliteten i många delar av landet (Andersson och Omstedt, 2008). Det leder dock inte till att de tyngst belastade trafikmiljöerna klarar miljö kvalitetsnormen (MKN) enligt studien (Andersson och Omstedt, 2008). Klimatet i Uppsala är sådant att dubbdäcksanvändandet är relativt stort

och cirka 60% av fordonen använder dubbdäck under vintersäsongen. En åtgärd som införts för att hålla nere halterna i centrala delar av Uppsala är dubbdäcksförbud på Kungsgatan samt en liten del av Vaksalagatan (Uppsala Kommun, 2018).

Resuspension innebär att partiklar virvlar upp från vägbanan genom turbulens från vind eller fordon. Resuspensionen är starkt kopplad till vägbanans fuktighet då det sker större resuspension på en torr vägbanan i jämförelse med en våt. Fordonens hastighet har också inverkan på resuspensionen, högre hastighet ger en ökad fordonsgenererad turbulens vilket ökar resuspensionen (Johansson m. fl., 2003). Den ökade turbulensen leder dock till att utspädningen av luftföroreningarna ökar. Effekten av resuspensionen är som störst under våren då slitage som genererats av dubbdäck virvlar upp när vägbanan torkar.

Vid mätningar av PM10 är bakgrundshalter inräknade. Bakgrundshalterna innefattar inte lokala utsläppskällor utan regionala utsläppskällor, inom och utanför Sverige, som långväga transport samt industrier (Naturvårdsverket, 2017a). Bakgrundshalterna består främst av finare fraktioner som har en längre uppehållstid och sprids över större områden, ca 80 % av regional bakgrund respektive ca 60 % av urban bakgrund utgörs av fina partiklar, PM2,5 (Omstedt m. fl., 2010). Stora delar av bakgrundshalterna i Sverige kommer från utsläppskällor i Europa och är starkt kopplade till meteorologiska förhållanden (Omstedt m. fl., 2010). Det problematiska med långväga transport är att det är svårt att kontrollera luftföroreningar som färdas över landgränser, dock är det samma lagstiftning som gäller inom EU. För industriutsläppen ses dock en nedåtgående trend av utsläpp efter striktare krav för industriutsläpp införts (Naturvårdsverket, 2018a).

### **2.2.2 Hälsoeffekter**

PM10 är en av de luftföroreningar som påverkar människors hälsa mest i svenska tätorter (Naturvårdsverket, 2017a). PM10 kan leda till astma, hämrad lungfunktion hos barn, luftvägssjukdomar samt hjärt- och kärlsjukdomar. Vilken effekt exponering av PM10 kan orsaka beror av partiklarnas sammansättning, vatteninnehåll, form, löslighet och pH (Naturvårdsverket, 2018a). En tidigare studie visar hur exponering av PM10 korrelerar med för tidiga dödsfall och i Sverige uppskattades den siffran till 5300 för tidiga dödsfall per år 2005 (Forsberg m. fl., 2005). 1800 av dessa fall ansågs bero på exponering av urbana bakgrundshalter som genereras av lokala utsläppskällor. De regionala bakgrundshalterna, som är en effekt av långväga transport, beräknades orsaka 3500 av de för tidiga dödsfallen (Forsberg m. fl., 2005). I och med ventilationssystem har även dessa partiklar en möjlighet att ta sig in i byggnader via luften utifrån som leds in i husen. Det medför en högre exponering av partiklar för personer som bor i anslutning till trafikerade gator. I en ny studie som studerat den svenska befolkningens exponering för luftföroreningar har den tidigare siffran på för tidiga dödsfall ökat (Gustafsson m. fl., 2014). I den nya studien har antalet för tidiga dödsfall beräknats till 7600 för 2015. Ökningen som skett från 2005 beror främst på att antagandet om sambandet mellan exponering och ökad dödlighet har korrigerats snarare än att exponeringen ökat (Gustafsson m. fl., 2014).

### 2.2.3 MKN och miljö kvalitetsmål

För att skydda människors hälsa och miljön finns det satta gränsvärden för miljö kvalitetsnormerna (MKN) samt miljö kvalitetsmålet om Frisk luft. MKN är inrättad av regeringen och står med i miljö balken för utomhusluft (Luftkvalitetsförordningen 2010:477). Gränsvärdena stämmer överens med EU-direktiven och ger konsekvenser om de ej uppfylls. Det är kommunernas skyldighet att genomföra mätningar och redovisa sina halter av de luftföroreningar som innefattas av MKN. Miljö kvalitetsmålet Frisk luft är ytterligare en reglering av luftföroreningshalterna som beskriver den svenska miljöns tillstånd som miljö arbetet ska leda till (Naturvårdsverket, 2018c). De satta gränsvärdena visas i tabell 1. Mindre partiklar, så som PM<sub>2,5</sub>, har också satta gränsvärden för MKN, men dessa överskrids inte någonstans i Sverige (SMHI, 2019). För miljö kvalitetsmålet Frisk luft finns det också separata gränsvärden för PM<sub>2,5</sub> (Naturvårdsverket, 2018a).

**Tabell 1:** Gränsvärden satta för PM<sub>10</sub> enligt miljö kvalitetsnormerna (MKN) samt för miljö målet Frisk luft. Dygnsmedelvärde enligt MKN får maximalt överstigas 35 dygn om året (Naturvårdsverket, 2018b; Naturvårdsverket, 2018c).

Medelvärdesperiod	MKN [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	Frisk luft [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]
År	40	15
Dygn	50	30

## 2.3 NO<sub>x</sub> OCH NO<sub>2</sub>

### 2.3.1 Faktorer som påverkar halten NO<sub>x</sub> och NO<sub>2</sub>

Kväveoxider (NO<sub>x</sub>) är ett samlingsnamn som innefattar kväve monoxid (NO) och kväve dioxid (NO<sub>2</sub>). NO<sub>x</sub> är idag ett stort problem både ur miljö- och hälsosynpunkt. Faran med NO<sub>x</sub> är det kan omvandlas till HNO<sub>3</sub> som i sin tur kan försura skog, mark och vatten och leda till övergödning. Det kan också vara direkt skadlig för människor, speciellt de som lider av astma (Naturvårdsverket, 2017b).

Den främsta utsläppskällan av NO<sub>x</sub> är transportsektorn som står för cirka 40 % av de totala utsläppen och av denna andel är vägtrafiken den mest bidragande. Industrisektorn är den näst största utsläppskällan. I och med ökningen av dieslbilar de senaste åren ses en ökning av utsläppen från personbilar av NO<sub>x</sub> med 25 % från 2011 till 2017 (Naturvårdsverket, 2017b). Utsläppen från bensinbilar och lastbilar visar däremot en nedåtgående trend som beror på katalytisk avgasrening samt att användningen av bensin minskat och ersatts av diesel samt förenyelsebara bränslen (Naturvårdsverket, 2017b).

I en studie som genomfördes i Indien (Bokare och Maurya, 2013) undersöktes sambandet mellan acceleration, retardation och emissioner av NO<sub>x</sub>. Enligt studien fanns det ett signifikant samband där ökad acceleration gav ökade emissioner av NO<sub>x</sub>. Slutsatsen från studien var att en relativt konstant hastighet ger lägre emissioner. Från denna studie kunde dock inget samband mellan retardation och emissioner observeras.

### 2.3.2 Hälsoeffekter

Exponering av NO<sub>x</sub> sker främst i tätorter under rusningstrafik, vinterhalvåret och vid vissa meteorologiska förhållanden såsom inversion. Effekterna av höga halter NO<sub>2</sub> är främst kopplat till lungorna vid inandning och kan leda till att astma förvärras, luftvägssjukdomar

samt hjärt- och kärlsjukdomar. NO<sub>2</sub> kan också ses som en indikator för att det är höga halter av andra luftföroreningar som i sin tur kan vara cancerogena (Persson, 2014).

### 2.3.3 MKN och miljö kvalitetsmål

För att skydda människor och miljö finns det satta MKN-värden för NO<sub>2</sub> precis som för PM10. Dessa värden gäller för hela landet och de numeriska värden för kvävedioxid redovisas i tabell 2. Detta är värden som syftar till att skydda människors hälsa. Det finns även satta MKN-värden för skydd av växtlighet där den regionala bakgrundshalten av NO<sub>x</sub> innefattas och det årliga medelvärde för det är 30 µg/m<sup>3</sup>. Övervakningen av dessa ansvarar Naturvårdsverket (Naturvårdsverket, 2018b). NO<sub>2</sub> innefattas även av miljö kvalitetsmålet Frisk luft som strävar efter att skydda känsliga grupper.

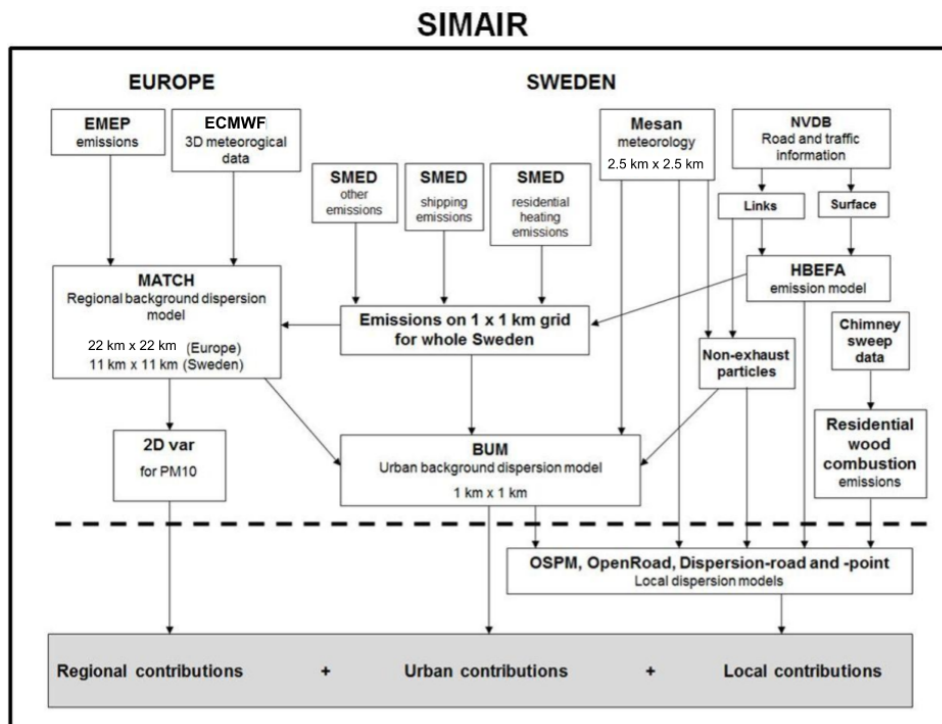
**Tabell 2:** Gränsvärden satta för NO<sub>2</sub> enligt MKN samt för miljömålet Frisk luft. Dygnsmedelvärdet enligt MKN får maximalt överstigas 7 dygn om året, timmedelvärdet får maximalt överstigas 175 timmar (Naturvårdsverket, 2018b; Naturvårdsverket, 2018c).

Medelvärdesperiod	MKN [µg/m <sup>3</sup> ]	Frisk luft [µg/m <sup>3</sup> ]
År	40	20
Dygn	60	-
Timme	90	60

### 2.4 SIMAIR

SIMAIR är ett webbaserat simuleringsverktyg som har utvecklats av Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut (SMHI) med finansiellt stöd av Trafikverket samt Naturvårdsverket. Modellsystemet är framtaget för att beräkna luftkvaliteten runt om i Sveriges tätorter och för att kontrollera halterna i jämförelse med MKN, utvärderingströsklar och miljö kvalitetsmål Frisk luft (Gidhagen m. fl., 2009; Omstedt m. fl., 2011).

SIMAIR beräknar de totala halterna av luftföroreningar genom att addera regionala bakgrundshalter, urbana bakgrundshalter samt lokala haltbidrag. Urbana respektive regionala bakgrundshalter är förberäknade halter från modeller på större skala. Halterna som orsakas av lokala utsläppskällor beräknas dels från förberäknade emissioner men även direkt från indata i användargränssnittet via lokala modeller (SMHI, 2017). I figur 2 redovisas en överskådlig bild över hur modellen fungerar och nedan beskrivs hur de olika delarna fungerar.



**Figur 2:** Schematisk figur som beskriver de delar som SIMAIR består av. Den streckade linjen representerar gränsen mellan de förberäknade halter på större skala (ovanför streckade linjen) samt de halter som beräknas direkt i modellen (under streckade linjen) (SMHI, 2017).

De regionala bakgrundshalterna som främst innefattas av långväga transport beräknas med en spridningsmodell, Meso-scale Atmospheric Transport and Chemical model (MATCH). Data som används i denna modell erhålls från The European Monitoring and Evaluation Programme (EMEP) som ger emissionsdata över Europa med en upplösning på 50 km x 50 km samt emissionsdata från Svenska miljöemissionsdata (SMEDs) som ger geografiskt fördelade emissioner för Sverige med upplösning på 1 km x 1 km. Meteorologisk data i spridningsmodellen erhålls i form av resultat från väderprognosmodellen European Centre for Medium Range Weather Forecasting (ECMWF). I MATCH inkluderas inte sekundära organiska aerosoler och därför används även tvådimensionell datasimulering med mätdata för PM10 (Andersson m. fl., 2018).

Urbana bakgrundshalterna beräknas med BUM som är en urban modell där beräkningar görs med rumsliga upplösningen 1 km x 1 km. Geografiskt fördelade emissionsdata vid beräkningarna erhålls från SMED. Dessa emissioner sker till luft och spridningsberäkningarna genomförs med två olika metoder där markkällor och utsläpp från högre punktkällor särskiljs. I markkällor ingår bland annat trafik och småskalig vedeldning. Halterna från markkällor beräknas med en bakåtrajektoriell modell genom att emissionerna från källorna i ett visst område läggs samman och sedan beräknas den sammanlagda halten i en punkt. Höga skorstenar är ett exempel på högre punktkällor och dessa emissioner beräknas med en Gaussisk plymmodell (Andersson m. fl., 2018).

Meteorologisk data i SIMAIR beräknas från synoptiska och automatiska väderstationer. Data från väderradar och vädersatelliter viktas samman och på så sätt erhålls den bästa representationen av väderförhållandena för en viss plats och tidpunkt. Denna data är framtagen med en mesoskalig analysmodell (MESAN) och den geografiska upplösningen är på 2,5 km x 2,5 km och tidsupplösningen är 1 timme (Andersson m. fl., 2018).

För information om trafik och vägar använder SIMAIR den nationella vägdatabasen (NVDB). NVDB innehåller information om bland annat skyltad hastighet, funktionell vägklass och koordinater. Databasen innehåller även trafikinformation om andel tung trafik och fordonsmängd. Emissionsmodellen Handbook Emission Factors for Road Transport (HBEFA) används sedan för att beräkna mängden emissioner (Andersson m. fl., 2018). Vid beräkningar i gaturum med byggnader används modellen Operational Street Pollution Model (OSPM). Modellen används vid beräkningar i liten skala och består av en spridningsmodell där plymen från vägtrafiken beräknas samt en boxmodell som tar hänsyn till cirkulationen av föroreningar som uppkommer i och med byggnaderna (Andersson m. fl., 2018).

Vid simulering i SIMAIR är beräkningshöjden 2 meter ovan mark och beräkningen sker mitt på den aktuella väglänken. För gaturum är alltid avståndet 2 meter från husfasad. Programmet tar hänsyn till timvisa trafikmängder under de olika veckodagarna måndag-torsdag, fredag, lördag och söndag. SIMAIR kan också ta hänsyn till säsongsvariation under året då data för detta kan anges. I SIMAIR finns fyra olika klassificeringar av kösituationer som kan implementeras under olika tidpunkter på dagen. De fyra klassificeringarna som kan användas är fritt flöde, tung trafik, kö samt stopp och kör. Fritt flöde innebär ingen kö med lågt och stabilt trafikflöde. Vid tung trafik är det ett högre trafikflöde men fortfarande fritt flöde. Då kö implementeras innebär det att det är påtaglig kö på vägen med oregelbundet trafikflöde. Stopp och kör innebär att det är mycket kö där fordonen krypkör och lågt trafikflöde med mycket ryckigt körbeteende (Andersson m. fl., 2018).

#### 2.4.1 Modellbeskrivning av resuspension av partiklar

SIMAIR är en modell som baserat på emissioner beräknar luftföroreningshalter där flertalet faktorer spelar in. Ekvation 1 beskriver förhållandet mellan den totala emissionen av partiklar mot antalet fordon per tidsenhet (Omstedt m. fl., 2005).

$$E_{PM}^{trafik} = F * e_f^{total} \quad (1)$$

där  $E_{PM}^{trafik}$  är den totala emissionen av partiklar från en gata, F är antal fordon per tidsenhet och  $e_f^{total}$  är den totala emissionsfaktorn. Den totala emissionsfaktorn kan delas upp i två olika delar som bidrar, detta enligt ekvation 2

$$e_f^{total} = e_f^{direkt} + e_f^{suspension} \quad (2)$$

där  $e_f^{suspension}$  är partiklar genererade från suspension antingen från sandning (vintertid) alternativt resuspension. Faktorn  $e_f^{direkt}$  är direkta emissioner som kan delas upp ytterligare

enligt ekvation 3

$$e_f^{direkt} = e_f^{avgasrör} + e_f^{slitage\ av\ fordonskomponenter} + e_f^{vägslitage} \quad (3)$$

där  $e_f^{avgasrör}$  är partiklar genererade från förbränningen,  $e_f^{slitage\ av\ fordonskomponenter}$  är slitagepartiklar från exempelvis bromsar och däck och  $e_f^{vägslitage}$  är slitagepartiklar från vägen. Det totala dammskiktet på vägen fås av att addera två viktade parametrar enligt ekvation 4

$$l = \alpha l_w + \beta l_s \quad (4)$$

där  $l$  är det normaliserad dammskiktet,  $l_w$  är slitagepartiklar och  $l_s$  är sandpartiklar. Faktorerna  $\alpha$  och  $\beta$  beskriver andelen slitagepartiklar respektive sandpartiklar. Modellen beräknar emissionbidraget från suspension olika under vintern och sommaren. Under vinterhalvåret beräknas emissionerna från suspension enligt ekvation 5

$$e_f^{suspension} = f_q * l * e_{f,PM}^{ref,vinter} \quad (5)$$

och under sommaren enligt ekvation 6

$$e_f^{suspension} = f_q * e_{f,PM}^{ref,sommar} \quad (6)$$

där  $f_q$  är en reduceringsfaktor som är kopplad till vägbanans fuktighet, lägre fuktighet ger högre värde på  $f_q$  och högre fuktighet ett lägre värde. Parametern  $e_{f,PM}^{ref,vinter}$  respektive  $e_{f,PM}^{ref,sommar}$  representerar emissionsfaktorn beroende på miljön under vinterhalvåret respektive sommarhalvåret. Vinterhalvåret definieras av den period då dubbdäck är tillåtet, alltså mellan 1 oktober till och med 15 april. Modellen räknar med ett linjärt ökande av dubbdäck från oktober till mitten av vinterhalvåret då maxandelen uppnås för att sedan avta linjärt till april. Detta sker enligt ekvation 7

$$l_{w,t+1} = (l_{w,t} + k_{st} * a_{dd}) * f_{RF} * f_{SUSP} \quad (7)$$

där tidsteget  $t+1$  motsvarar en timme. Andelen dubbdäck beskrivs med  $a_{dd}$  och  $f_{RF}$  samt  $f_{SUSP}$  beskriver vägbanans fuktighet. För beräkning av  $l_{w,t}$  används meteorologisk data där SIMAIR antar sandning vid specifika väderförhållanden som ger upphov till hal vägbanor. Det antas då det är nederbörd (regn eller snö) samt temperatur mellan -2°C och +1°C (Omstedt m. fl., 2005).

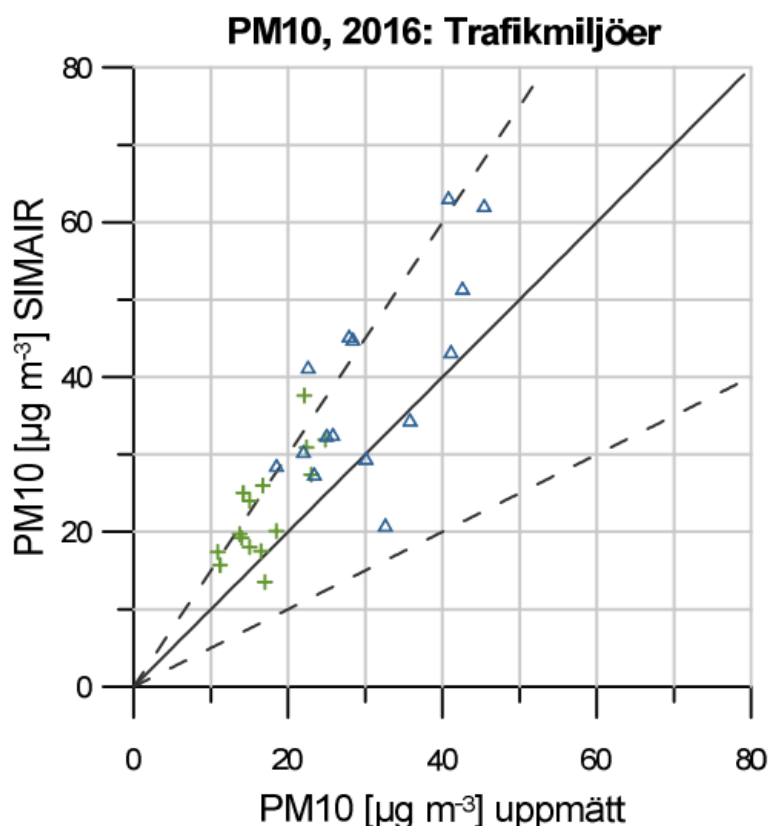
En nackdel med SIMAIRs nuvarande resuspensionsmodell är att den inte tar hänsyn till slitaget vid olika hastigheter. Därför införs även en korrektion av SIMAIRs beräknade emissioner av PM10 (se avsnitt 2.5).

#### 2.4.2 Validering av SIMAIR

SMHI genomförde 2018 en validering av SIMAIR med mätdata för PM10 samt NO<sub>2</sub> för åren 2014-2016 (Andersson m. fl., 2018). Mätdata som användes vid valideringen erhöles från 25 mätstationer i trafikmiljö samt 12 mätstationer i urban bakgrund. De slutsatser som drogs från studien var att i trafikmiljöer tenderade PM10 att överskattas i SIMAIR. Detta var en följd av ökad användning av dammbindningsmedel i trafikmiljöerna som ej togs hänsyn till i SIMAIR. För NO<sub>2</sub> i trafikmiljöer kunde inte någon konsekvent under- eller



överskattning konstateras i SIMAIR. De simulerade värdena för 98-percentilen av NO<sub>2</sub> tenderade dock att underskattas. Resultatet av valideringen för PM10 år 2016 i trafikmiljö redovisas redovisas i figur 3.



**Figur 3:** Scatterplot från validering av SIMAIR. Visar jämförelse mellan SIMAIRs beräknade halter av PM10 och uppmätta halter i trafikmiljöer. Den heldragna linjen representerar 1:1 och de streckade linjerna  $\pm 50\%$ . Vid denna validering användes dock dammbindningsmedel för många av gatorna vilket inte togs hänsyn till i modelleringen (Andersson m.fl., 2018).

## 2.5 HASTIGHETSBEROENDET FÖR PM10

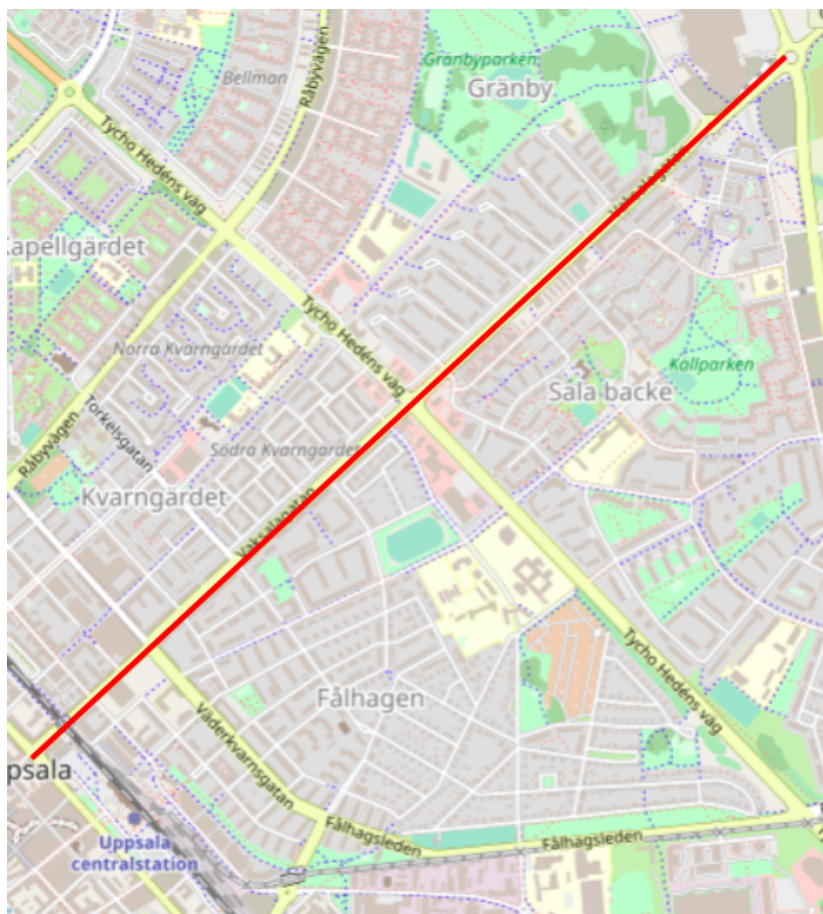
Då hastighetsberoendet för partiklar saknas i den resuspensionsmodell som är implementerad i SIMAIR används i denna studie ett samband mellan hastighet och halt PM10 från en tidigare studie. I en studie där sambandet mellan hastighet och halter av PM10 studerades (Snilsberg m.fl., 2008) visade resultatet ett linjärt samband mellan hastighet och halt PM10 enligt ekvation 8. De studerade hastigheterna var begränsade mellan 20 km/tim till 70 km/tim och genomfördes inomhus i ett laboratorium med en maskin med vägbana samt hjul där slitage kan mätas där även dubbdäcksanvändande tas hänsyn till. Detta gjorde det möjligt att jämföra hur olika faktorer påverkade halterna PM10 som ej är relaterade till förbränning av bränslen utan beroende av vägen samt hjulens egenskaper.

$$y = 1,8143x - 1,2667 \quad (8)$$

Där  $x$  är hastigheten och  $y$  är koncentrationen av PM10 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]. Resultatet från denna studie påvisar alltså det linjära förhållandet mellan hastighet och halten PM10. SIMAIRs beräknade lokala haltbidrag av PM10 i denna studie korrigeras således enligt detta samband.

## 2.6 VAKSALAGATAN

Vaksalagatan är belägen i Uppsala i en sydväst-nordöstlig riktning. Gatan börjar i centrala Uppsala vid Kungsgatan vidare ut till Gränby enligt figur 4. Det är en tungt trafikerad gata och det har sedan några år tillbaka införts ett dubbdäcksförbud på en del av gatan i anslutning till Kungsgatan. Längs gatan är busskuddar utplacerade på sju ställen i båda riktningar och i samtliga filer. Gatan har både enfiliga och tvåfiliga avsnitt. Samtliga busskuddar ligger i anslutning till övergångsställen och är en åtgärd för att öka säkerheten för oskyddade trafikanter genom lägre fordonshastigheter. Gatan trafikeras av personbilar, bussar, tvåhjulringar och lastbilar.



**Figur 4:** Karta där den röda linjen markerar Vaksalagatan från Kungsgatan i sydväst till Gränby i nordöst (© OpenStreetMaps bidragsgivare).

Den skyltade hastigheten på Vaksalagatan är 40 km/tim. Utformningen av gatan varierar, vid vissa avsnitt av Vaksalagatan är filerna i de olika körriktningarna avdelade med en mittsträng med gräsyta och träd. Längs med största delen av Vaksalagatan är bostadshus

belägna precis i anslutning till gatan. Till följd av höga halter PM10 används dammbindningsmedel som åtgärd att sänka dessa halter, det används dock inte i så stor utsträckning (Hävermark, 2018).

### **3 METOD**

*I detta avsnitt beskrivs metoden som används i detta projekt. Metodvalen var utvärdering av upplägg av vägsträckor för att bäst efterlikna farthinder, validering av SIMAIR, sammanställa data för simulering i SIMAIR samt beräkningar av hastighetsberoendet för PM10.*

För att besvara frågeställningarna genomfördes simuleringar i SIMAIR. Utifrån dessa utvärderades emissionerna och luftföroreningshalterna efter införandet av farthinder. Ur folkhälsoaspekt ansågs PM10 och NO<sub>x</sub>/NO<sub>2</sub> vara de viktigaste luftföroreningarna att studera i detta fall. Simuleringarna genomfördes med trafikdata från slangmätningar genomförda av Uppsala kommun. Även information om gaturummets utformning erhöles från Uppsala kommun. Simuleringarna genomfördes för två olika vägavsnitt på Vaksalagatan med en längd på 400 meter med två sektioner av farthinder på respektive vägavsnitt. Simuleringarna genomfördes även för enbart de fyra farhindren. De valda vägavsnitten samt farhindren redovisas i figur 5.

Vid uppstart av projektet genomfördes en litteraturstudie med syfte att fungera som underlag till projektet som fokuserade på PM10, NO<sub>x</sub>, SIMAIR, NORTRIP (en annan resuspensionmodell) samt emissioner vid start/stopp, acceleration och hastighet.



**Figur 5:** Karta över nordöstra Uppsala. De röda linjerna representerar de två valda vägavsnitten. Vaksalagatan delades upp i två vägavsnitt där vägavsnitt 1 består av två farthinder som i figuren är märkta 1 och 2. Vägavsnitt 2 består också av två farthinder som i figuren är märkta 3 och 4 (© OpenStreetMaps bidragsgivare)

Då emissioner av  $\text{NO}_x$  samt halterna av  $\text{NO}_2$  studerades på Vaksalagatan användes SIMAIR som kan simulera de hastighetsberoende avgasemissionerna. För att studera effekterna av farthinder simulerades halter vid ändrad skyltad hastighet, förändrad tidvariation hos trafiken samt olika fall med kösituationen. Vid simulering av  $\text{PM}_{10}$  tas dock inte hastighetsberoendet för slitagepartiklar hänsyn till i SIMAIR. Detta gäller för vägdamm samt slitagepartiklar som är kopplat till  $\text{PM}_{10}$ . För att korrigera dessa hastighetsberoende emissioner användes SIMAIR som grund och kompletteras med teori från tidigare studier samt beräkningar för att beräkna de hastighetsberoende emissionerna.

### 3.1 VAL AV VÄGSTRÄCKA

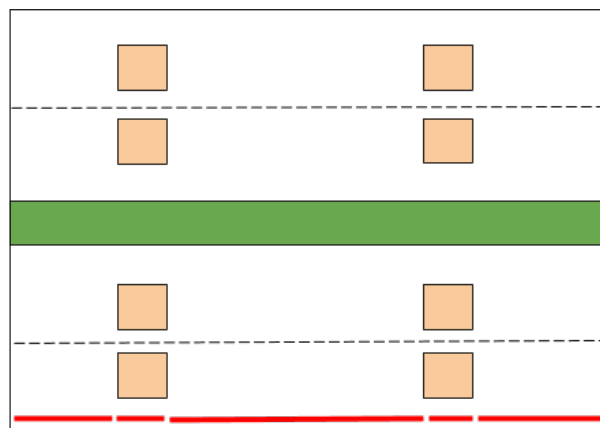
Då syftet med projektet var att studera hur farthinder påverkar luftkvaliteten på Vaksalagatan valdes två vägavsnitt på 400 meter längs med gatan. Båda vägavsnitten bestod av två farthinder med cirka 200 meters avstånd mellan. För att särskilja på de olika vägavsnitten benämns de som vägavsnitt 1 respektive vägavsnitt 2 i denna rapport. Vägavsnitt 1 är den del som består av farthinder 1 och 2 och är placerad mest söderut på

Vaksalagatan. Vägavsnitt 2 är det vägavsnitt som består av farhinder 3 och 4 och är placerat mer norrut. Detta enligt figur 5.

De två vägavsnitten delades sedan in i ytterligare fem sträckor vid simulering. I figur 6 ses indelningen av vägavsnitten vid simulering. Styckena delades in i sträckorna

- Innan farthinder
- Farthinder
- Mellan farthinder
- Farthinder
- Efter farthinder

I och med att gatan har körriktningar åt båda hållen blir effekten innan och efter farthindren samma då det blir både acceleration respektive inbromsning beroende på fordonets körriktning. Dock var det intressant att undersöka båda då gaturummets utformning varierade.



**Figur 6:** Schematisk bild som visar hur indelningen av väglänkar gjordes vid simulering. De röda strecken motsvarar de fem olika delarna: innan farthindren, farthinder, mellan farthindren, farthinder och efter farthindren. Det gröna är mittsträngen som finns mellan körfälterna i de olika riktningarna.

### 3.2 VALIDERING MOT MÄTNINGAR VID KUNGSGATAN I UPPSALA

För att verifiera resultaten av simuleringarna i SIMAIR validerades simulerad data mot mätdata. Indata som användes i SIMAIR vid valideringen redovisas i tabell 3. I Uppsala har SLB-analys en mätstation placerad på Kungsgatan. Då mätstationen flyttades under 2017 fanns det inte fullständig data för hela året för en mätplats och därför genomfördes valideringen med data från 2016 då mätstationen var placerad på Kungsgatan 42 i Uppsala. Att valideringen genomfördes för ett annat kalenderår än det som användes för simuleringarna var ej optimalt. Då avvikelserna var så pass stora mellan modellerade och uppmätta värden var det bättre att införa en korrektion för 2016 på simuleringarna som genomfördes för 2017 än ingen alls för att ta hänsyn till systematiska fel i SIMAIR. Mätstationen var placerad på den nordöstra sidan av Kungsgatan och vid validering

jämfördes därför mätvärden från mätstationen med de simulerade värdena för receptor två i SIMAIR som var placerad på den nordöstra sidan av gatan.

**Tabell 3:** *Indata som användes i SIMAIR vid validering mot mätningar vid Kungsgatan i Uppsala.*

Parameter	Kungsgatan
Hushöjd [m]	20 (V), 20 (Ö)
Vägbredd [m]	17
Bredd mittsträng [m]	0
Gaturumsbredd [m]	23
Körfält	1
ÅDT [fordon/dygn]	14175
Dubbdäcksandel [%]	73
Skyltad hastighet [km/tim]	50

Mätvärdena från SLB-analys mätstation som erhöles från SMHI (SMHI, 2019) var redovisade som timvärden vilket är samma tidsupplösning som tidsserierna som erhöles från simuleringarna i SIMAIR. För att beräkna korrektionsfaktorn mellan mätvärden och simulerade värden beräknades årsmedelvärde samt 90-percentilerna respektive 98-percentilerna för de båda luftföroreningarna. Dessa två värden dividerades sedan enligt ekvation 9. Detta genomfördes för NO<sub>x</sub> respektive PM10.

$$K = \frac{\text{observerat}}{\text{simulerat}} \quad (9)$$

Resultatet från dessa beräkningar multiplicerades sedan med samtliga beräknade värden som erhöles från simuleringarna i SIMAIR.

### 3.3 SIMULERING I SIMAIR

Syftet med projektet var att simulera hur halterna av PM10 samt NO<sub>x</sub> och NO<sub>2</sub> påverkas av olika trafiksituationer som kan uppstå på Vaksalagatan i och med införandet av farthinder. De trafiksituationer som kan uppstå på gator med farthinder är köbildning samt ett ryckigt körbeteende då det är flera farthinder efter varandra. Innan farthindren tvingas fordon bromsa in och efter accelererar de. Vid simulering i SIMAIR erhöles föroreningshalter beräknade utifrån fordonens emissioner samt värden för emissionerna.

#### 3.3.1 Indata i SIMAIR

De parametrar som användes som indata i SIMAIR var fordonsmängd, andel tung trafik, hushöjd, vägbredd, bredd mittsträng, gaturumsbredd, antal filer, dubbdäcksandel, typ av väg, skyltad hastighet och årsdygnstrafik (ÅDT). De numeriska värden för dessa parametrar redovisas i tabell 4.

Simuleringarna genomfördes med data hämtad från olika källor. Hushöjden var given från Uppsala kommun. Vägbredd, bredd på mittsträng och gaturumsbredd beräknades med mätverktyget i Google Maps. De numeriska värden för dessa parametrar redovisas i



tabell 4. De trafikflöden som erhöles var uppmätta genom slangmätning på Vaksalagatan som Uppsala kommun genomförde under hösten 2018. Simuleringarna genomfördes dock med meteorologisk data från 2017.

**Tabell 4:** Numeriska värden på de olika parametrarna som användes vid simulering i SIMAIR för vägvagnitt 1 respektive vägvagnitt 2 på Vaksalagatan.

Parameter	Innan	Farthinder	Mellan	Farthinder	Efter
<b>Vägvagnitt 1</b>					
Hushöjd [m]	2 (N), 8 (S)	2 (N), 8 (S)	2 (N), 8 (S)	2 (N), 8 (S)	0 (N), 0 (S)
Vägbredd [m]	21	21	21	21	21
Bredd mittsträng [m]	5	5	5	5	3
Gaturumsbredd [m]	27	27	27	27	0
Antal filer	4 (2+2)	4(2+2)	4(2+2)	4(2+2)	5(3+2)
ÅDT [fordon/dygn]	10094	10094	10094	10094	10094
Dubbdäcksandel [%]	60	60	60	60	60
Andel tung trafik [%]	11	11	11	11	11
<b>Vägvagnitt 2</b>					
Hushöjd [m]	3 (N), 4 (S)	3 (N), 4 (S)	3 (N), 4 (S)	3 (N), 4 (S)	0 (N), 4 (S)
Vägbredd [m]	21	21	21	21	21
Bredd på mittsträng [m]	5	5	5	5	5
Gaturumsbredd [m]	27	27	27	27	27
Antal filer	4 (2+2)	4(2+2)	4(2+2)	4(2+2)	4(2+2)
ÅDT [fordon/dygn]	11589	11589	11589	11589	11589
Dubbdäcksandel [%]	60	60	60	60	60
Andel tung trafik [%]	9	9	9	9	9

En ytterligare parameter som ej redovisas i tabell 4 var skyltad hastighet för den valda vägsträckan. Den skyltade hastigheten på Vaksalagatan är 40 km/tim och därför sattes den på samtliga vägsträckor för referenskörningen. Vid simuleringarna med farthinder sattes hastigheten till 40 km/tim för vägsträckorna innan farthinder, mellan farthinder och efter farthinder. På vägsträckorna med farthinder ställdes hastigheten in på 30 km/tim som är det lägsta som kan väljas i SIMAIR.

Trafikdata erhöles från Uppsala kommun som under hösten 2018 genomförde en slangmätning på Vaksalagatan. Datan innehöll ej hastighetsmätningar med tidsupplösning på en timme och därför kunde inte en dygnsvariation fås från denna mätning. Istället användes trafikscenarion som uppmätts på Kungsgatan i Uppsala. Dock är belastningen på Kungsgatan betydligt högre än på Vaksalagatan och därför användes enbart samma dygnsmonster i trafikscenarion från Kungsgatan men mindre belastade på Vaksalagatan. Denna tidsvariation är enbart en fördelning och använder ÅDT och fördelar sedan ut denna enligt de relativa siffrorna i tidsfördelningen. I tabell 5 och 6 är kösituationerna för olika klockslag färgkodade. De blå siffrorna motsvarar kösituationen tungt belastad trafik och grön motsvarar kö. För att simulera farthindren användes trafiksituationen "Stopp och kör" hela dygnet för de vägstycken med farthinder vid simuleringen. Resultatet från slangmätningen redovisades som vardagsdygnstrafik



(VDT). För att omvandla VDT till ÅDT som användes vid simulering i SIMAIR multiplicerades de med en faktor på 0,9 som är ett vedertaget schablonvärde för denna omvandling. Resultatet av beräkningen och de totala trafikflödena redovisas i tabell 5.

**Tabell 5:** Trafikflöden för vägavsnitt 1 på Vaksalagatan sammanställt utifrån Uppsala kommuns slangmätning under hösten 2018. Färgmarkering i tabellen redovisar hur kösituationerna i SIMAIR ställdes in. Blå representerar kösituation inställd på tung trafik och grön motsvarar kö.

Klockslag	Mån-tors [fordon/timme]	Fre [fordon/timme]	Lör [fordon/timme]	Sön [fordon/timme]
00 - 01	56	69	165	208
01 - 02	38	30	106	145
02 - 03	28	26	110	135
03 - 04	27	17	108	132
04 - 05	31	34	48	59
05 - 06	110	106	34	38
06 - 07	366	338	86	66
07 - 08	566	571	116	89
08 - 09	674	633	168	97
09 - 10	509	477	338	229
10 - 11	555	581	532	393
11 - 12	591	632	616	493
12 - 13	677	801	810	643
13 - 14	666	804	787	680
14 - 15	691	829	784	726
15 - 16	813	935	836	724
16 - 17	980	1018	733	689
17 - 18	852	884	674	656
18 - 19	700	732	662	555
19 - 20	545	464	565	491
20 - 21	382	417	456	363
21 - 22	282	348	382	249
22 - 23	182	258	299	147
23 - 24	103	230	220	78

I tabell 6 redovisas årsdygnstrafiken för vägavsnitt 2. Samma omvandling som för flödena i tabell 5 från VDT till ÅDT genomfördes för dessa flöden också.

**Tabell 6:** Trafikflöden för vägavsnitt 2 på Vaksalagatan som är sammanställt utifrån Uppsala kommuns slangmätning under hösten 2018. Färgmarkering i tabellen redovisar hur kösituationerna i SIMAIR ställdes in. Blå representerar kösituation inställd på tung trafik och grön motsvarar kö.

Klockslag	Mån-tors [fordon/timme]	Fre [fordon/timme]	Lör [fordon/timme]	Sön [fordon/timme]
00 - 01	40	44	104	135
01 - 02	25	24	76	91
02 - 03	16	15	57	55
03 - 04	18	7	49	78
04 - 05	32	38	34	32
05 - 06	127	116	40	31
06 - 07	440	428	84	56
07 - 08	645	642	114	82
08 - 09	663	625	178	142
09 - 10	542	544	365	275
10 - 11	670	716	671	507
11 - 12	738	886	914	698
12 - 13	826	948	1128	858
13 - 14	802	1061	1157	936
14 - 15	828	1092	1171	969
15 - 16	1016	1237	1103	1001
16 - 17	1170	1315	920	869
17 - 18	1007	1160	874	849
18 - 19	815	842	752	623
19 - 20	617	518	494	486
20 - 21	318	337	365	323
21 - 22	245	266	268	184
22 - 23	140	192	195	95
23 - 24	77	145	155	41

Data för bussflödet på Vaksalagatan erhöles från Kollektivtrafikförvaltningen UL och sammanställdes enligt tabell 7. Detta gjordes då mätningen som Uppsala kommun genomförde på Vaksalagatan ej hade specifik data på olika bussar utan detta var endast en del av tung trafik. I tabellen representerar siffrorna inom parentes flödet under helgen och de utan parentes är flödet under vardagar.

**Tabell 7:** Tabell över bussflödet på Vaksalagatan. Antalet bussar är den totala mängd bussar i gaturummet, alltså i båda körriktningarna. Siffrorna inom parentes motsvarar bussflödet under helger.

<b>Klockslag</b>	<b>Stadsbussar[fordon/timme]</b>	<b>Regionsbussar [fordon/timme]</b>
00 - 01	0 (2)	0 (2)
01 - 02	0 (2)	0 (0)
02 - 03	0 (2)	0 (2)
03 - 04	0 (2)	0 (0)
04 - 05	4 (4)	9 (0)
05 - 06	14 (4)	16 (4)
06 - 07	24 (4)	20 (6)
07 - 08	28 (4)	24 (6)
08 - 09	28 (12)	21 (6)
09 - 10	28 (14)	19 (8)
10 - 11	28 (16)	14 (8)
11 - 12	26 (16)	13 (6)
12 - 13	26 (16)	13 (6)
13 - 14	26 (16)	15 (8)
14 - 15	26 (16)	16 (6)
15 - 16	26 (16)	18 (8)
16 - 17	26 (16)	19 (6)
17 - 18	26 (16)	25 (7)
18 - 19	20 (6)	19 (7)
19 - 20	16 (6)	15 (8)
20 - 21	16 (6)	12 (6)
21 - 22	16 (6)	11 (6)
22 - 23	6 (6)	7 (6)
23 - 24	6 (6)	2 (4)
<b>Totalt</b>	<b>416 (214)</b>	<b>308 (126)</b>

Data på bränslesammansättningen för de olika fordonsklasserna som redovisas i tabell 8 erhöles från en sammanställning som Trafikanalys publicerat (Trafikanalys, 2016).

**Tabell 8:** Bränslesammansättning för de olika fordonstyperna i Uppsala kommun.

<b>Fordonstyp</b>	<b>Bensin [%]</b>	<b>Biogas [%]</b>	<b>Diesel [%]</b>	<b>Etanol [%]</b>
Lastbil	0	0	100	0
Personbil	60	2	32	6
Motorcykel	100	0	0	0
Långfärdsbuss	0	0	100	0
Stadsbuss	0	100	0	0

Månadsvariationen som redovisas i tabell 9 erhöles från ett nationellt resultat som var publicerat av Statens väg- och transportforskningsinstitut (Björketun och Carlsson, 2005). Resultatet var redovisat i form av ett diagram och de numeriska värdena approximerades utifrån detta diagram med värden enligt de i tabellen.

**Tabell 9:** Variationer av trafikflöden över året med olika månadsvärden.

<b>Månad</b>	<b>Månadsvariation [%]</b>
Januari	98
Februari	90
Mars	101
April	102
Maj	107
Juni	99
Juli	88
Augusti	109
September	105
Oktober	109
November	101
December	99

### **3.4 HALTER AV PM10 OCH NO<sub>2</sub>**

För att simulera emissionerna och halterna av PM10 genomfördes simuleringar i SIMAIR samt beräkningar för att ta hänsyn till hastighetsberoendet för partiklarna då det ej togs hänsyn till i SIMAIR.

#### **3.4.1 Simulering i SIMAIR**

Tidsvariationen av emissioner och halterna PM10 erhöles genom simulering i SIMAIR med indata som redovisat i avsnitt 3.3.1 här ovan. Resultatet från simuleringen erhöles som tidsserier i Excel med timvärden för halterna och emissionerna där urbana, regionala samt lokala bidrag redovisades. I dessa serier var även totalhalten samt totalemissionerna för varje timme redovisad. Från resultatet från valideringen på Kungsgatan i Uppsala erhöles en korrektionsfaktor som multiplicerades med samtliga haltvärden för att korrigera för systematiska fel i modelleringen.

Resultatet som erhöles från simuleringarna i SIMAIR var uppdelade i en receptorpunkt på vardera sida om vägen. Ett medelvärde av halterna på respektive sida om gatan användes, dvs. ett medelvärde av receptorpunkt 1 och receptorpunkt 2 från SIMAIR. Med de värdena beräknades sedan dygnsmedelvärden för samtliga vägsträckor. För att skapa ett övergripande resultat för de två vägavsnitten sammanställdes samtliga dygnsmedelvärden för de fem vägsträckorna genom att beräkna medelvärdet av dem för respektive vägavsnitt enligt figur 5 och figur 6. Samma beräkningar genomfördes för fyra olika simuleringar för respektive luftförorening då de bestod av två vägavsnitt och för de båda genomfördes även en simulering som fungerade som referens där inga farthinder simulerades.

#### **3.4.2 Beräkningar av PM10**

För att beräkna halterna av PM10 vid lägre hastigheter antogs ett linjärt samband mellan halter och hastighet, enligt ekvation 8. På lokal skala är detta en god approximation då det inte är någon viktig kemi för partiklar inblandad på denna korta tidskala. Denna approximation gjordes eftersom användandet av den mer avancerade resuspensionsmodellen NORTRIP inte var möjligt att göra inom ramen för detta

examensarbete (Rolstad Denby och Sundvor, 2012).

Från simulering i SIMAIR visade resultatet att hastigheten på farthindren sänktes från 45 km/tim till 10 km/tim då "Stopp och kör" implementerades på vägsträckan över farthindren. Under avsnitt 2.5 i denna rapport redovisas resultatet från en studie där hastighetsberoendet för PM10 undersöktes. Studien redovisade sambandet mellan koncentrationen av PM10 och fordonets hastighet enligt ekvation 8 (Snilsberg m. fl., 2008). Studien var avgränsad och undersökte hastigheter mellan 20 km/tim och 70 km/tim. I detta fall sjunker hastigheten till 10 km/tim men då denna hastighet ej innefattades av den tidigare studien valdes istället att undersöka den procentuella förändringen mellan 50 km/tim till 20 km/tim. Den procentuella förändringen av koncentrationen av PM10 beräknades enligt ekvation 10.

$$\frac{1,8143 * 20 - 1,2667}{1,8143 * 50 - 1,2667} = 0,39 \quad (10)$$

Resultatet som erhöles från ekvation 10 var den minskning av PM10 som kunde väntas på farthindren. I tidsserien som erhöles från SIMAIR multiplicerades emissionerna från icke-avgas samt de lokala haltbidragen med denna faktor.

### 3.4.3 Emissionsfaktor

Emissionsfaktorn beräknades enligt ekvation 11 med erhållna värden (A och B) av årsmedelemissioner och antal fordon per dygn från simuleringarna. Emissionfaktorerna beräknades för att normalisera emissionerna och då kunna jämföra de olika trafiksituationerna oberoende av vilken ÅDT de har.

$$Ef\left[\frac{mg}{fordon * km}\right] = 86400 * \frac{A\left[\frac{\mu g}{m*s}\right]}{B\left[\frac{fordon}{dygn}\right]} \quad (11)$$

## 4 RESULTAT

I följande avsnitt redovisas samtliga resultat från detta projekt. De resultat som erhöles var korrektionsfaktorer för SIMAIRs beräkningar av halter och emissioner. Årsmedelvärde av emissioner och halterna för både PM10 och NO<sub>x</sub>/NO<sub>2</sub> redovisas även i tabellform. Tidsvariationen av emissionerna och halterna redovisas i grafer här nedan.

### 4.1 VALIDERING MOT MÄTNINGAR VID KUNGSGATAN I UPPSALA

Resultatet av valideringen mot mätningar vid Kungsgatan i Uppsala redovisas i tabell 10 för PM10. Resultatet visar att SIMAIRs beräkningar överskattas för PM10 och för NO<sub>x</sub> underskattas de. På Kungsgatan används dammbindningsmedel så denna överskattning var förväntad. I tabellen ses de olika korrektionsfaktorerna för årsmedelvärde samt 90-percentilen för dygnsmedelvärden.

**Tabell 10:** I tabellen redovisas de korrektionsfaktorer som beräknades för PM10 vid validering av SIMAIR. Valideringen genomfördes på Kungsgatan i Uppsala med mätdata från SLBs mätstation på Kungsgatan 42.

Period	Uppmätt värde PM10 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	Modellerat värde PM10 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	Korrektionsfaktor
Årsmedelvärde	17,0	20,1	0,84
90-percentil, dygn	32,2	35,9	0,90

I tabell 11 redovisas resultatet från valideringen för NO<sub>2</sub> mot mätningar vid Kungsgatan i Uppsala. I tabellen ses de olika korrektionsfaktorerna för årsmedelvärde samt 98-percentilerna för dygns- respektive timmedelvärden.

**Tabell 11:** I tabellen redovisas de korrektionsfaktorer som beräknades för NO<sub>2</sub> vid validering av SIMAIR. Valideringen genomfördes på Kungsgatan i Uppsala med mätdata från SLBs mätstation på Kungsgatan 42.

Period	Uppmätt värde NO <sub>2</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	Modellerat värde NO <sub>2</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	Korrektionsfaktor
Årsmedelvärde	25,0	21,0	1,19
98-percentil, dygn	40,8	36,2	1,13
98-percentil, timme	71,1	51,0	1,40

### 4.2 PM10

#### 4.2.1 Årsmedelvärde av emissionerna och halterna

I tabell 12 redovisas resultatet för beräkningarna av årsmedelemissionerna av PM10 på Vaksalagatan. Resultatet visar att emissionerna är lägre vid användandet av farthinder i jämförelse med referenskörningen. Från tabellen kan det också avläsas att emissionerna är högre på vägavsnitt 2 i jämförelse med vägavsnitt 1, vilket är att vänta eftersom trafikmängderna är större där. I tabellen redovisas emissionerna från samtliga farthinder och vägavsnitt 1 samt vägavsnitt 2 är beräknade som ett medelvärde av samtliga 5 sträckor (innan farthinder, farthinder, mellan farthinder, farthinder och efter farthinder) för de respektive avsnitten.

**Tabell 12:** Årsmedelemissioner av PM10 beräknat från den lokala trafiken. I tabellen redovisas både medelvärdet för simuleringar med farthinder samt referenskörning utan farthinder för samtliga vägsträckor.

Vägsträcka	Årsmedelemission PM10 [ $\mu\text{g}/\text{m},\text{s}$ ]	Referens [ $\mu\text{g}/\text{m},\text{s}$ ]
Farthinder 1	15,3	23,6
Farthinder 2	15,3	23,6
Farthinder 3	17,7	27,4
Farthinder 4	17,7	27,3
Vägavsnitt 1	15,0	23,6
Vägavsnitt 2	17,3	27,3

I tabell 13 redovisas emissionsfaktorerna som beräknades enligt ekvation 11. Från tabellen ses det att samtliga emissionsfaktorer för simuleringar med farthinder är relativt lika och att samtliga referensvärden är samma. Notera dock att hastighetskorrigering ej har införts här; skillnaden i emissionsfaktor mellan de olika vägavsnitten beror således enbart på skillnader i avgasemissioner. Emissionsfaktorn tar hänsyn till fordonets sträcka och mäts per fordonskilometer.

**Tabell 13:** Beräknade emissionsfaktorer beräknade för de olika vägsträckorna. I tabellen redovisas både värdena för simulering med farthinder och referenskörning utan farthinder. Dessa värden är ej hastighetskorrigerade.

Vägsträcka	Emissionsfaktor PM10 [mg/fkm]	Referens [mg/fkm]
Farthinder 1	251	244
Farthinder 2	250	244
Farthinder 3	250	244
Farthinder 4	250	244
Vägavsnitt 1	247	244
Vägavsnitt 2	247	244

I tabell 14 redovisas resultatet för halterna PM10 på Vaksalagatan. Resultat visar att halterna blir lägre med farthinder i jämförelse med referenskörningen. Det ses också att halterna är jämna över hela gatan då differensen mellan vägavsnitt 1 och vägavsnitt 2 är liten. Samtliga värden som redovisas i tabellen är lägre än de satta gränsvärden för MKN för årsmedelhalten av PM10. Miljö kvalitetsmålet Frisk luft som har ett gränsvärde satt till  $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$  överskrider dock för samtliga värden förutom det modellerade värdet vid farthinder 2.

**Tabell 14:** Årsmedelhalt av PM10 beräknat från simuleringar i SIMAIR samt med hastighetsberoendet för PM10 indelat efter olika vägsträckor. I tabellen redovisas både medelvärdet för simuleringar med farthinder samt referenskörning utan farthinder för samtliga vägsträckor. Notera att de modellerade halterna har korrigerats mot mätdata.

Vägsträcka	Årsmedelhalt PM10 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	Referens [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]
Farthinder 1	15,2	16,6
Farthinder 2	14,9	16,6
Farthinder 3	15,1	16,4
Farthinder 4	15,2	16,6
Vägavsnitt 1	15,6	17,5
Vägavsnitt 2	15,4	17,3

Beräknade värden för 90-percentilen för dygnsmedelhalten PM10 redovisas i tabell 15. Resultatet visar att värdena för simulering med farthinder är lägre i jämförelse med referenskörningen. Differensen mellan vägavsnitt 1 och vägavsnitt 2 är liten för 90-percentilen enligt tabellen. I tabell 15 ses det att inga av de modellerade värden överskrider det satta gränsvärdet för MKN.

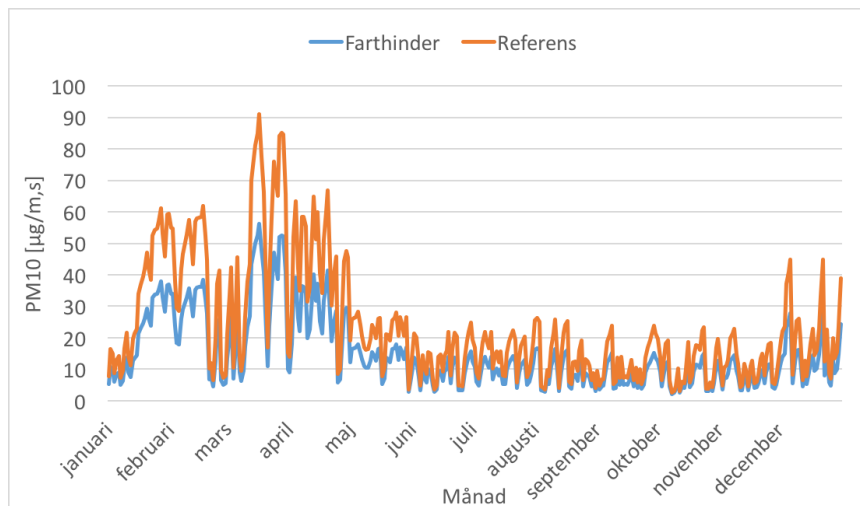
**Tabell 15:** 90-percentil baserat på dygnsmedelvärden för halten PM10. I tabellen redovisas både värdena för simulering med farthinder samt referenskörning utan farthinder. Notera att de modellerade halterna har korrigerats mot mätdata.

Vägsträcka	90-percentils dygnsmedelvärde PM10 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	Referens [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]
Farthinder 1	25,6	27,5
Farthinder 2	25,2	27,5
Farthinder 3	24,9	27,0
Farthinder 4	24,8	27,4
Vägavsnitt 1	25,4	28,7
Vägavsnitt 2	25,1	28,5

#### 4.2.2 Tidsvariation av emissionerna och halterna

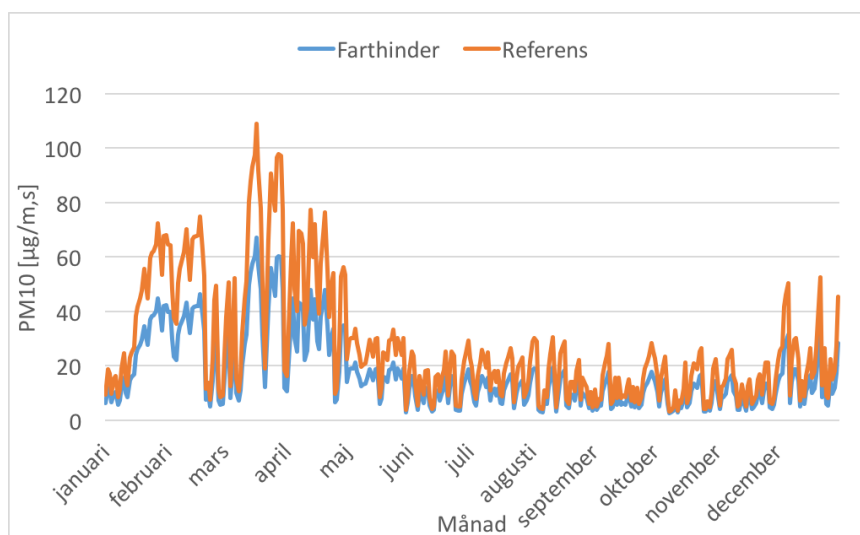
I figur 7 redovisas resultatet för tidsvariationen av emissionerna av PM10 på vägavsnitt 1. Från figuren kan det avläsas att emissionerna är högre för referenskörningen i förhållande till simuleringen med farthinder. Grafen visar även att emissionerna är som högst under mars och april vilket sammanfaller med när vägbanorna börjar torka upp och partiklarna från dubbdäckssäsongen frigörs. De lägsta emissionerna kan avläsas under sommar- och höstmånaderna.





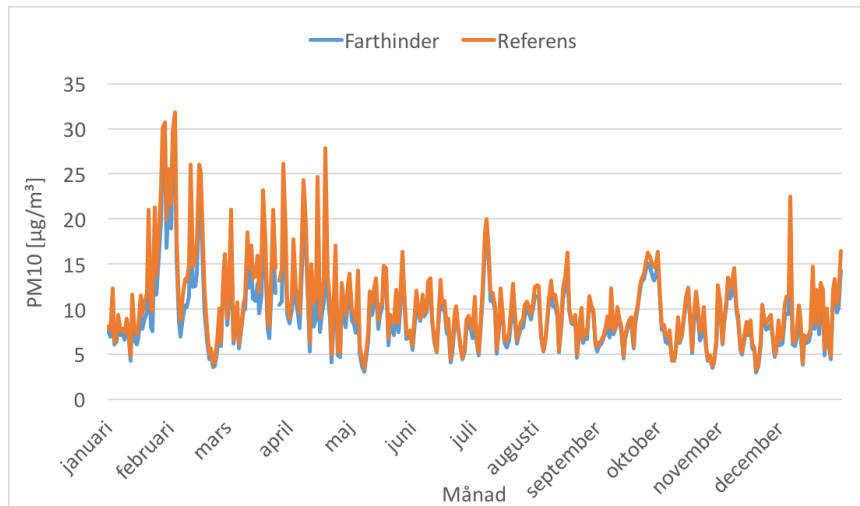
**Figur 7:** Graf som visar tidvariationen av emissionerna PM10 baserat på dygnsmedelvärden över ett år på vägavsnitt 1 (som är beräknad som ett medelvärde av samtliga 5 sträckor) på Vaksalagatan. Den blå linjen representerar simulering genomförd med farthinder. Den orangea linjen representerar en referenskörning över samma vägavsnitt men utan farthinder.

Figur 8 redovisar resultatet för tidsvariationen av emissionerna av PM10 på vägavsnitt 2. I figuren ses det att emissionerna blir högre för referenskörningen och att de högsta halterna uppkommer mellan mars och maj. Lägst emissioner ses under sommar- och höstmånaderna. Emissionerna för vägavsnitt 2 är, precis som konstaterats tidigare, något högre än vägavsnitt 1 eftersom trafikmängden är något högre.



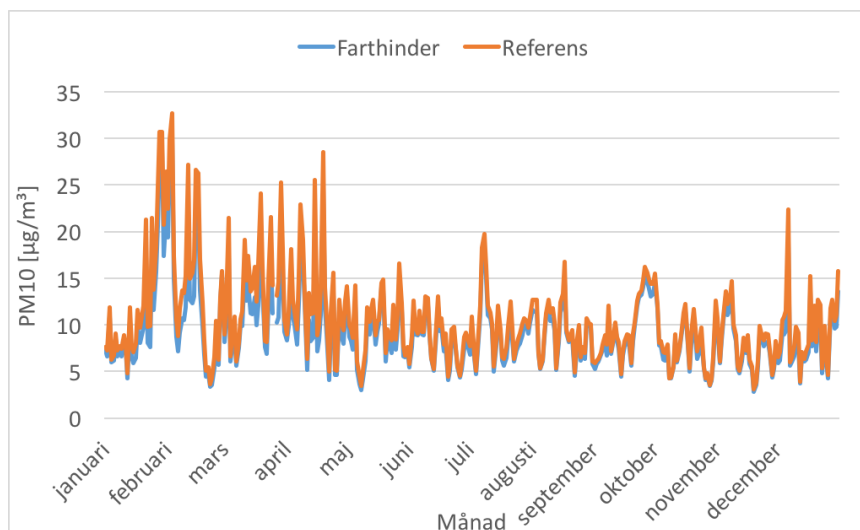
**Figur 8:** Graf som visar tidvariationen av emissionerna PM10 baserat på dygnsmedelvärden över ett år på vägavsnitt 2 (som är beräknad som ett medelvärde av samtliga 5 sträckor) på Vaksalagatan. Den blå linjen representerar simulering genomförd med farthinder. Den orangea linjen representerar en referenskörning över samma vägavsnitt men utan farthinder.

I figur 9 redovisas resultatet av tidsvariationen för halterna PM10 under ett år på vägavsnitt 1. I grafen ses en liten skillnad mellan simulering med farthinder och referenskörningen. Det kan dock utläsas att halterna för referenskörningen är högre. I figuren ses också att det är högre halter i början året i jämförelse med den andra halvan av året.



**Figur 9:** Graf som visar tidsvariationen av totalhalten (regional, urbana och lokala haltbidrag) av PM10 baserat på dygnsmedelvärden över ett år för vägavsnitt 1 på Vaksalagatan. Den blå linjen representerar simulering genomförd med två farthinder (farthinder 1 och 2) på sträckan. Den orangea linjen representerar en referenskörning över samma sträcka men utan farthinder.

Figur 10 redovisar resultatet för tidsvariationen av halterna PM10 på vägavsnitt 2 under ett år. I figuren ses det att halterna för referenskörningen blir högre i jämförelse med simuleringen med farthinder. Grafen visar även att halterna är högre i början av året.



**Figur 10:** Graf som visar tidsvariationen av totalhalten (regional, urbana och lokala haltbidrag) PM10 baserat på dygnsmedelvärden över ett år vägvagn 2 på Vaksalagatan. Den blå linjen representerar simulering genomförd med två farthinder (farthinder 3 och 4) på sträckan. Den orangea linjen representerar en referenskörning över samma sträcka men utan farthinder.

### 4.3 NO<sub>x</sub> OCH NO<sub>2</sub>

#### 4.3.1 Årsmedelvärde av emissionerna och halterna

I tabell 16 redovisas årsmedelvärdena av emissionerna NO<sub>x</sub> för de olika vägsträckorna. De numeriska värdena i tabellen visar att samtliga värden är nära på dubbelt så höga för simulering med farthinder i jämförelse med referenskörningen. I tabellen ses också att emissionerna är högre på vägvagn 2 än vägvagn 1.

**Tabell 16:** Medelvärde för emissionerna av NO<sub>x</sub> beräknat från simuleringar i SIMAIR indelat efter olika vägsträckor. I tabellen redovisas både medelvärdet för simuleringar med farthinder samt referenskörning utan farthinder för samtliga vägsträckor.

Vägsträcka	Årsmedelemission NO <sub>x</sub> [µg/m,s]	Referens [µg/m,s]
Farthinder 1	212,2	116,6
Farthinder 2	212,2	116,6
Farthinder 3	216,7	126,1
Farthinder 4	216,7	126,1
Vägvagn 1	154,9	116,6
Vägvagn 2	162,4	126,3

Emissionsfaktorn beräknades enligt ekvation 11 och resultat redovisas i tabell 17. Från resultatet ses det att en generellt högre emissionsfaktor ges vid de delar som tillhör vägvagn 1, alltså farthinder 1, farthinder 2 samt vägvagn 1.

**Tabell 17:** Beräknade emissionsfaktorer beräknade för de olika vägsträckorna. I tabellen redovisas både värdena för simulering med farthinder och referenskörning utan farthinder.

Vägsträcka	Emissionsfaktor NO <sub>x</sub> [mg/fkm]	Referens [mg/fkm]
Farthinder 1	1846	1014
Farthinder 2	1846	1014
Farthinder 3	1624	946
Farthinder 4	1624	946
Vägavsnitt 1	1347	1014
Vägavsnitt 2	1217	946

I tabell 18 är årsmedelhalterna NO<sub>2</sub> sammanställda för de olika vägsträckorna. I tabellen finns också differensen mellan de erhållna medelvärdena för simuleringar med farthinder i förhållande till referenssimuleringarna utan farthinder. Från tabell 18 ses att samtliga medelvärden med farthinder är högre än medelvärdena för referenskörningen. Tabellen visar också att differensen är större vid farthindren i förhållande till de fall där hela vägavsnittet studerats. För de simulerade värdena i tabellen ses det att MKN aldrig överskrids men att miljö kvalitetsmålet Frisk luft överskrids vid farthinder 1, farthinder 2 och farthinder 4. Samtliga värden för referenskörningen ligger under både MKN och miljö kvalitetsmålet Frisk luft.

**Tabell 18:** Medelvärde för halten NO<sub>2</sub> beräknat från simuleringar i SIMAIR indelat efter olika vägsträckor. I tabellen redovisas både medelvärdet för simuleringar med farthinder samt referenskörning utan farthinder för samtliga vägsträckor. Notera att de modellerade halterna har korrigerats mot mätdata.

Vägsträcka	Årsmedelhalt NO <sub>2</sub> [µg/m <sup>3</sup> ]	Referens [µg/m <sup>3</sup> ]
Farthinder 1	22,0	15,0
Farthinder 2	21,2	14,4
Farthinder 3	19,6	13,7
Farthinder 4	20,5	13,8
Vägavsnitt 1	18,3	15,6
Vägavsnitt 2	17,0	14,5

I tabell 19 redovisas resultatet för 98-percentilen för dygnsmedelvärdena av halterna NO<sub>2</sub> för de olika vägsträckorna. Resultatet från tabellen visar att värdena för farthinder 1 och farthinder 2 är högre i jämförelse med farthinder 3 och farthinder 4. Även vägavsnitt 1 är högre än vägavsnitt 2. Generellt blir alltså halterna högre på vägavsnitt 1 i jämförelse med vägavsnitt 2 trots högre trafikflöden vid vägavsnitt 2. De numeriska värdena i tabell 19 visar att inga av de simulerade värden överskrider MKN, inte heller referensvärdena överskrider det satta gränsvärdet.

**Tabell 19:** 98-percentil baserat på dygnsmedelvärden för halten NO<sub>2</sub>. I tabellen redovisas både värdena för simulering med farthinder och referenskörning utan farthinder. Notera att de modellerade halterna har korrigerats mot mätdata.

Vägsträcka	98-percentils dygnsmedelvärde NO <sub>2</sub> [µg/m <sup>3</sup> ]	Referens [µg/m <sup>3</sup> ]
Farthinder 1	40,9	27,7
Farthinder 2	40,0	27,3
Farthinder 3	35,5	24,9
Farthinder 4	36,2	24,8
Vägavsnitt 1	33,1	27,8
Vägavsnitt 2	29,7	25,4

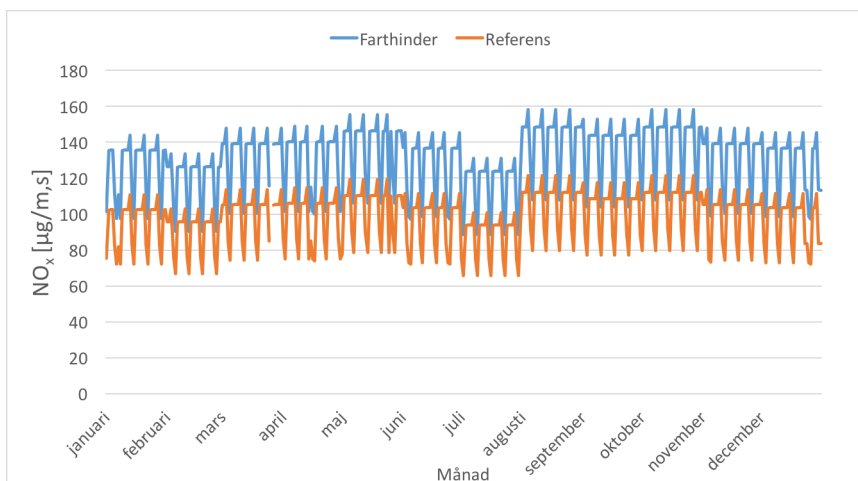
I tabell 20 redovisas 98-percentilen beräknat på timvärden för halterna NO<sub>2</sub> på Vaksalagatan. Resultatet som är beräknat på timmedelvärden visar mindre differens mellan vägsträckorna på vägavsnitt 1 och vägavsnitt 2 i förhållande till de resultat som redovisades i tabell 19. Samtliga numeriska värden i tabellen visar att halterna ej överskrider det satta gränsvärden för MKN.

**Tabell 20:** 98-percentil baserat på timvärden av halten NO<sub>2</sub>. I tabellen redovisas både värdena för simulering med farthinder och referenskörning utan farthinder. Notera att de modellerade halterna har korrigerats mot mätdata.

Vägsträcka	98-percentils timmedelvärde NO <sub>2</sub> [µg/m <sup>3</sup> ]	Referens [µg/m <sup>3</sup> ]
Farthinder 1	72,2	48,1
Farthinder 2	70,7	47,6
Farthinder 3	68,4	46,2
Farthinder 4	70,5	46,4
Vägavsnitt 1	57,4	49,1
Vägavsnitt 2	55,4	46,4

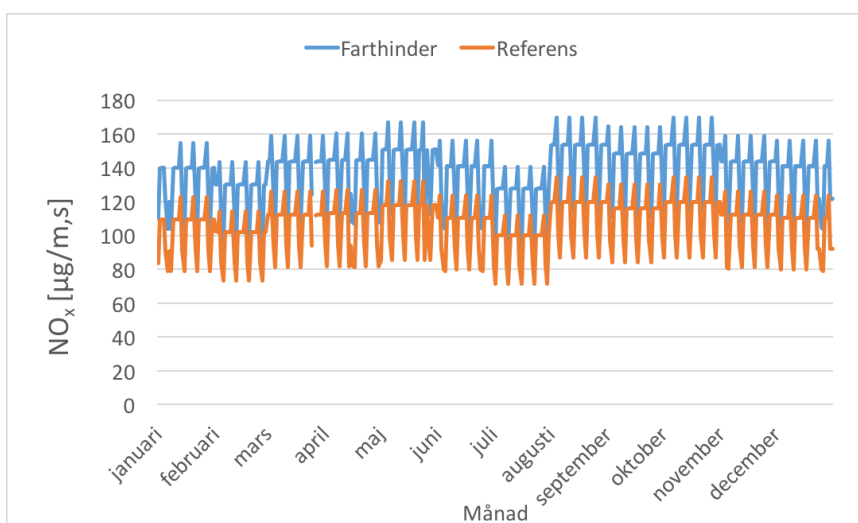
#### 4.3.2 Tidsvariation av emissionerna och halterna

I figur 11 redovisas dygnsmedelvärdena för de fem vägsträckorna som tillhör vägavsnitt 1. Resultatet visar att emissionerna av NO<sub>x</sub> blir högre med farthinder. Skillnaden mellan farthinder och referens är dock inte lika stor när hela vägavsnittet slås samman som när enbart farthindren studeras. En förklaring och diskussion av mönstret för emissionernas tidsvariation finns i avsnitt 5.3.



**Figur 11:** Graf som visar tidvariationen av emissionerna  $NO_x$  baserat på dygnsmedelvärden över ett år på vägavsnitt 1 på Vaksalagatan som går mellan Torkelsgatan och Tycho Hedéns väg. Den blå linjen representerar simulering genomförd på ett farthinder. Den orangea linjen representerar en referenskörning över samma sträcka men utan farthinder.

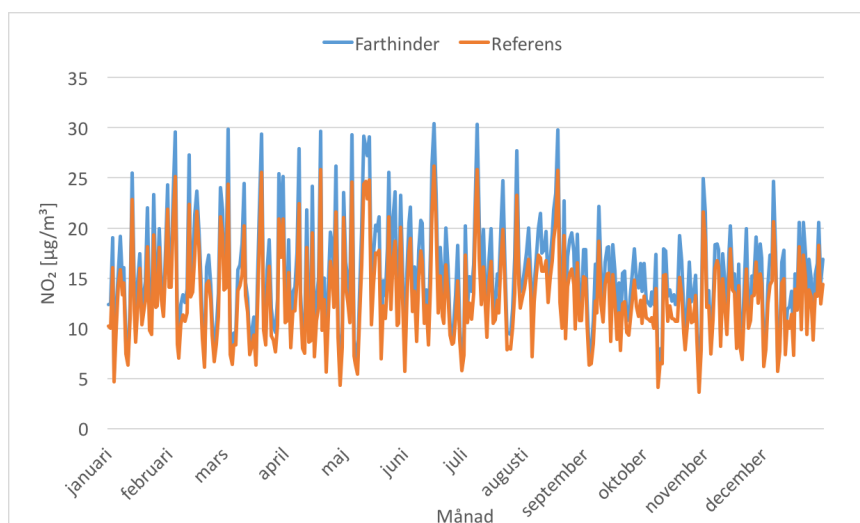
Figur 12 redovisas resultatet då samtliga dygnsmedelvärden för de fem vägsträckorna i vägavsnitt 2 beräknades som medelvärden. I figuren ses hur emissionerna av  $NO_x$  varierar under ett år för hela vägavsnitt 2. Resultatet visar att emissionerna blir högre för farthinder i jämförelse med referenskörningen.



**Figur 12:** Graf som visar tidvariationen av emissionerna  $NO_x$  baserat på dygnsmedelvärden över ett år på vägavsnitt 2 på Vaksalagatan som går mellan Stormgatan och Gränbyvägen. Den blå linjen representerar simulering genomförd på ett farthinder. Den orangea linjen representerar en referenskörning över samma sträcka men utan farthinder.

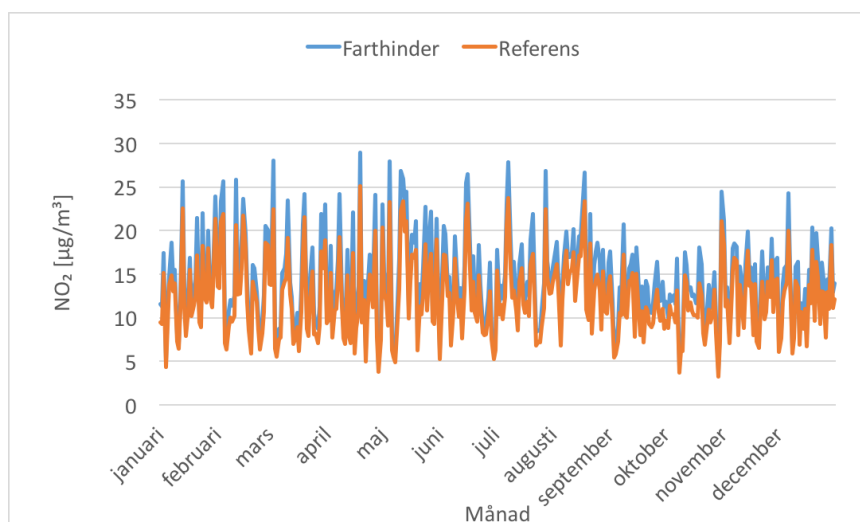
I figur 13 redovisas tidsvariationen för hela vägavsnitt 1 i avseende på halten  $NO_2$  under ett år. Halterna i grafen är beräknade från medelvärdet av simuleringar från samtliga fem

länkar som vägavsnitt 1 består av. Grafen visar att halterna av NO<sub>2</sub> blir något högre med farthinder i jämförelse med utan.



**Figur 13:** Graf som visar tidvariationen av totalhalten (regional, urbana och lokala haltbidrag) NO<sub>2</sub> baserat på dygnsmedelvärden över ett år vägavsnitt 1 på Vaksalagatan som går mellan Torkelsgatan och Tycho Hedéns väg. Den blå linjen representerar simulering genomförd med två farthinder (farthinder 1 och 2) på sträckan. Den orangea linjen representerar en referenskörning över samma sträcka men utan farthinder.

Figur 14 visar årsvariationen av NO<sub>2</sub> för vägavsnitt 2. I figuren ses grafen för vägsträckan med farthinder och utan farthinder och resultatet visar att farthindren bidrar till högre halter NO<sub>2</sub> på vägavsnittet. Grafen visar också att halterna är högre under första delen av året.



**Figur 14:** Graf som visar tidvariationen av totalhalten (regional, urbana och lokala haltbidrag) NO<sub>2</sub> baserat på dygnsmedelvärden över ett år för vägavsnitt 2 på Vaksalagatan som går mellan Stormgatan och Gränbyvägen. Den blå linjen representerar simulering genomförd med två farthinder (farthinder 3 och 4) på sträckan. Den orangea linjen representerar en referenskörning över samma sträcka men utan farthinder.

## 5 DISKUSSION

*I detta avsnitt diskuteras samtliga resultat som erhöles från detta projekt samt felkällor som kan ha påverkat resultatet. Avsnittet redogör även för hur det fortsatta arbetet med förbättrad luftkvalitet kan bygga vidare från detta projekt.*

### 5.1 VALIDERING MOT MÄTNINGAR VID KUNGSGATAN I UPPSALA

I tabell 10 och tabell 11 redovisas korrektionsfaktorerna som beräknades från valideringen av SIMAIR på Kungsgatan i Uppsala. Resultatet från valideringen visade att korrektionsfaktorn för PM10 var 0,84 och för NO<sub>2</sub> 1,19. Detta resultat stämde överens med tidigare valideringar av SIMAIR som beskrevs i avsnitt 2 där halterna av PM10 har en tendens att överskattas (Andersson m. fl., 2018) vilket är en konsekvens av användandet av dammbindningsmedel på gatorna som ej tas hänsyn till i modelleringen. På Kungsgatan i Uppsala används dammbindningsmedel och detta ses på korrektionsfaktorn som blev relativt låg för PM10. Enligt den tidigare studien visade resultatet för 98-percentilen för NO<sub>2</sub> att den tenderade att underskattas. Dessa resultat stämmer väl överens med resultaten från valideringen på Kungsgatan i Uppsala som genomfördes i detta projekt. Genom korrektion mot mätdata bedöms kvaliteten på modelleringen förbättras (detta trots att olika kalenderår används, vilket beskrevs i avsnitt 3.2).

### 5.2 PM10

I avsnitt 4.2 redovisas resultaten för halter och emissioner av PM10. Samtliga resultat visar att både halterna och emissionerna blir lägre med farthinder i jämförelse med referenskörningen utan farthinder. Att halterna samt emissionerna minskar med farthinder kan förklaras med att den lägre hastigheten som kommer med farthinder ger minskat slitage på både väg och däck.

I tabell 14 redovisas årsmedelvärdena för halterna PM10. Resultatet visar att halterna minskar för samtliga farthinder. Minskningen av PM10 kan förklaras med att bilarna bromsar in och kör med en lägre hastighet över farthindren. Inbromsningen kan dock leda till att slitagepartiklarna från bromsarna ökar. De lägre hastigheterna genererar däremot minskat slitage och därmed minskade emissioner PM10 från väg och däck som minskar med lägre hastighet. Det största bidraget till halterna PM10 står de regionala bidragen för och dessa blir oförändrade både med och utan farthinder vilket leder till att den procentuella förändringen av halten PM10 inte blir så stor. Resultatet i tabell 12 som redovisar för årsmedelvärdet för emissionerna visar endast lokala utsläppskällor vilket ger en större procentuell skillnad mellan referenskörningen respektive simulering med farthinder. Skillnaden mellan dessa är ett direkt resultat av hastighetsberoendet för PM10 där lägre hastighet ger lägre emissioner. I detta projekt användes ett antagande om en procentuell minskning på 39 % av emissionerna när hastigheten minskade från 50 km/tim till 20 km/tim. Denna minskning förklarar också de minskade halterna av PM10.

I tabell 13 redovisas emissionsfaktorerna för samtliga farthinder samt vägavsnitt 1 samt vägavsnitt 2. Emissionsfaktorerna beräknades för att normalisera emissionerna med trafikmängderna. Resultatet av emissionsfaktorerna visar att de blir högre med farthinder i jämförelse med referenskörningen. Ökningen kan förklaras med ökade avgasemissioner



av PM10 som en följd av de lägre hastigheterna och förändrad kösituation med ökad acceleration samt inbromsning.

De beräknade värdena för 90-percentilen av dygnsmedelvärdena som redovisas i tabell 15 visar även högre halter för referenskörningen. Att dessa resultat visar samma mönster som de tidigare värdena är rimligt då de beror av samma faktorer. 90-percentilen av halterna PM10 är beräknat utifrån totalhalten där de regionala bidragen står för en stor del vilket gör att differensen mellan de numeriska värdena mellan farthinder och referenskörningen inte blir så stor. Resultatet visar dock att samtliga värden är lägre för simuleringarna med farthinder i jämförelse med referenskörningen.

Resultatet för tidsvariationen av emissionerna och halterna PM10 är sammanställt genom fyra grafer som redovisas i figur 7, figur 8, figur 9 och figur 10. I samtliga figurer ses det högre värden för referenskörningen i jämförelse med simuleringen med farthinder. Den största skillnaden mellan tidsvariationen ses i figur 7 och figur 8 där emissionerna är plottade. Emissionerna beror endast på lokala källor och därför ses en större skillnad när hastigheten sänks. I figur 9 och figur 10 där halterna är plottade är skillnaden mellan referenskörningen och simuleringen med farthinder mindre. Att differensen är mindre för dessa kan förklaras med att majoriteten av totalhalten för PM10 är regionala utsläppskällor. Med farthinder ses det att emissionerna minskar och dessa räknas som ett lokalt haltbidrag och det ger en mindre procentuell förändring på totalhalten. Från figurerna ses en tydlig årstidsvariation där både halterna och emissionerna är som högst mellan februari och maj. Att PM10-halterna är som högst under denna period beror på kombinationen av dubbdäck och att vägbanan torkar. Under vinterperioden när dubbdäck används ansamlas mycket partiklar på vägbanan på grund av att den är fuktig. När vägbanan sedan torkar upp under våren sker resuspension och det genererar höga halter PM10 och därför ses en förskjutning av högre halter i förhållande till emissionerna (Gustafsson och Johansson, 2012). I figuren ses även låga halter under mars och detta kan förklaras med nederbörd som ger våta vägbanor vilket leder till att partiklarna ej frigörs från vägbanan.

Vid jämförelse mellan resultaten som erhöles i detta projekt och de satta gränsvärdena för MKN kan det konstateras att det inte överskrids. Miljömålet Frisk luft överskrids dock för både simulering med farthinder samt referenskörningen. I detta projekt har årsmedlevärdet för PM10 beräknats och redovisas i tabell 14 där det högsta värdet beräknades till  $17,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  för referenskörningen och  $15,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$  för simuleringen med farthinder. Gränsvärdena för medelvärdesperioden per år är satt till  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  för MKN och  $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$  för miljömålet Frisk luft.

### 5.3 NO<sub>x</sub> OCH NO<sub>2</sub>

Samtliga resultat som redovisas i avsnitt 4.3 visar att halterna NO<sub>2</sub> ökar vid simulering med farthinder i jämförelse med referenskörningen. Detta är enligt teorin eftersom acceleration och inbromsning är två faktorer som ger ökade emissioner. Beräkningarna av emissionsfaktorn som redovisas i tabell 17 stärker denna teori då samtliga värden är högre vid farthinder i jämförelse med referensvärdena.

Då tabell 16 studeras kan det avläsas att årsmedelvärdena för emissionerna blir högre med farthinder för samtliga vägsträckor och även för de båda vägavsnitten. Då körsituationen på farthindren var inställd på stopp och kör blir körbeteende på denna del väldigt ryckigt med mycket inbromsningar och accelerationer vilket har visats ha ett signifikant samband med ökade emissioner av  $\text{NO}_x$ . Detta antagande är förmodligen en liten överskattning av "ryckigheten" på Vaksalagatan. De ökade emissionerna är en effekt av den ökade förbränningen av bränsle vid denna typ av körbeteende. Tabell 16 visar också på en skillnad mellan vägavsnitt 1 och vägavsnitt 2 i emissioner. Emissionerna av  $\text{NO}_x$  är högre på vägavsnitt 2 och detta beror på högre trafikflöden på den delen av Vaksalagatan.

I tabell 18 redovisas resultatet av årsmedelvärdet för  $\text{NO}_2$  för Vaksalagatan med respektive utan farthinder. Resultatet visar tydligt att halterna blir högre med farthinder i jämförelse med referenskörningen. Differensen mellan simuleringen med respektive utan farthinder är större vid just farthindren i jämförelse med när hela vägavsnittet studeras. Anledningen till att halterna blir högre vid just farthindren beror på att det ryckiga körbeteende över de genererar högre emissioner  $\text{NO}_x$  i och med ökad förbränning av bränsle. När årsmedelvärdet sammanställs över hela vägavsnittet blir differensen lägre eftersom farthindren endast representerar en liten del av vägavsnittet och de resterande sträckorna bidrar med samma emissioner oavsett om det är simulering med farthinder eller referenskörningen. Halterna i tabellen har också bidrag från urbana och regionala källor som inte förändras vid de olika scenarion av simuleringen.

De beräknade 98-percentilerna som redovisas i tabell 19 och tabell 20 visar att samtliga värden blir högre för simulering med farthinder i jämförelse med referenskörningen. Denna trend är densamma som ses för årsmedelvärdena vilket är rimligt eftersom det är halter som studerats i båda fallen. Vid jämförelse mellan 98-percentilen baserat på dygnsmedelvärden respektive timvärden av halten  $\text{NO}_2$  ses högre numeriska värden för de som är baserat på timvärden. Att 98-percentilen baserat på timvärden blir högre beror på att extremvärdena blir högre när de beräknas på timvärdena då halterna under ogynnsamma förhållande och hög trafikbelastning.

I figur 11, figur 12, figur 13 och figur 14 redovisas tidsvariationen av emissioner och halterna  $\text{NO}_x$  respektive  $\text{NO}_2$ . Resultatet visar att emissionerna blir högre under hela året vid simulering med farthinder i jämförelse med referenskörningen. I graferna som visar tidsvariationen för emissionerna ses ett tydligt mönster med tydliga veckovisa variationer. Variationer kan förklaras med variationen i trafikflödena under veckan. Under vardagarna är trafikflödena som störst. Det ses också årstidsvariationer i graferna och det beror på fördelningen av månadstrafikflöden som användes som indata. Från figur 11 och figur 12 är det svårt att urskilja någon tydlig årstidsvariation. Det kan dock urskiljas något lägre emissioner under sommarmånaderna och detta beror på trafikmängderna är som lägst under juli månad. Samma årstidsvariation ses även i figur 13 och figur 14 där tidsvariationen av halterna  $\text{NO}_2$  redovisas. Det är tydligt att se från figurerna som redovisar totalhalten att de båda simuleringarna följer samma mönster men att högre toppar ses för simuleringen med farthinder. De högre topparna kan förklaras med de ökade emissionerna vid just farthindren.

Vid jämförelse av årsmedelvärdena för NO<sub>2</sub> mot MKN samt miljö kvalitetsmålet Frisk luft ses det att några värden för simulering med farthinder överskrider miljömålet Frisk lufts satta gränsvärde på 20 µg/m<sup>3</sup>. I tabell 18 där årsmedelvärdena redovisas överskrider 20 µg/m<sup>3</sup> vid farthinder 1, farthinder 2 och farthinder 4. Den högsta simulerade halten beräknades till 22 µg/m<sup>3</sup> ses vid farthinder 1. Den satta MKN-värdet för 98-percentilen dygnsvärden är 60 µg/m<sup>3</sup> och från resultatet i tabell 19 överskrider det ej. Det högsta värdet för 98-percentilen dygnsvärden i detta projekt beräknades till 43,1 µg/m<sup>3</sup> vid farthinder 1. Den nedre utvärderingströskeln för MKN är satt till 36 µg/m<sup>3</sup> för 98-percentilen dygnsvärden. Att farthinder 1 överskrider den nedre utvärderingströskeln innebär att det är viktigt att ytterligare jobba med att kontrollera, följa upp och förbättra luftkvaliteten för att säkra människors hälsa. Även den högst beräknade 98-percentilen för timvärden i detta projekt var vid farthinder 1 med värdet 61,4 µg/m<sup>3</sup> som överskrider den nedre utvärderingströskeln för MKN för 98-percentilen timvärden som är satt till 54 µg/m<sup>3</sup>. Att de båda 98-percentilerna överskrider den nedre utvärderingströskeln vid farthinder 1 innebär förstås att halterna är relativt höga, men när halterna sammanställs över vägavsnitt 1 så ses det att inga MKN-värden överskrider. Att beakta hela vägavsnittet ger en mer representativ bild för luftkvaliteten på hela Vaksalagatan än när endast de högst belastade delarna studeras. MKN är dock utformad för att gälla vid de tungt belastade miljöer där människor vistas. Således får det inte finnas några vägsträckor med överskridanden av MKN.

#### **5.4 SAMMANFATTANDE BEDÖMNING AV FARTHINDERS PÅVERKAN PÅ LUFTKVALITETEN VID VAKSALAGATAN**

Det är svårt att väga de olika luftföroreningarna mot varandra då båda har negativa effekter på människors hälsa och naturen. För att kunna besvara frågeställningen angående vilken effekt farthindren har på luftkvaliteten på Vaksalagatan har den procentuella förändringen av respektive luftförorening beräknats. Från resultatet av årsmedelvärdena för halterna PM10 som redovisas i tabell 14 ses en minskning med 12% för både vägavsnitt 1 och vägavsnitt 2 med farthinder i jämförelse med referenskörningen. I tabell 18 redovisas årsmedelvärdena för halterna NO<sub>2</sub> och den procentuella ökningen simulering med farthinder gett är 17 % för både vägavsnitt 1 och vägavsnitt 2. För både vägavsnitt 1 och vägavsnitt 2 ses en procentuell ökning av luftföroreningar då den procentuella ökningen av NO<sub>2</sub> är större än den procentuella minskningen av PM10. Vid jämförelse med MKN-värden ses det att ingen av luftföroreningarna överskrider de satta gränsvärdena. Om någon av luftföroreningarna hade varit överskridande hade det varit motiverat att väga den föroreningen tyngst. Effekterna av en ökning med 10 µg/m<sup>3</sup> av PM10 samt NO<sub>2</sub> ökar risken för för tidiga dödsfall med 6,6 % respektive 1,2 % (Khaniabadi m. fl., 2016). Från detta resultat kan man se att en minskning av PM10 ger större positiva effekter på folkhälsan i jämförelse med ökningen av NO<sub>2</sub>. Det ska dock noteras att de procentuellt beräknade värdena för tidiga dödsfall är ett resultat från endast en studie.

En annan positiv effekt av farthinder skulle kunna vara en generell minskning av vägtrafiken på gatan. En minskning av vägtrafiken i samband med farthinder skulle ha positiva effekter både för PM10 och NO<sub>2</sub>. Enligt kommunen går det dock inte att se

någon minskning av vägtrafiken på Vaksalagatan. Att fortsätta att följa upp trafikmängden på gatan vore intressant och även studera närliggande gator och se om belastningen på dessa förändras.

## 5.5 FELKÄLLOR

En felkälla i detta projekt var att hastighetsberoendet för PM10 ej beräknades med simuleringar direkt i SIMAIR. Istället användes en korrektion som bygger på en studie av hastighetsberoende från Norge som utförts i ett laboratorium. Ett alternativ hade kunnat vara att istället använda den mer avancerade resuspensionsmodellen NORTRIP (Rolstad Denby och Sundvor, 2012), men eftersom denna ännu ej är implementerad i SIMAIR och att körningar är tidskrävande avgränsades detta examensarbete till att istället använda en enkel korrektion. Denna korrektionsfaktor var ett resultat från en testkörning på laboratorium där halterna PM10 hastighetsberoende undersöktes. Att genomföra simuleringar direkt i NORTRIP hade gett mer trovärdiga och specifika resultat för Vaksalagatan.

Vid valideringen mot mätningar vid Kungsgatan finns det också en felkälla att beakta då dammbindningsmedel används vid Kungsgatan. Vid simulering i SIMAIR tas dammbindningsmedel ej hänsyn till och detta leder till att de modellerade halterna av PM10 har en tendens att överskattas. På Vaksalagatan används också dammbindningsmedel men inte i lika stor utsträckning som på Kungsgatan. Så den korrektionsfaktor som beräknades för PM10 från mätningar vid Kungsgatan kan ge något underskattade korrigerade halter vid Vaksalagatan.

Ytterligare en felkälla att ta hänsyn till i detta projekt är att dagtypsvariationen togs från Kungsgatan då det saknades hastighetsmätningar med tidsupplösning på en timme från Vaksalagatan. Även om det är rimligt att anta att det är ungefär samma dagtypsvariation över dygnet är det mer osäkert att veta hur tungt belastad Vaksalagatan blir under dessa utsatta klockslag. På Kungsgatan används inte farthinder, utan trafiksignaler vilket ger upphov till ett annat körbeteende med andra trafiksituationer. I detta projekt var det dock främst jämförelse mellan simuleringar med respektive utan farthinder som genomförts vilket gör att denna felkälla har mindre påverkan då det använts samma dagtypsvariation för samtliga simuleringar. Om projektet hade syftat till att undersöka de faktiska halterna och emissionerna på Vaksalagatan hade detta varit en större felkälla att beakta.

Numeriska värden för bränslesammansättningen erhöles från Trafikanalys (Trafikanalys, 2016) som var baserat på data från 2016 är också en felkälla som kan påverka resultatet. De senaste åren har antalet dieseldrivna bilar ökat. Mer uppdaterad data hade gett en mer trovärdig representation av situationen på Vaksalagatan idag. Denna statistik tar inte hänsyn till hur mycket som fordonen körs vilket också påverkar resultatet. För en bättre representation om situationen idag skulle statistik som tar hänsyn till hur mycket de olika fordonen körs behövas.

I SIMAIR fanns inte möjligheten till att simulera farthinder som ett förval. För att skapa en simulering med farthinder valdes därför att den motsvarande vägsträckan där farthinder var placerade att minska den skyltade hastigheten till lägsta möjliga, 30

km/tim, samt välja kösituationen till den tyngst belastade dygnet runt. Med detta var målet att efterlikna den situation som uppstår vid ett farthinder med ökad inbromsningar och accelerationer, samt lägre hastigheter på farthindret. Då det inte finns några mätningar av luftkvaliteten från Vaksalagatan är det svårt att bedöma hur korrekta dessa antagande var för att simulera farthinder. En annan aspekt av detta är också att inbromsningen faktiskt sker innan farthindret och accelerationen sker efter. När hela vägavsnitten studeras borde detta dock inte ha påverkat resultatet då inbromsningen och accelerationen blir medräknat i de totala emissionerna samt halterna. Det som inte heller framgår från denna simulering är det faktum att den lätta trafiken minskar sin hastighet betydligt mer än vad den tunga trafiken gör vid förhållande med fritt flöde på gatan.

## **5.6 FRAMTIDA STUDIER**

I det fortsatta arbetet med förbättrad luftkvalitet i samband med farthinder bör mer säkerställda simuleringar för PM10 genomföras. I detta projekt var planen från början att använda NORTRIP men på grund av omprioriteringar och tekniska begränsningar uteblev dessa simuleringar och enklare beräkningar användes för att se hur farthindren påverkade emissionerna och halterna av PM10. För att utveckla och säkerställa resultatet ytterligare bör simuleringar i NORTRIP genomföras då fler faktorer ger ett mer trovärdigt resultat.

För att verifiera resultaten i modelleringen skulle det också vara intressant att genomföra mätningar med och utan farthinder på gator där farthinder planeras att införas. Ett problem med mätningar är dock att det är omöjligt att genomföra mätningarna över samma tidsperiod, så olika mätperioder kan representera olika förhållanden som bland annat påverkas av meteorologifaktorer.

## 6 SLUTSATSER

*Slutsatserna av detta projekt redovisas här för att besvara de tre frågesällningarna angående farthinders påverkan på luftkvaliteten på Vaksalagatan.*

Från de simuleringar och beräkningar som genomförts i detta projekt har följande slutsatser kunnat fastställas.

- Farthindren på Vaksalagatan ger lägre emissioner av PM10 samt lägre halter av PM10.
- Farthindren på Vaksalagatan ger högre emissioner NO<sub>x</sub> samt högre halter av NO<sub>2</sub>.
- Med farthinder på Vaksalagatan ökar halten NO<sub>2</sub> med 17 % och halten av PM10 minskar med 12 %. Då PM10 har en större negativ effekt på människors hälsa och risken för förkortad levnadslängd påverkas mer av PM10 än NO<sub>2</sub> ses en positiv effekt av farthinders inverkan på luftkvaliteten ur en folkhälsoaspekt.

## REFERENSER

### RAPPORTER

- Andersson, S., S. Holmin Fridell, H. Alpfjord Wylde, J. Jones och J. Arvelius (2018). *Validering av SIMAIR mot mätningar för åren 2014-2016*. Tekn. rapport 2018-16. Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut.
- Andersson, S. och G. Omstedt (2008). *Vintervägar med eller utan dubbdäck - Beräkningar av emissioner och halter av partiklar för olika dubbdäcksscenarioer*. Tekn. rapport 2008-134. Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut.
- Björketun, U. och A. Carlsson (2005). *Trafikvariation över året -Trafikindex och rangkurvor beräknade från mätdata*. Tekn. rapport 2005-31. Statens väg- och transportforskningsinstitut.
- Bokare, SP. och AK. Maurya (2013). *Study of effect of speed, acceleration and deacceleration of small petrol cars on its tail pipe emission*. Tekn. rapport International Journal for Traffic and Transport Engineering, 2013, 3(4): 465 - 478. RSR Rungta College of Engineering och Technology, Indian Institute of Technology Guwahati,
- Forsberg, B., H-C. Hansson, C. Johansson, H. Areskoug, K. Persson och B. Järholm (2005). *Comparative Health Impact Assessment of Local and Regional Particulate Air Pollutants in Scandinavia*. Tekn. rapport 34: 11–19. Royal Swedish Academy of Science.
- Gidhagen, L., H. Johansson och G. Omstedt (2009). *SIMAIR - Evaluation tool for meeting the EU directive on air pollution limits*. Tekn. rapport Atmospheric Environment, 43, 1029-1036,
- Gustafsson, M. (u.å). *Åtgärder mot höga halter av PM10 i Stockholm*. Tekn. rapport 14097. Statens Vegvesen.
- Gustafsson, M. och C. Johansson (2012). *Vägbeläggningar och PM10. Sammanställning av Trafikverksfinansierade forskningsresultat kring hur vägbeläggnings egenskaper påverkar emissioner och egenskaper hos slitagepartiklar*. Tekn. rapport 2012:240. Trafikverket.
- Gustafsson, M., J. Lindén, L. Tang, B. Forsberg, H. Orru, S. Åström och K. Sjöberg (2014). *Quantification of population exposure to NO2, PM2.5 and PM10 and estimated health impacts in Sweden 2010*. Tekn. rapport B 2197'. Svenska Miljöinstitutet AB.
- Johansson, C., L. Burman och B. Lövenheim (2003). *Trängselavgifter i Stockholm - effekter på luftkvalitet och hälsa*. 5336. Naturvårdsverket.
- Karlgrén, J. (2001). *Bilars hastighet längs gator med gupp*. Tekn. rapport 2001:1. Chalmers tekniska högskola.
- Khaniabadi, Y O., G. Goudarzi, S M. Daryanoosh, A. Borgini, A. Tittarelli och A. De Marco (2016). *Exposure to PM10, NO2, and O3 and impacts on human health*. Tekn. rapport Environmental Science and Pollution Research, DOI: 10.1007/s11356-016-8038-6.
- Lingegård, S. (2011). *Utveckling och provning av aktivt farthinder för ergonomi och säkerhet*. 2010/11360. Trafikverket.
- Omstedt, G., S. Andersson, R. Bennet C. Bergström, L. Gidhagen, C. Johansson och K. Persson (2010). *Kartläggning av partiklar i Sverige – halter, källbidrag och kunskapsluckor*. Tekn. rapport SMHI Meteorologi nr 144. Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut.

- Omstedt, G., S. Andersson, L. Gidhagen och L. Robertson (2011). *Evaluation of new model tools for meeting the targets of the EU Air Quality Directive: A case study on the studded tyre use in Sweden*. Tekn. rapport International Journal of Environment and Pollution, Vol. 47, No. 1/2/3/4, 79-96.,
- Omstedt, G., B. Bringfelt och C. Johansson (2005). *A model for vehicle-induced non-tailpipe emissions of particles along Swedish roads*. Tekn. rapport. Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut, Atmospheric Environment s. 6088–6097.
- Rolstad Denby, B. och I. Sundvor (2012). *NORTRIP model development and documentation*. Tekn. rapport. Norwegian Institute for Air Research (NILU),
- Rosen, E. och U. Sander (2009). *Pedestrian Fatality Risk as a Function of Car Impact Speed. Accident Analysis and Prevention*. 41(3):536-42. doi: 10.1016/j.aap.2009.02.002.
- Snilsberg, B., T. Myran och N. Uthus (2008). *Pavement wear and airborne dust pollution in Norway: The influence of driving speeds and tires on road dust properties*. Tekn. rapport ISSN 1503-8181. Norwegian University of Science och Technology, Trondheim,
- Vägar, Riksförbundet Enskilda (2011). *Fartdämpande åtgärder på enskilda vägar*. Riksförbundet Enskilda Vägar.

## HEMSIDOR

- Naturvårdsverket (2017a). *Partiklar PM10, i gaturum*. URL: <https://www.naturvardsverket.se/Sa-mar-miljon/Statistik-A-0/Partiklar-PM10-halter-i-luft-gaturum-arsmedelvarden/> (hämtad 2018-08-28).
- Naturvårdsverket (2017b). *Utsläpp av kväveoxider till luft*. URL: <https://www.naturvardsverket.se/Sa-mar-miljon/Statistik-A-0/Kvaveoxid-till-luft/> (hämtad 2018-08-28).
- Naturvårdsverket (2018a). *Fakta om partiklar i luft*. URL: <https://www.naturvardsverket.se/Sa-mar-miljon/Klimat-och-luft/Luftfororeningar/Partiklar/> (hämtad 2018-08-27).
- Naturvårdsverket (2018b). *Gränsvärden, målvärden och utvärderingströsklar för luft*. URL: <https://www.naturvardsverket.se/Stod-i-miljoarbetet/Vagledning/Luft-och-klimat/Miljokvalitetsnormer-for-utomhusluft/Gransvarden-malvarden-utvarderingstrosklar/> (hämtad 2018-08-28).
- Naturvårdsverket (2018c). *Precisering av Frisk luft*. URL: <http://www.naturvardsverket.se/Miljoarbete-i-samhallet/Sveriges-miljomal/Miljokvalitetsmalen/Frisk-luft/Precisering-av-Frisk-luft/> (hämtad 2018-11-01).
- Persson (2014). *Kväveoxid*. URL: <https://ki.se/imm/kvaveoxid> (hämtad 2019-01-02).
- SMHI (2019). *Datavårdskap för luftkvalitet*. URL: <https://www.smhi.se/klimatdata/miljo/luftmiljodata> (hämtad 2019-01-02).
- SMHI (2017). *SIMAIR – teknisk beskrivning*. URL: <https://www.smhi.se/forskning/forskningsomraden/luftmiljo/simair-teknisk-beskrivning-1.602> (hämtad 2018-08-28).



- Trafikanalys (2016). *Fordon i län och kommuner år 2016*. URL: [https://www.trafa.se/globalassets/statistik/vagtrafik/fordon/2016/fordon\\_lan\\_och\\_kom\\_2016\\_blad.pdf](https://www.trafa.se/globalassets/statistik/vagtrafik/fordon/2016/fordon_lan_och_kom_2016_blad.pdf)? (hämtad 2018-10-02).
- Uppsala Kommun (2017). *Vaksalagatan får busskörfält*. URL: <https://www.uppsala.se/organisation-och-styrning/nyheter-och-pessmeddelanden/vaksalagatan-far-busskorfalt/> (hämtad 2018-08-27).
- Uppsala Kommun (2018). *Dubbdäck i stan*. URL: <https://www.uppsala.se/boende-och-trafik/trafik-och-gator/dubbdack-i-stan/> (hämtad 2018-09-05).