



DEPARTMENT OF BIOLOGICAL AND
ENVIRONMENTAL SCIENCES

Vegetationens påverkan på luftföroreningshalter i urban miljö

Sara Abrahamsson

Degree project for Master of Science (120 hec) with a major in Environmental Science
2016, 120 HEC
Second Cycle

Sammanfattning

Vegetation i olika former tillhandahåller viktiga ekosystemtjänster som exempelvis reduktion av luftföroreningar genom bland annat deposition och dispersion. I denna uppsats undersöks hur detta kan nyttjas i urban miljö. Syftet med studien var att undersöka hur vegetation påverkar luftföroreningshalter i städer och vilken roll sommaren och våren (vegetation med respektive utan gröna blad) spelar gällande denna effekt.

Undersökningen består av dels en litteraturstudie och dels en empirisk studie. Litteraturstudien baseras på vetenskapliga artiklar från olika databaser och den empiriska studien baseras på mätdata från projektet *Värdering av ekosystemtjänster av urban grönska*. Som en del av detta projekt har luftföroreningshalter uppmätts på olika platser runt om i de centrala delarna av Göteborg under våren och sommaren 2015. Denna uppsats fokuserar på luftföroreningarna kvävedioxid (NO₂), ozon (O₃) samt partiklar (PM).

Resultatet på både litteraturstudien och den empiriska studien visar att vegetation har en effekt på luftföroreningshalter, men att det även finns en hel del andra faktorer som påverkar. Några studier förespråkar användningen av vegetation som luftrenare i städer, men alla håller inte med om att detta är en tillräcklig metod i strävan efter en bättre luftkvalitet. Vad gäller den empiriska studien fanns en statistisk signifikant skillnad mellan koncentrationen av NO₂ innanför respektive utanför en tät skogsdunge, då koncentrationsnivån var lägre innanför skogsdungen. Effekten av vegetationen var signifikant större på sommaren än innan lövsprickningen vad gäller NO₂. Detta tyder på att deposition är en av de viktigaste faktorerna som påverkar vegetationens effekt på luftföroreningar.

Den empiriska studien visar även ett tydligt negativt samband mellan halten NO₂ och avstånd från trafikled vid mätstationerna omkring Slottskogen. Om människor rör sig på ett större avstånd från trafiken (exempelvis genom parker) kommer de därför att exponeras för en mindre mängd luftföroreningar. Av denna anledning är det viktigt att via exempelvis olika typer av styrmedel få människor att göra de vägval där de blir utsatta för lägst halt av luftföroreningar, även om detta vägval resulterar i en längre restid.

Slutsatsen av denna studie är att vegetation har en reducerande påverkan på luftföroreningshalter i städer. Effekten är större på sommaren än innan lövsprickningen, vilket tyder på att deposition är en viktig faktor gällande denna effekt. Detta får konsekvenser för stadsplaneringen då det vid planerad användning av vegetation som luftrenare är viktigt att anpassa vegetationen till syftet och platsen i fråga och ta hänsyn till bland annat biologiska, kemiska och meteorologiska aspekter för att optimera effekten.

Nyckelord: *vegetation, luftföroreningar, kvävedioxid, ozon, partiklar, disposition, dispersion, Göteborg.*

Abstract

Different types of vegetation provide important ecosystem services. One of them is reducing air pollution by deposition and dispersion. This study analyses how this can be utilized in an urban environment. The aim of this study is to investigate how vegetation affects concentrations in air pollution and how summer and spring (vegetation with or without greenness) matter referring to this effect.

The analysis is done partly by a literature review and partly by an empirical study. The literature review is based on scientific articles from different databases and the empirical study is based on measurements from the project *Valuation of ecosystem services provided by urban greenery*. The concentration of air pollution has been measured on different sites in the central parts of Gothenburg as a part of this project. This study is focused on the air pollutions nitrogen dioxide (NO₂), ozone (O₃) and particles (PM).

The result of the literature review and the empirical study indicate that vegetation has an impact on the concentrations of air pollutions, but there are also other factors that influence this effect. Some of the studies suggest that vegetation can be used as a tool to improve air quality in cities, but others disagree. The empirical study shows a statistically significant difference between the concentrations of NO₂ inside respectively outside an area of vegetation, as the concentration was lower inside the vegetation. This effect was significantly larger during the summer than before the foliation, which indicates that deposition is one of the most important factors that influence the effect of vegetation on air pollution.

The empirical study also shows a clear negatively correlation between NO₂-concentration and distance from traffic route at gauging station among Slottskogen. People will that way be exposed to less pollution if they walk at a farther distance from the traffic (for example through parks). It is therefore important to apply different management tools to get people to choose the paths that will expose them for the least amount of pollution, even if this particular path results in a longer traveling time.

The conclusion of this study is that vegetation has an influence on air pollution in cities. This effect is larger during the summer than before the foliation, which indicates that deposition is an important factor referring to this effect. This gives consequences for the urban planning in planned use of vegetation in aim to reduce air pollution. It is important to adapt the vegetation to the purpose and the particular location and also consider biological, chemical and meteorological aspects to optimize the effect of vegetation on air pollution.

Keywords: *vegetation, air pollution, nitrogen dioxide, ozone, particles, disposition, dispersion, Gothenburg.*

Innehållsförteckning

1. Introduktion.....	1
1.1 Luftföroreningar	1
1.1.1 Kvävedioxid	2
1.1.2 Ozon	3
1.1.3 Partiklar	4
1.2 Gällande lagstiftning	4
1.2.1 EU och internationellt	4
1.2.2 Nationellt	5
1.3 Vegetationens förmåga att rena luft	5
1.4 Luftkvaliteten i Göteborg	6
1.4.1 Värdering av ekosystemtjänster av urban grönska	6
1.5 Tidigare studier.....	7
1.6 Syfte och frågeställning.....	8
2. Metod	8
2.1 Litteraturstudie	8
2.2 Empirisk studie.....	9
2.2.1 Statistisk metod	9
3. Resultat.....	13
3.1 Litteraturstudie	13
3.1.1. Empiriska studier.....	13
3.1.2 Modellstudier.....	16
3.2 Empirisk studie.....	19
3.2.1 Kvävedioxid	21
3.2.2 Ozon	26
3.2.3 Partiklar	30
4. Diskussion	32
4.1 Kvävedioxid	32
4.2 Ozon	33
4.3 Partiklar	33
4.4 Grönskans inverkan på koncentrationen av luftföroreningar	34
4.5 Sambandet mellan luftföroreningshalter och avstånd från trafikled.....	34

4.6 Påverkan av vegetation på koncentrationen av luftföroreningar	35
4.7 Andra faktorer än vegetation som påverkar koncentrationen av luftföroreningar	36
4.8 Luftföroreningars påverkan på vegetation.....	37
4.9 Andra eventuella lösningar eller kompletteringar	38
4.10 Metoddiskussion.....	38
5. Slutsatser	39
6. Tackord.....	39
7. Referenser.....	40
7.1 Internet	40
7.2 Publikationer	41
8. Bilaga 1. Sammanfattning av litteraturstudie	48
8.1 Empiriska studier.....	48
8.2 Modellstudier.....	53

1. Introduktion

Luftföroreningar är tydliga exempel på det moderna samhällets miljö- och hälsoproblem. De miljöproblem som luftföroreningar ger upphov till är bland annat försurning och övergödning. De är även kopplade till den globala klimatförändringen, dels genom att vissa föroreningar är växthusgaser i sig (exempelvis marknära ozon), och dels för att de har samma källor som andra växthusgaser (exempelvis koldioxid). Luftföroreningar har även en negativ inverkan på människors hälsa (Göteborgs stad, 2015). Cirka 3,7 miljoner människor runt om i världen beräknades dö till följd av exponering av luftföroreningar år 2012, varav ungefär 480 000 i Europa (WHO, 2014). Luftföroreningar i svenska tätorter bedöms orsaka förkortad livslängd för tusentals människor i landet, framför allt på grund av marknära ozon och partiklar (Sjöberg et al., 2005). Studier visar att luftföroreningar kan ge upphov till hjärt- och kärlsjukdomar, lungcancer och andningssvårigheter och att en minskning av luftföroreningar kan förebygga dessa besvär (Kampa & Castanas, 2008; Nowak et al., 2014). Med anledning av detta är det viktigt att aktivt arbeta med att reducera koncentrationen av luftföroreningar.

Ett sätt att reducera koncentrationen av luftföroreningar i urban miljö skulle kunna vara att utnyttja olika typer av vegetation som ekosystemtjänst. Vegetation kan nämligen fungera som luftrenare (Grundström & Pleijel, 2014; Janhäll, 2015) genom deposition (upptag av luftföroreningar) och dispersion (omblandning av luften). I vissa situationer kan dock vegetation bidra till minskad dispersion (exempelvis i trånga trafikerade gaturum) och detta kan då resultera i en ökad exponering för lokalt emitterade luftföroreningar (Vos et al., 2012; Janhäll, 2015). Ytterligare en aspekt på urban vegetation är att attraktiva grönområden kan göra att människor som går eller cyklar väljer de färdvägar genom en stad som är belägna längre bort från trafiklederna och de blir därmed mindre exponerade för luftföroreningar som har sitt ursprung från trafiken.

1.1 Luftföroreningar

Luftföroreningar är gaser och partiklar i luften som har en negativ påverkan på människa och miljö. De viktigaste luftföroreningarna är kväveoxider, marknära ozon, polyaromatiska kolväten (PAH), kolmonoxid, flyktiga organiska ämnen, tungmetaller samt partiklar (Naturvårdsverket, 2015a).

Det finns många olika källor till luftföroreningar såsom förbränning av fossila bränslen, industriella processer, användning av lösningsmedel, jordbruk- och avfallshantering samt naturliga källor såsom vulkanutbrott (Europeiska miljöbyrån, 2014). De föroreningar där svenska städer har störst problem att nå uppsatta mål (exempelvis miljö kvalitetsnormer) är kvävedioxid (NO_2), partiklar (PM) och marknära ozon (O_3) (SMHI, 2014a).

Halterna av en förening i luften beror på emissioner, transporter och utspädning genom dispersion samt kemiska processer. Luftföroreningar ger upphov till såväl lokala som regionala och globala miljöproblem såsom exempelvis marknära ozon, stratosfäriskt ozon samt den globala klimatförändringen. De luftföroreningar som denna uppsats framför allt kommer att fokusera på är NO_2 , O_3 samt PM, där NO_2 och PM främst är lokala medan O_3 är regional (Pleijel, 2007).

1.1.1 Kvävedioxid

NO_2 är en giftig gas som bildas vid förbränning eller oxidation av kväveoxid (NO). I förbränningsprocesser reagerar luftens kväve (N_2) och syre (O_2) med varandra på grund av de höga temperaturerna i exempelvis en motor eller förbränningsanläggning. Detta leder till att NO och NO_2 bildas. Trafik är generellt den främsta källan till NO_2 i urban miljö. Reaktionen som bland annat involverar ozon och solstrålning (Pleijel et al., 2009) påverkar koncentrationen av NO_2 och den totala koncentrationen beror alltså även på andra faktorer än de direkta utsläppen av NO och NO_2 (SMHI, 2014b).

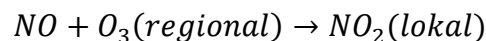
NO_2 kan orsaka miljöproblem såsom övergödning av hav, sjöar, vattendrag och mark. Det bidrar även till försurning av mark och vatten, samt ökad nedbrytning av kulturföremål (Sjöberg et al., 2005).

NO_2 är en giftig gas som främst astmatiker kan uppleva ge förvärrande besvär av vid höga koncentrationer. Epidemiologiska studier visar att en långvarig exponering av NO_2 kan orsaka nedsatt lungfunktion och öka risken för andningssvårigheter (WHO, 2003). En studie av Peters et al. (1999) visade att lungkapaciteten var lägre hos barn mellan 9-16 år i de samhällena i södra Kalifornien, USA, med en högre koncentration av NO_2 . På samma sätt visade en studie av McConnell et al. (1999) att kroniska andningssymtom såsom hosta och slemförekomst var mer förekommande hos barn med astmabesvär i samhällena med högre NO_2 -halter.

1.1.2 Ozon

Luftföroreningen O_3 är en regional förorening som spelar olika roller beroende på vilken höjd det befinner sig på. Ozonlagret, som befinner sig ungefär 15-30 kilometer ovanför jordytan, har en positiv effekt på livet på jorden då det skyddar oss mot ultraviolett strålning. Fenomenet marknära O_3 är däremot en luftförorening som är hälsoskadlig, förstör grödor och är en värmande växthusgas (Pleijel, 2007). Marknära O_3 är en sekundär förening, det vill säga den emitteras inte direkt utan bildas i reaktion med andra föreningar. För att minska koncentrationerna av O_3 måste därför utsläppen av de ozonbildande föroreningarna, främst kväveoxider, flyktiga organiska ämnen (inklusive metan) och kemonoxid, minska. (SMHI, 2014c).

Koncentrationen av ozon i svenska stadskärnor är ofta lägre jämfört med den närliggande landsbygden (WHO, 2003). Detta beror på att utsläppen av NO_2 är högre i städerna och nedbrytningen av ozon är därför mer effektiv då O_3 förbrukas när NO_2 bildas enligt formeln:



Ozon har en livslängd på några veckor och upp till en månad. Detta är länge nog för att transport ska kunna ske på en kontinental skala (WHO, 2003). Ozonbildning i Europa påverkar därför koncentrationerna av ozon i framför allt södra Sverige (SMHI, 2014c).

O_3 har visats bidra till skördeförkluster genom skador på grödor. På samma sätt förväntas O_3 bidra till skador på träd och vilda växter. O_3 har även en nedbrytande effekt på papper, plast, gummi och textilier (Sjöberg et al., 2005).

Studier visar att både kort- och långvarig exponering av O_3 ger negativa hälsoeffekter, såsom en ökad förekomst av astmabesvär och nedsatt lungfunktion (WHO, 2003). Peters et al. (1999) att lungkapaciteten var lägre i de samhällena i Södra Kalifornien, USA, med en högre halt av O_3 . Lungcancer har även påvisats ha ett starkt samband med en långvarig exponering av O_3 (Beeson et al., 1998; Abbey et al., 1999). En studie av Friedman et al. (2001) visade att en minskning av O_3 -exponering i Atlanta, USA, under OS 1996 reducerade förekomsten av astmabesvär.

1.1.3 Partiklar

PM är en sammansättning av olika ämnen i luften och har både naturliga och antropogena källor. Naturliga PM kommer från exempelvis erosion, vulkaner, kemiska och fysiska processer i havet och kemiska reaktioner i växter. Antropogena PM bildas genom exempelvis kondensation av gaser från förbränningsprocesser och slitage av asfalt (SMHI, 2014d). PM delas ofta in i två olika storleksfraktioner, grova respektive fina partiklar. Grova partiklar (PM₁₀) är partiklar som har en diameter mindre än 10 µm i diameter och fina partiklar (PM_{2,5}) är partiklar som har en diameter mindre än 2,5 µm (WHO, 2003).

PM kan innehålla metallföreningar som kan påskynda korrosion av metaller och skada kulturföremål (Sjöberg et al., 2005). PM påverkar även människors hälsa negativt med bland annat ökad förekomst av hjärt- och kärlsjukdomar och andningsrelaterade sjukdomar. I Sverige beräknas 3500 människor per år dö i förtid till följd av en långvarig exponering av antropogena PM enligt Forsberg et al. (2005). Flera studier har även påvisat positiva hälsoeffekter genom en minskning av PM-koncentrationen (WHO, 2003). En studie gjord i Utah Valley, USA, visade att då PM-koncentrationen minskades kraftigt till följd av en 14-månaders lång strejk på ett lokalt stålföretag på 80-talet reducerades även antalet dödsfall och andningsrelaterade sjukdomar (Pope et al., 1992; Pope, 1996). Generellt anses små partiklar vara farligare än större partiklar. Detta är dock fortfarande under diskussion och ett ämne som det forskas aktivt på (SMHI, 2014d).

1.2 Gällande lagstiftning

Lagstiftningen vad gäller luftvård styrs på såväl nationell som internationell nivå. Nedan följer en kort redogörelse angående denna lagstiftning.

1.2.1 EU och internationellt

Inom luftkvalitetsområdet är det idag främst två direktiv som styr arbetet för en renare luft. Dessa är *Europaparlamentets och Rådets direktiv om luftkvalitet och renare luft i Europa* (dir 2008/50/EG) samt *Europaparlamentets och Rådets direktiv om arsenik, kadmium, kvicksilver, nickel och polycykliska aromatiska kolväten i luften* (dir 2004/107/EG). Dessa direktiv har implementerats i den svenska lagstiftningen genom Miljöbalken (1998:808), *Luftkvalitetsförordningen* (2010:477) och Naturvårdsverkets föreskrifter om kontroll av luftkvalitet (2010:8) (SMHI, 2014e).

FN:s luftvårdskonvention (CRLTAP - Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution) trädde i kraft 1983. Europa, USA, Kanada samt länderna i Kaukasus och Centralasien har åtagit sig att begränsa utsläppen av långväga transporterade luftföroreningar som svavel, kväveoxider, tungmetaller och flyktiga organiska föreningar (Naturvårdsverket, 2015b).

1.2.2 Nationellt

Luftkvalitetsarbetet i Sverige styrs övergripande av miljömålet *Frisk luft* som lyder: *Luften ska vara så ren att människors hälsa samt djur, växter och kulturvärden inte skadas.* Inriktningen är att miljökvalitetsmålet ska nås inom en generation. Miljömålet innehåller vidare riktvärden för olika föroreningar, etappmål och strategier för att uppfylla målet (SMHI, 2014e).

Kommunerna är enligt *Luftkvalitetsförordningen* ansvariga för att kontrollera att miljökvalitetsnormerna för de luftföroreningar som omfattas av lagstiftningen inte överskrids inom kommunen. Detta ska göras genom mätningar, beräkningar eller objektiv skattning beroende av vilka nivåer av föroreningar som man har att hantera (SMHI, 2014e).

1.3 Vegetationens förmåga att rena luft

Vegetation kan fungera som en ekosystemtjänst i flera olika syften såsom luft- och vattenrening, bevaring och ökning av biologisk mångfald, dämpning av buller samt rekreation och välbefinnande. Denna uppsats fokuserar på vegetationens betydelse vad gäller rening av luft i strävan efter att upprätta en bättre luftkvalitet i städer. Viktiga mekanismer för detta behandlas i Janhäll (2015) och sammanfattas här kortfattat. Vegetation i olika former kan ta upp damm och andra partiklar (via deposition) genom dess blad, stam och grenar. Bladen kan även fånga upp gaser (såsom NO₂ och O₃) genom klyvöppningarna när de är öppna. Ju större en växt är desto mer blad-, gren- och stamyta finns det för partiklarna att fastna på. Partiklarna kan sedan spolas bort vid regn.

Vegetationens (träd med mera) upprätta växtsätt ger den förorenade stadsluften motstånd, vilket skapar turbulens som gör att föroreningarna späds ut. Genom denna process skapas en omblandning av renare luft med förorenad stadsluft. Denna omblandning kallas dispersion. Trädens placering och form kan dock lokalt orsaka en försämring av luftkvaliteten om de står felplacerade, vilket då hindrar luftomblandning (Sjöman et al., 2015).

Många gånger är barrträd mer effektiva som luftrenare än lövträd då de är städsegröna och därmed har möjlighet att genom barren filtrera luft under en längre tid än lövfallande träd. Detta är viktigt i synnerhet som luftföroreningshalterna är högst på vintern. Enligt Sjöman et al. (2015) har barrträden en större sammanlagd bladyta än lövträd och därmed en större filtreringskapacitet. De kan dock vara mer känsliga för luftföroreningar än lövträd.

1.4 Luftkvaliteten i Göteborg

Det är många olika faktorer som påverkar luftkvaliteten i Göteborg. Den luft som drar in över staden för med sig föroreningar från kontinenten. Vid Göta älvs mynning ligger Göteborgs hamn som tillsammans med industriverksamheterna i stadens ytterkanter bidrar med utsläpp till luften. Göteborg har därför en hög bakgrundshalt av framför allt kväveoxider (Göteborgs stad, 2015b).

Stadens topografi, med höjder och dalar, gör även att det ofta blir inversion i dalgångarna vintertid. Då lägger sig luften som ett lock över staden och den bristande luftblandningen leder till att luftföroreningarna byggs upp i marknivå. Göteborg är dessutom en mycket trafikintensiv stad med många hårt trafikerade leder, som till exempel Kungsbackaleden och Dag Hammarsköldsleden. Det är längs lederna som luftkvaliteten är som sämst (Göteborgs stad, 2015b).

Jämfört med för 30-40 år sedan har luftkvaliteten generellt förbättrats i Göteborg. Det beror på att stora punktutsläpp har åtgärdats eller flyttats och på att trafiken delvis har omdirigerats till kringleder. Trots detta har Göteborg under flera år överskridit de svenska miljökvalitetsnormerna, framför allt när det gäller NO₂-halterna vid Gårda och Haga (Sjöberg et al., 2005).

Arbetet med att förbättra luftkvaliteten i Göteborg pågår ständigt. Trängselskatten, som infördes 2013 i Göteborg, har bidragit till minskad trafik och i innerstaden, men även på flera infartsleder. Detta har resulterat i lägre utsläpp av föroreningar till stadsluften (Göteborgs stad, 2015b).

1.4.1 Värdering av ekosystemtjänster av urban grönska

Som en del i arbetet med att värdera och bevara urban grönska i Göteborg har Göteborgs universitet i samarbete med Chalmers tekniska högskola, Svenska lantbruksuniversitetet, Göteborgs stad, Trafikverket och Högskolan i Gävle låtit starta upp projektet *Värdering av ekosystemtjänster av urban grönska* (Mistra Urban Futures, 2015) som finansieras av Formas.

Projektet utgår från sju områden i Göteborg där det gjorts mätningar av olika luftföroreningskoncentrationer (bland annat NO₂, O₃ och PM). De olika områdena har bland annat valts utifrån om det finns mycket respektive lite vegetation i syfte att undersöka om det finns någon skillnad i koncentrationen av luftföroreningar. Skulle det exempelvis visa sig att koncentrationen av luftföroreningar är lägre på de platserna med mycket vegetation skulle det kunna vara rimligt att anta att vegetationen har en viss påverkan vad gäller upptag av luftföroreningar. Under 2015 har mätningar gjorts både på våren och på sommaren för att kunna undersöka om det finns någon skillnad i vegetationens upptag av luftföroreningar då vegetationen grönskar respektive inte grönskar. Den empiriska delen i denna uppsats bygger på dessa mätningar. Projektet förväntas pågå mellan 2013-2016 (Mistra Urban Futures, 2015).

1.5 Tidigare studier

Det har gjorts en hel del studier på hur vegetation påverkar luftföroreningar i urban miljö. En studie av Dadvand et al. (2015) i Barcelona, Spanien, visar ett negativt samband mellan vegetation omkring skolområden och koncentrationen av luftföroreningar. Resultatet av en annan studie (Abhijith & Gokhale, 2015) visade att medelstora träd med hög porositet reducerade exponeringen av luftföroreningar för närgående fotgängare avsevärt.

Flera studier föreslår att användningen av vegetation som ekosystemtjänst kan vara ett bra sätt att minska luftföroreningar i urban miljö och på så sätt förbättra hälsorelaterade problem baserat på upptäckterna i deras studier (Nowak et al., 2006; Manes et al., 2012). Pataki et al. (2011) ställer sig dock kritisk till detta och menar att det inte finns tillräckligt med empiriskt stöd för detta. Enligt artikeln är svårt att bevisa att det är just vegetationen som är orsaken till minskningen av olika luftföroreningar och att det finns flera andra aspekter att ta hänsyn till såsom exempelvis meteorologiska faktorer. Författarna till denna artikel anser att flera av de modellstudier som gjorts tenderar att överskatta effekten som vegetation har på luftföroreningar. Artikeln belyser även hur betydelsefullt det är att ta de biologiska, geologiska och kemiska processerna i urban grön infrastruktur i beaktande.

I artikeln av Janhäll skriven 2015, drogs slutsatsen att höga koncentrationer av luftföroreningar ökar deposition och att detta har störst betydelse då vegetationen är nära utsläppskällan. Kombinerad deposition och dispersion hjälper vid design av urban vegetation relaterat till luftkvalitet. Det fanns även att olika typer av vegetation fångar olika partikelstorlekar.

Hur vegetation påverkar luftföroreningar i urban miljö är alltså en pågående diskussion och det råder delade meningar om huruvida vegetation skulle fungera bra som en luftföroreningsreducerande ekosystemtjänst. Denna diskussion har legat till grund för mitt syfte och mina frågeställningar för denna uppsats.

1.6 Syfte och frågeställning

Syftet med denna uppsats är att undersöka hur vegetation påverkar luftföroreningshalter i städer, dels genom en litteraturstudie och dels genom att analysera data från luftföroreningsmätningar i Göteborg. Dessa mätningar kommer även att användas för att undersöka vilken roll sommaren och våren (vegetation med respektive utan gröna blad) spelar vad gäller effekten av vegetation på luftföroreningshalter.

Mina frågeställningar lyder:

1. Vilken påverkan har vegetation på luftföroreningshalter i städer?
2. Hur påverkas effekten av vegetation på luftföroreningshalter av om det är sommar eller vår (vegetation med respektive utan gröna blad)?
3. Finns det ett samband mellan luftföroreningshalter och avstånd från trafikled?
4. Hur kan vegetation nyttjas för att minska luftföroreningshalter i urban miljö?

Frågeställningarna kommer att bearbetas dels med hjälp av litteraturdata och dels med mätningar utförda i Göteborg.

2. Metod

Denna uppsats innehåller dels en litteraturstudie och dels en empirisk studie. Nedan följer en redogörelse för de metoder som används för att svara på frågeställningarna.

2.1 Litteraturstudie

Litteraturstudien fokuserar på vilka undersökningar som gjorts gällande vegetationens påverkan på luftföroreningar internationellt. Undersökningen genomfördes utifrån olika databaser via Göteborgs universitetsbibliotek. Den databas som framför allt har använts är *Web of Science*. Sökord som använts är bland annat *deposition*, *vegetation*, *ecosystem service* och *air quality*. Utifrån de vetenskapliga artiklar som dykt upp gjordes en filtrering efter bedömd relevans utifrån artiklarnas rubriker och sammanfattningar.

2.2 Empirisk studie

Den empiriska delen bygger på mätdata från Göteborgs universitet (se 1.4.1 *Värdering av ekosystemtjänster av urban grönska*) och baseras på luftföroreningsmätningar tagna på olika mätstationer runt om i Göteborg gjorda under våren och sommaren (vegetation med respektive utan grönska) 2015. Koncentrationer av NO₂, O₃ och PM har uppmätts med passiva provtagare. Passiva provtagare kan placeras ut i princip var som helst eftersom de inte kräver någon ström och därför passar just denna metod bra för undersökningens syfte. NO₂-proverna har analyserats på FIA (The Forest Inventory and Analysis) enligt en modifierad SS-EN ISO 13395. O₃-proverna analyseras jonkromatografiskt efter en modifierad SS-EN ISO 10304-1, utgåva 2 (Ferm, 2001; Sjöberg et al., 2001). Kortfattat fungerar det så att gasmolekylerna diffunderar in i mätinstrumentet där de absorberas och koncentrationsvärdet kan beräknas som ett medelvärde över den tid de exponeras efter att föroreningen på laboratoriet extraherats från provtagaren (IVL, 2015).

Vad gäller partiklar användes inte standardmetoden för provtagning (som kräver tillgång till ström) utan IVLs (Svenska Miljöinstitutet) metod med passiva provtagare (<http://www.diffusivesampling.ivl.se/>). Denna metod är baserad på en molekylär diffusion av gaser och ger ett värde på PM-deposition i en viss miljö. Detta har visats ha ett starkt samband med halten av PM₁₀ (massan av partiklar med en diameter mindre än 10 mikrometer). Analys vad gäller koncentrationen av PM har inte kunnat göras i lika stor utsträckning som analysen vad gäller koncentrationen av NO₂ och O₃ i detta arbete. Detta på grund av brist på data då dessa mätningar är mer kostsamma.

De mest relevanta resultaten (utifrån studiens syfte och frågeställningar) från dessa mätningar kommer i denna uppsats att tolkas och utvärderas.

2.2.1 Statistisk metod

För att testa de två första frågeställningarna i denna uppsats har två så kallade hypotestest (tecken-test och t-test) använts (exklusive PM). Tanken med ett hypotestest är att en nollhypotes testas och ställs mot en alternativhypotes. Om nollhypotesen kan förkastas dras slutsatsen att alternativhypotesen är sann och om nollhypotesen inte kan förkastas kan man inte utesluta att den är sann (Newbold et al., 2010).

2.2.1.1 P-värde och signifikansnivå

Vid statistiska test framkommer ofta ett så kallat p-värde. Detta värde kan sedan användas för att urskilja huruvida testet är signifikant eller inte och huruvida sannolikt det är att resultatet inte beror av slumpen. Ju lägre P-värdet är desto mer signifikant blir resultatet. En förenklad definition av p-värde inom statistisk hypotesprövning är sannolikheten att få minst så stor skillnad som konstaterats mellan det observerade värde som ett slumpmässigt urval ger och det värde som förväntas enligt en nollhypotes, givet att nollhypotesen är sann (Newbold et al., 2010).

Då stickprovsmedelvärden inte behöver överensstämja med populationsmedelvärden måste det tas i beaktande att fel hypotes kan antas. Ett sådant fel är om nollhypotesen skulle förkastas trots att den är sann. Förkastningsregeln borde vara utformad så att risken att begå detta fel, kallad testets signifikansnivå (α), är liten. De vanligaste signifikansnivåerna vid hypotestest är 1, 5 och 10 procent. Vid de statistiska testen i detta arbete har $\alpha = 0,5$ används. Vid test av andelar eller proportioner kan, vid stora stickprov, sannolikhetsberäkning kopplade till normalfördelning tillämpas (Newbold et al., 2010).

Sambandet mellan p-värdet och signifikansnivå kan urskiljas i tabell 1 nedan (ju fler stjärnor desto starkare signifikans):

Tabell 1. Beskrivning av P-värdet i samband med signifikansnivå.

P-värde	Signifikansnivå
$P > 0,05$	<i>Icke – signifikant</i>
$0,01 < P \leq 0,05$	<i>Signifikans *</i>
$0,001 < P \leq 0,01$	<i>Signifikans **</i>
$P \leq 0,001$	<i>Signifikans ***</i>

2.2.1.2 Tecken-test

För att besvara frågeställning 1 (*Vilken påverkan har vegetation på luftföroreningshalter i städer?*) har ett så kallat tecken-test används. Tecken-test är ett test som testar sannolikheten att skillnaden mellan två variabler beror av slumpen eller inte. Tecken-test används ofta då normalfördelning inte kan antas och vid parvisa observationer. Det finns olika typer av tecken-test och det som använts i det här arbetet är ett så kallat binominal-test.

Testet går ut på att beräkna sannolikheten att få ett visst antal specifika utfall av ett visst antal oberoende utfall (Newbold et al., 2010).

Binominal-testet utfördes utifrån följande ekvation:

$$P(X) = \frac{n!}{x!(n-x)!} = P^x(1-P)^{(n-x)} \text{ för } x = 0, 1, 2, \dots, n$$

där

$P =$ sannolikheten att få x specifika utfall av n oberoende utfall

Testet genomfördes med hjälp av programvaran Microsoft Excel med följande noll- och alternativhypotes:

H_0 : Vegetation har ingen påverkan på koncentrationen av luftföroreningshalter.

H_1 : Vegetation har en påverkan på koncentrationen av luftföroreningshalter.

Genom testet erhöles ett p-värde som avgjorde om nollhypotesen kunde förkastas eller inte.

2.2.1.3 t-test

För att besvara frågeställning 2 (*Hur påverkas effekten av vegetation på luftföroreningshalter av att det är sommar eller vår?*) har ett så kallat t-test används. Detta är ett statistiskt test som till skillnad från tecken-test antar att differensen är normalfördelad. Även detta test undersöker sannolikheten att skillnaden mellan två variabler beror av slumpen eller inte (Newbold et al., 2010).

t-testet utfördes utifrån följande ekvation:

$$t = \frac{(x - \mu)/\sigma}{\sqrt{s^2(n-1)/\sigma^2(n-1)}} = \frac{(x - \mu)}{s}$$

där

$\mu =$ populationsmedelvärdet

$\sigma =$ standardavvikelse för populationen

$\sigma^2 =$ varians för populationen

$s =$ standardavvikelse för stickprovet

$s^2 = \text{standardavvikelse för stickprovet}$

$s^2 = \text{populationsvariansen}$

$n = \text{antal observationer}$

Testet genomfördes med hjälp av programvaran Microsoft Excel med följande noll- och alternativhypotes:

H_0 : *Det råder ingen skillnad mellan koncentrationsnivån av luftföroreningar under våren och sommaren 2015.*

H_1 : *Det råder skillnad mellan koncentrationsnivån av luftföroreningar under våren och sommaren 2015.*

Genom testet erhöles ett p-värde som avgjorde om nollhypotesen kunde förkastas eller inte.

2.2.1.4. Regressionsanalys

För att undersöka huruvida avståndet från trafikled till mätstation påverkar halten av NO₂ och O₃ har en regressionsanalys gjorts. I och med denna analys söks ett linjärt samband mellan två variabler (en beroende och en oberoende) och detta samband kan sedan analyseras vidare med hjälp av räta linjens ekvation:

$$y = kx + m$$

där

$y = \text{oberoende variabel}$

$x = \text{beroende variabel}$

$k = \text{linjens lutning}$

$m = \text{där linjen skär } y - \text{axeln}$

Genom användning av tjänsten Google Earth har ett ungefärligt avstånd mellan mätningplats och trafikled uppskattats. I detta fall representeras *halten luftförorening* av den beroende variabeln (y) och *avstånd mellan trafikled och mätstation* representeras av den oberoende variabeln (x). För att optimera resultatet av regressionsanalysen formaterades skalan till logaritmisk (Pleijel et al., 2004).

Utifrån regressionsanalysen uppkom en så kallad determinationskoefficient (R^2) vilken beskriver hur variationen i y (*halten luftförorening*) kan förklaras av ändringar i x (*avstånd mellan trafikled och mätstation*) (Newbold et al., 2010).

3. Resultat

Nedan följer de viktigaste resultaten av litteraturstudien och den empiriska studien i denna uppsats.

3.1 Litteraturstudie

För att sammanställa resultaten av olika studier som gjorts på ämnet runt om i världen följer här en litteraturstudie. Studien är uppdelad i empiriska studier och modellstudier. De olika artiklarna har tilldelats ett nummer för att underlätta ordningen. I bilaga 1 hittas tabeller med en mer strukturerad sammanfattning och en utförligare beskrivning av metod för var och en av artiklarna.

3.1.1. Empiriska studier

I tabell 2 nedan följer de mest relevanta och viktigaste resultaten av de empiriska studierna som studerats. I slutet följer en sammanställning av studierna.

Tabell 2. Resultatet av de empiriska studier på hur vegetation påverkar koncentrationen av luftföroreningar som studerats.

Artikel	Resultat
1	De viktigaste resultaten av experimenten i artikeln skriven av P.J. Irga et al. (2015) visade att det fanns skillnader i uppmätt halt av partiklar vid de olika mätstationerna i Sydney, Australien. Vid de mätstationer där det fanns mycket vegetation var halten partiklar lägre än vid de mätstationerna med mindre vegetation. Resultatet visade även att det fanns associationer mellan halten partiklar och meteorologiska faktorer. Inga trender i NO ₂ -halter observerades.
2	I artikeln skriven av Harris & Manning (2010) visar resultatet att medelvärdet av NO ₂ -halterna var högre inuti vegetationen än utanför. Detta gällde för alla mätperioder under de två år som experimenten utfördes. O ₃ -halterna var däremot lägre inuti vegetationen än utanför under samma perioder. Experimentet utfördes i Massachusetts, USA.

3	<p>Under 2014 utfördes en liknande studie som denna i Göteborg (Grundström & Pleijel, 2014). Studiens syfte var att underöka om vegetation har en effekt på luftföroreningar i städer. Genom passiva mätmetoder uppmättes halten NO₂ och O₃ vid en vältrafikerad väg i centrala Göteborg. Provtagare sattes upp inuti respektive utanför ett buskage nära vägen. Resultatet visade att koncentrationen av NO₂ var i genomsnitt cirka 7 procent lägre inuti buskaget än utanför under alla mätperioder (signifikant). Genomsnittshalten av O₃ var cirka 2 procent lägre inuti buskaget än utanför (icke-signifikant).</p>
4	<p>En annan empirisk studie, gjord av Setälä et al. (2012), visar att vegetation har en reducerande effekt på luftföroreningar men att denna effekt är mindre i nordiska klimatförhållanden med kortare perioder med grönska. Studien är gjord i två städer i Finland, Helsingfors och Lahtis. Passiva provtagare användes för att mäta NO₂, PM och antropogent VOC (lättflyktiga organiska föreningar) under två perioder med vegetation med respektive utan gröna blad (augusti och mars). Som komplement till denna empiriska studie användes även modeller (bland annat UFORE – Urban Forests Effects). Resultatet av modellstudien matchade inte den empiriska studien.</p>
5	<p>I artikeln av Yin et al. (2011) framgår det att vegetation i parker kan reducera en stor mängd luftföroreningar. I studien användes säsongrelaterad data från mätningar av luftföroreningshalter i 6 olika parker i Shanghai, Kina. Resultatet visade att vegetationen reducerade 9,1 procent av PM och 2,6 procent av NO₂ under sommaren.</p>
6	<p>En studie av Cohen et al. (2014) undersöker vilken inverkan av urbana parker har på luftföroreningar genom att jämföra luftkvaliteteten på tre olika platser (en stadsnära park, ett torg och en gata) i staden Tel-Aviv, Israel. Resultaten visade att urbana parker kan reducera luftföroreningar såsom NO₂ och PM och att effekten är större vid högre halter. Närvaron av vegetation visade sig dock ha ett positivt samband med koncentrationen av O₃, alltså att vid närvaro av vegetation blir O₃-halterna högre.</p>
7	<p>En annan empirisk studie gjord i Barcelona, Spanien, av Dadvand et al. (2015) undersökte hur vegetation påverkar luftföroreningar genom att jämföra luftföroreningshalten på skolor omgivna av mycket respektive lite vegetation.</p>

	Resultatet visade ett samband mellan skolor omgivna av mycket vegetation och reducerade luftföroreningar, såsom NO ₂ och PM (både ultrafina partiklar samt PM _{2,5}). Det visade sig även att skolor omgivna av ett högre antal träd hade lägre koncentration av NO ₂ och PM.
8	I studien av Salmond et al. (2013) undersöks hur lokal vegetation i form av träd påverkar koncentrationen av NO _x (kvävedioxider) genom en fältstudie gjord i Auckland, Nya Zeeland. Studien fokuserar på luftföroreningsmätningar av NO _x gjorda på olika avstånd från marken på Symonds Strees i Aucklands centrala affärsdistrikt. Tre monitorer användes för att mäta NO _x -halten. Resultatet visade att vegetationen har en reducerande effekt på NO _x och denna effekt visade sig vara statistisk signifikant större under perioden då träden har löv. Resultatet visade även att effekten är större vid de tidpunkter och de platser där luftföroreningshalterna är höga. Resultatet indikerar att en ökad andel vegetation kan förbättra regional luftkvalitet.
9	I artikeln av Streiling & Matzarakis (2003) gjordes en fältstudie i staden Freiburg im Breisgau, Tyskland, i syfte att undersöka vegetationens effekt på luftföroreningar. Mätningar gjordes på en total area på cirka 1700 m ² med 12 kastanjeträd med olika åldrar och storlekar. Mätningarna gjordes både innanför trädkronorna och utanför för att jämföra luftföroreningshalten. Resultatet stämde överens med deras hypotes, att vegetation har en reducerande effekt på luftföroreningar då en större reduktion av NO _x och O ₃ skedde innanför trädkronorna än utanför.
10	Studien av Chen et al. (2016) undersöker vilken inverkan vegetation har på PM i urban miljö och hur valet av vegetationstyp påverkar. Experimentet utfördes under 2013 och 2014 i Peking, Kina, där ett antal platser med olika attribut (exempelvis platser med respektive utan vegetation) valdes ut för att kunna jämföra PM-halten. Experimentet gjordes med olika typer av vegetation för att kunna jämföra hur olika arter påverkar PM-halten. Resultatet visade att alla typer av vegetation hade en reducerande inverkan på PM. Buskar var den typ av vegetation som fungerade mest effektivt för rening av PM. Resultatet visade även att den lokala vinden förklarade en större del av variationer i PM-halter än vegetation. Chen et al. (2016) betonade även vikten av designen och val av vegetationsart i syfte att reducera PM i urban miljö. Höga träd rekommenderas exempelvis inte vid trånga gaturum eftersom vinden då inte är lika lättåtkomlig.

Tabell 2 ovan sammanfattar 10 olika empiriska studier som studerats. Studierna har olika utfall, men bedömningen är att vegetation har en reducerande effekt på luftföroreningar, framför allt gällande NO₂ och PM. Endast i artikeln skriven av Harris och Manning (2010) blir utfallet att NO₂-halterna är högre innanför buskaget än utanför. Ett annat undantag gäller O₃ då artikeln skriven av Cohen et al. (2014) visar ett positivt samband med närvaro av vegetation. Några studier visar att effekten av vegetation som luftrenare är större då vegetationen grönskar (Salmond et al., 2013; Setälä et al., 2012). De visade även att effekten blir större vid de platserna och tidpunkterna med högre luftföroreningshalter.

3.1.2 Modellstudier

I tabell 3 nedan följer de mest relevanta och viktigaste resultaten av de modellstudier som studerats. I slutet följer en sammanställning av studierna.

Tabell 3. Resultatet av de modellstudier på hur vegetation påverkar koncentrationen av luftföroreningar som studerats.

Artikel	Resultat
11	Manes et al. (2014) redovisar i sin artikel hur man med hjälp av modellering har mätt andelen PM som tagits upp av vegetation. Detta har gjorts genom att uppskatta den högsta respektive lägsta halten av PM på olika platser i Rom, Italien. Resultaten visar att den högsta depositionsgrad av PM fanns vid de platserna som var täckt av mest vegetation. Det upptäcktes även att växternas upptag av PM var mer intensiv under sommaren då vegetationen grönskade.
12	I artikeln skriven av Baumgardner et al. (2012) undersöktes vilken roll stadsbelägen skog i Mexico har för förbättrad luftkvalitet. Genom att använda och kombinera olika dataanalyseringsprogram kunde en årlig beräkning av luftkvalitetsförbättring uppskattas. Resultatet visade att koncentrationen av O ₃ minskades med ungefär 1 procent per år på grund av den urbana skogen. På samma sätt beräknades PM minska med ungefär 2 procent per år.
13	I artikeln skriven av McDonald et al. (2007) uppskattades den potentiella effekten av urbana träd på PM-koncentrationer. En modell för atmosfäriska transporter användes för att uppskatta transporten och depositionen av PM tvärsöver två tätorter i Storbritannien, West Midland och Glasgow.

	<p>Dataprogrammet GIS (Geografiskt Informationssystem) användes för att simulera trädplantering och uppskatta dess effekt på PM-halter. Modellen förutspår att en ökning i trädplantering i West Midlands från 3,7 till 16,5 procent skulle reducera den årliga genomsnittshalten av PM med 10 procent. En ökning med 54 procent trädplantering skulle reducera den årliga genomsnittshalten av PM med 26 procent enligt modellen. I Glasgow uppskattades en ökning av trädplantering från 3,6 till 8 procent reducera PM-halterna med 2 procent, och en ökning av trädplantering till 21 procent skulle reducera PM-halterna med 7 procent i genomsnitt per år.</p>
14	<p>I en annan modellstudie gjord av Nowak et al. (2006) undersöks hur vegetation påverkar luftföroreningshalter genom att använda data från uppmätta luftföroreningshalter runt om USA (55 olika städer). En modell baserad på data för meteorologiska företeelser, föroreningshalter och urban täckning av vegetation användes. Resultatet visar att urbana träd kan reducera en stor mängd luftföroreningar såsom NO₂, O₃ och PM. Enligt studien reducerade vegetationen 711 000 metrisk ton luftföroreningar årligen till ett uppskattat värde av 3,8 miljarder dollar. I några städer, inom områden med en täckning av 100 procent vegetation, uppskattades luftkvaliteten förbättras med 16 procent för O₃, 9 procent för NO₂ och 8 procent för PM.</p>
15	<p>Pugh et al. (2012) har studerat hur vegetation påverkar NO₂ och PM genom att använda olika modeller och jämföra med andra liknande studier. Andra studier som presenteras i deras artikel har kommit fram till att luftkvaliteten endast kan förbättras med högst 5 procent genom att plantera mer vegetation. Denna studie visar dock att genom att öka depositionen med hjälp av ökad vegetation kan NO₂ och PM reduceras med hela 40 respektive 60 procent. På grund av detta resultat anser Pugh et al. (2012) att vegetation skulle kunna användas för att förbättra luftkvaliteten i städer.</p>
16	<p>Tallis et al. (2011) undersöker hur vegetation kan användas för att reducera luftföroreningar såsom PM på olika platser i London, Storbritannien. I denna studie användes en modell baserad på UFORE (Urban Forest Effects Model). Enligt modellen reducerar vegetationen mellan 0,7-1,4 procent PM årligen. Modellen uppskattar även att med en ökad areal täckt av träd från 20 till 30 procent ökar depositionen av PM till cirka 1,1–2,6 procent.</p>

	Det framkommer även att träd med breda blad ökar depositionen och att den största förbättringen av luftkvaliteten sker vid de platser som har högst halt av luftföroreningar.
17	I Nowak et al. (2000) undersöktes hur O ₃ -halter påverkas av en ökad areal täckt av träd från Washington DC till centrala Massachusetts, USA. Resultatet visar att träd kan orsaka ändringar i torrdepositionen och i meteorologin, såsom temperatur, vindriktning och vindhastighet, vilket i sin tur påverkar koncentrationen av O ₃ . Resultatet visade även att ändringar i sammansättningen av olika trädarter inte har någon betydande effekt på O ₃ -halten. En ökning av trädtäckt area från 20 till 40 procent minskade O ₃ -halten med mellan 2,4-2,1 procent timvis under dagtid. O ₃ -halten minskade i genomsnitt (under sammanlagt 8 timmar) med 1 procent under dagen.
18	I artikeln skriven av Waina et al. (2012) uppskattas vegetationens inverkan på luftkvaliteten vid olika scenarion genom att använda den tredimensionella modellen ENVI-met. Resultatet visade att vegetationen har effekt på PM-dispersion och att denna effekt även påverkas av ventilationen. Vegetation påvisades reducera vindhastighet och på så sätt öka PM-koncentrationen. Resultatet av denna studie tyder på att vegetation kan orsaka sämre luftkvalitet vid brist på ventilation.
19	I artikeln skriven av Vos et al. (2012) har det undersökts hur vegetation nära vägen påverkar luftföroreningar i urban miljö genom att simulera olika scenarion. Resultaten visade att luftföroreningar (såsom NO ₂ och PM) snarare ökar vid närvaro av vegetation, framför allt lokalt, till följd av att vegetationen minskar luftomströmningen. Effekten av att vegetationen minskar ventilationen visade sig vara större än effekten av hur vegetationen påverkar luftföroreningar. På grund av komplexiteten i detta problem, där många faktorer bör tas hänsyn till, anser Vos et al. (2012) att användningen av vegetation som luftrenare inte är en långvarig hållbar lösning i strävan efter en bättre luftkvalitet.
20	I artikeln av Alonso et al. (2011) undersöks hur O ₃ -halter påverkas vid borttagning av vegetation i El Pardo, ett samhälle i Madrid, Spanien. Den kemiska modellen CHIMERE användes för att kunna simulera olika scenarion. Resultatet visade att borttagning av vegetation skulle leda till en ökning av halten O ₃ . Det framkom även att O ₃ -depositionen var 27 procent lägre på sommaren jämfört med våren.

Resultaten visar att borttagning av vegetation i El Pardo skulle försämra luftkvaliteten och sänka O ₃ -depositionen med upp till 87 procent vid de områden som nu är täckta av skog och upp till 15,6 procent vid omkringliggande områden. Därför anser Alonso et al. (2011) att urban vegetation kan vara en bra strategi för att förbättra luftkvaliteten i städer.

Tabell 3 ovan sammanfattar 10 olika modellstudier som studerats. Många av studierna förespråkar användningen av vegetation som luftföroreningar, såsom NO₂, O₃ och PM då deras resultat visar att vegetation har en reducerande effekt på dessa föroreningar (Alonso et al., 2011; Pugh et al., 2012). Effekten har även påvisats vara större på sommaren än våren för PM enligt Manes et al. (2014) och tvärtom vad gäller koncentrationen av O₃ enligt Alonso et al. (2011). Effekten är som störst vid de platser som har högst halt av luftföroreningar enligt Tallis et al. (2011). Alla håller dock inte med om att vegetation skulle vara ett bra styrmedel för att minska luftföroreningar i städer. Då vegetationen har en tendens att reducera luftomströmningen genom att dämpa vindhastigheten kan ökad vegetation snarare orsaka en sämre luftkvalitet enligt Waina et al. (2012) och Vos et al. (2012).

3.2 Empirisk studie

Nedan följer de mest relevanta och viktigaste resultaten av den empiriska studien som baseras på mätningar på halten av bland annat NO₂, O₃ och PM som gjorts som en del av projektet *Värdering av ekosystemtjänster av urban grönska* i Göteborg 2015. Det har gjorts fler mätningar på halten av NO₂ och O₃ än vad som gjorts på halten av PM, varför PM inte kommer att kunna analyseras i lika stor utsträckning.

Tabell 4. Placering och kännetecken av de olika mätstationsplatserna runt om i Göteborg.

Mätstation	Placering	Kännetecken
Skansen Lejonet 1	Utmed E6 norr om Olskroksmotet, på ett av träden precis norr om järnvägsbron.	Vegetation.
Skansen Lejonet 2	Vid lyktstolpe invid vägen ytterligare norr om järnvägsbron.	Ingen vegetation. Samma avstånd från trafikleden som Skansen Lejonet 1.
Slottskogen 1	På träd vid Carl Skottsbergs gata 30. Vid trafikleden fast med ett bullerplank emellan.	Ingen vegetation. Avstånd från trafikled: Cirka 30 meter.
Slottskogen 2	Vid cykelvägen mellan Dag Hammarsköldsleden och spårvagnsleden.	Ingen vegetation. Avstånd från trafikled: Cirka 3 meter.
Slottskogen 3	På träd utmed gångvägen strax söder om gångbron över Dag Hammarsköldsleden.	Omges av träd på båda sidor. Avstånd från trafikled: Cirka 45 meter.
Slottskogen 4	På ett av träden strax väster om gångvägen i höjd med Lilla dammen.	Mycket vegetation i alla riktningar. Avstånd från trafikled: Cirka 400 meter.
Femman	På Femmans tak vid Brunnsparken i centrala Göteborg.	Mätstationen fungerar som ett jämförelsevärde mot de andra mätstationerna då det representerar den typiska kvaliteten på luften i Göteborg.

I tabell 4 redovisas de mätstationer som anses vara relevanta för syftet med denna uppsats utifrån projektet *Värdering av ekosystemtjänster av urban grönska*. Platserna är utvalda så att en jämförelse mellan koncentrationen av luftföroreningar kan göras på de platserna med respektive utan vegetation. Avstånd från trafikled kommer även att tas i beaktande vid tolkning och utvärdering av resultatet. Platserna Skansen Lejonet och Slottskogen kommer att jämföras med varandra samt utvärderas var för sig eftersom även andra faktorer i omgivningen kan ha en inverkan på resultatet, såsom exempelvis trafikflödet. Femmans mätstation fungerar som ett referensvärde då denna station representerar den typiska kvaliteten på luften i Göteborg.

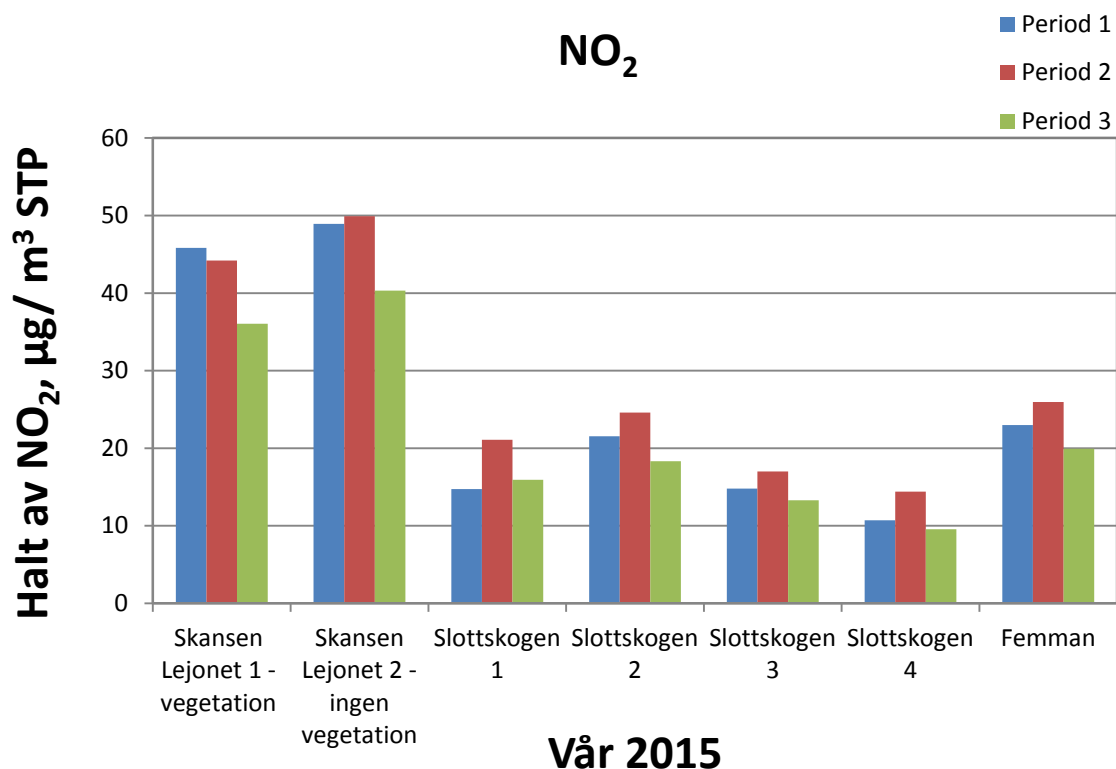
Tabell 5. Start- och stopptid av de mätningar på halten av NO₂ och O₃ som gjorts under våren och sommaren i Göteborg 2015.

Vår		
	Starttid	Stopptid
Period 1	2015-03-04	2015-03-18
Period 2	2015-03-18	2015-04-01
Period 3	2015-04-01	2015-04-14
Sommar		
	Starttid	Stopptid
Period 4	2015-06-01	2015-06-15
Period 5	2015-06-15	2015-06-29
Period 6	2015-06-29	2015-07-13
Period 7	2015-07-27	2015-08-10
Period 8	2015-08-10	2015-08-24

Mätningarna som gjorts på halten av NO₂ och O₃ är gjorda på olika datum under våren och sommaren 2015. Varje mätning pågår under en viss tidsperiod vilka kan studeras i tabell 5 ovan. Mätningarna under period 7 och 8 har endast gjorts vid Skansen Lejonet 1 (med vegetation) och Skansen Lejonet 2 (utan vegetation) för att utöka data för att beräkna vegetationens effekt på luftföroreningar.

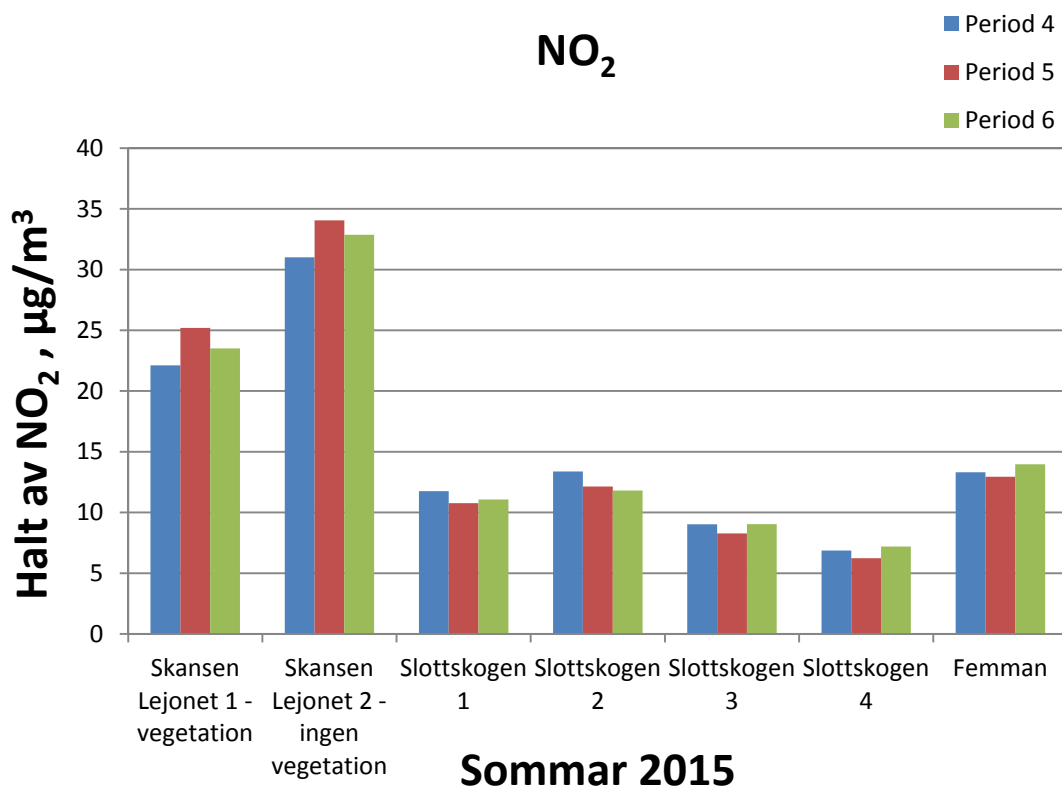
3.2.1 Kvävedioxid

Nedan följer resultaten från mätningarna av NO₂-halter. Mätningarna är gjorda på olika datum under våren och sommaren 2015. Varje mätning pågår under en viss tidsperiod (se tabell 5). STP står för standard temperatur (20 °C) och standard-tryck vid havsnivån (1013 hPa).



Figur 1. Mätningar på koncentrationen av NO₂ på olika platser i Göteborg under våren (före lövsprickningen) 2015.

Figur 1 ovan visar hur koncentrationen NO₂ skiljer sig mellan de olika mätstationerna och även hur koncentrationsnivån skiljer sig mellan mätperiod 1, 2 och 3 under 2015. Vad som kan urskiljas ur denna figur är att koncentrationsnivån på de platser som omges av vegetation är mindre än koncentrationsnivån på de platser som omges av lite eller ingen vegetation (då de olika tidpunkterna jämförs med varandra). Jämförs platserna Skansen Lejonet med Slottskogen kan det urskiljas att koncentrationsnivåerna är mycket högre vid Skansen Lejonet. De högsta NO₂-nivåerna uppmättes under period 2 (med undantag av mätstationen Skansen Lejonet 1 där den högsta nivån uppmättes under period 1) och lägsta nivåerna uppmättes under period 3. Den högsta koncentrationen uppmättes till cirka 50 µg/m³ under period 2 vid Skansen Lejonet 2. Den lägsta koncentrationen uppmätts till cirka 10 µg/m³ under period 3 vid mätningplatsen kallad Slottskogen 4. Den beräknade koncentrationen vid mätstationerna Skansen Lejonet 1 respektive Skansen Lejonet 2 är approximativt dubbelt så höga som referensvärdet (vid Femman som representerar den typiska Göteborgsluften) under alla perioder. Alla mätstationer vid Slottskogen visar däremot lägre NO₂-nivåer än Femmans mätstation under alla perioder.



Figur 2. Mätningar på koncentrationen av NO₂ på olika platser i Göteborg under sommaren (efter lövsprickningen) 2015.

I figur 2 ovan kan det studeras hur NO₂-halten skiljer sig mellan de olika platserna i Göteborg under sommaren 2015. Trenden visar sig vara ungefär densamma som under våren samma år men koncentrationen är lägre på alla platser och under alla perioder i jämförelse med mätningarna från våren. Den högsta koncentrationen uppmättes till cirka 34 µg/m³ under period 5 vid Skansen Lejonet 2. Den lägsta koncentrationen uppmätts till cirka 6 µg/m³ under samma period men vid mätningplatsen kallad Slottskogen 4.

3.2.1.1 Vegetationens inverkan på kvävedioxid

För att testa huruvida skillnaden mellan mätningarna under våren och sommaren 2015 från Skansen 1 och Skansen 2 (med respektive utan vegetation) är signifikant används ett Tecken-test (se 2.2.1.2 Tecken-test).

Tabell 6. Skillnader i halten NO₂ på platserna Skansen Lejonet 1 (med vegetation) och Skansen Lejonet 2 (utan vegetation).

	Skansen Lejonet 1 – vegetation (NO ₂ µg/m ³ STP)	Skansen Lejonet 2 – ingen vegetation (NO ₂ µg/m ³ STP)	Effekten av vegetationen på halten av NO ₂ (Procentuell skillnad)
Period 1	46	49	– 6 %
Period 2	44	50	– 12 %
Period 3	36	40	– 10 %
Period 4	22	31	– 29 %
Period 5	25	34	– 26 %
Period 6	24	33	– 27 %
Period 7	31	41	– 24 %
Period 8	43	52	– 17 %

Tabell 6 ovan visar hur halterna NO₂ skiljer sig på de två platserna vid Skansen Lejonet och vilken påverkan vegetationen har på koncentrationsnivåerna. Resultatet visar att halten av NO₂ var lägre innanför vegetationen än utanför under alla 8 mätperioder. Den största skillnaden mellan halterna uppmättes under period 4 då halten av NO₂ var 29 procent lägre innanför vegetationen än utanför. Den minsta skillnaden uppmättes under period 1 då halten av NO₂ var 6 procent lägre innanför vegetationen än utanför. Utifrån de värden som redovisas i tabell 6 kan ett tecken-test i form av ett binominaltest utföras (se 2.2.1.2 Tecken-test). Binominaltestet ger att $p = 0,0039$. Detta är alltså sannolikheten att observera 8 specifika utfall (i det här fallet är det utfall där NO₂-halten är lägre innanför vegetationen än utanför) under dessa 8 tidsperioder. Utifrån värdet av p kan nollhypotesen (*Vegetation har ingen påverkan på koncentrationen av luftföroreningar*) förkastas och alternativhypotesen (*Vegetation har en påverkan på koncentrationen av luftföroreningar*) antas med en tvåstjärnig signifikans vad gäller luftföroreningen NO₂. Resultatet indikerar att vegetation har en reducerande effekt på koncentrationen av NO₂.

3.2.1.2 Grönskans inverkan på kvävedioxid

För att testa huruvida skillnaden i koncentrationerna mellan våren och sommaren 2015 är signifikant används ett t-test (se 2.2.1.3 t-test). Resultatet av testet visas i tabell 5 nedan.

Tabell 7. Resultatet av det t-test som testar huruvida den relevanta skillnaden i koncentrationerna (av NO₂) mellan våren och sommaren 2015 är signifikant.

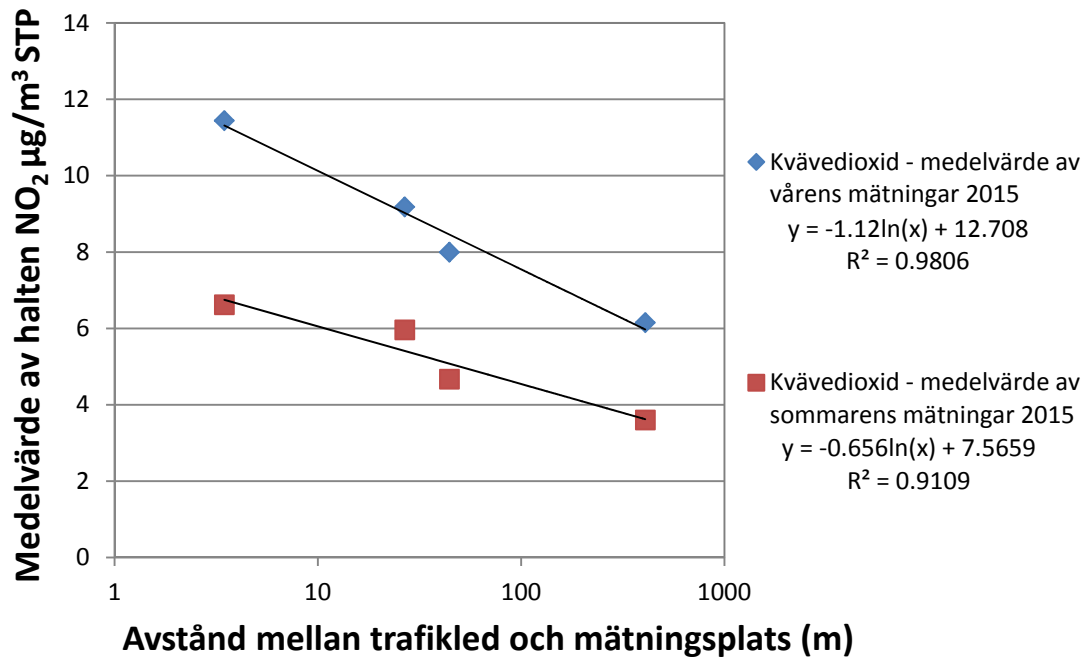
NO ₂	Vår 2015	Sommar 2015
Medelvärde	0,093	0,248
Varians	0,00083	0,0021
Observationer	3	5
P-värde	0,0011	

Utifrån t-testet framgår det att $p = 0,001$, vilket gör att nollhypotesen (*Det råder ingen skillnad mellan koncentrationerna av luftföroreningar under våren och sommaren 2015*) kan förkastas och alternativhypotesen (*Det råder skillnad mellan koncentrationerna av luftföroreningar under våren och sommaren 2015*) kan antas med en två-stjärnig signifikans (se tabell 6). Testet visar alltså att skillnaden mellan koncentrationerna under våren och sommaren 2015 (högre värden på våren) inte enbart beror på slumpen.

3.2.1.3 Sambandet mellan halten kvävedioxid och avstånd mellan trafikled och mätstation

För att bedöma vilken effekt avståndet mellan trafikled och mätstation får på halten NO₂ har en regressionsanalys gjorts. Resultatet av denna kan studeras i figur 3 nedan.

Sambandet mellan halten av NO₂ och avstånd mellan trafikled och mättningsplats

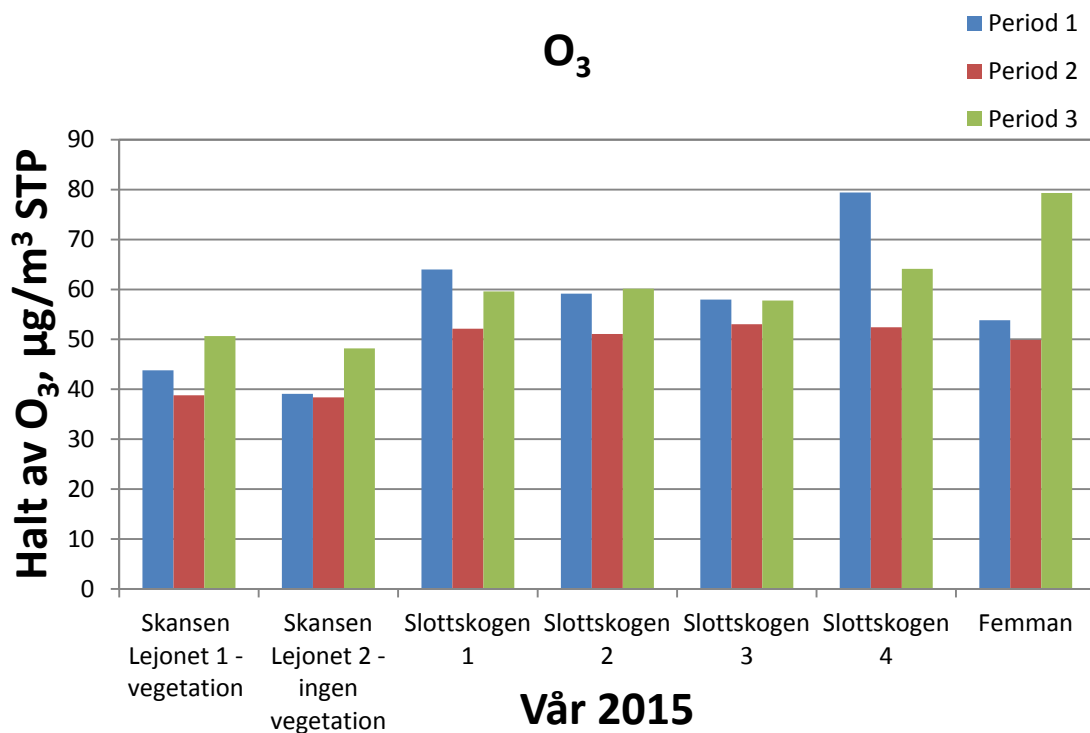


Figur 3. Sambandet mellan halten av NO₂ och avstånd från trafikled i Slottskogen.

Resultatet av regressionsanalysen visar att halten NO₂ och avstånd mellan trafikled och mätstation har ett linjärt negativt samband (se figur 3). Även i denna mätning stämde alltså ett logaritmiskt skala bra såsom i Pleijel et al. (2004). Trendlinjen av vårens mätningar får ett R²-värde på cirka 0,98. Detta innebär att variationen i halten NO₂ under våren 2015 beror till 98 procent på avståndet mellan trafikled och mättningsplats. Trendlinjen av sommarens mätningar får ett R²-värde på cirka 0,91. Detta innebär på samma sätt som vid vårens mätningar att variationen i halten NO₂ under sommaren 2015 beror till 91 procent på avståndet mellan trafikled och mättningsplats.

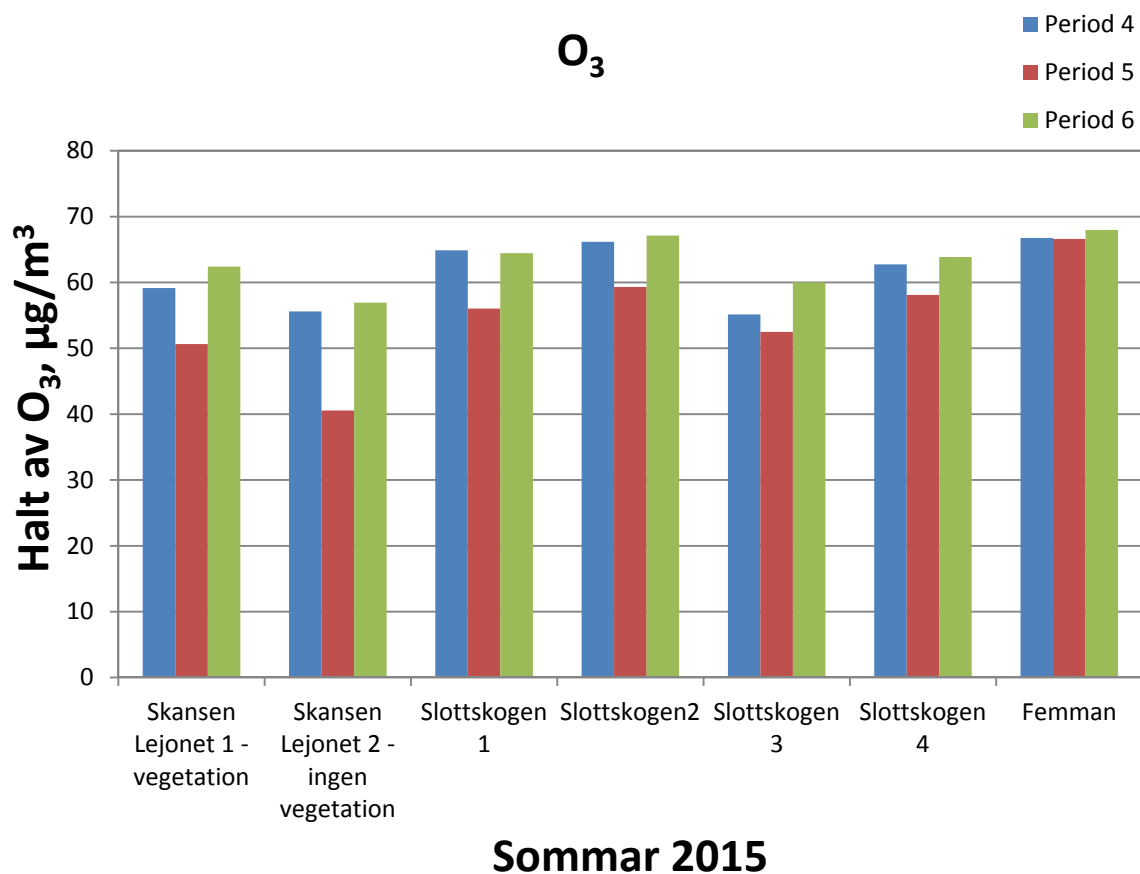
3.2.2 Ozon

Nedan följer resultaten från mätningarna av O₃-halter. Mätningarna är gjorda på olika datum under våren och sommaren 2015. Varje mätning pågår under en viss tidsperiod (se tabell 5). STP står för standard temperatur (20 °C) och standard-tryck vid havsnivån (1013 hPa).



Figur 4. Mätningar på koncentrationen av O₃ på olika platser i Göteborg under våren 2015.

Figur 4 ovan visar hur koncentrationen av O₃ skiljer sig mellan de olika mätstationerna i Göteborg och även hur koncentrationsnivån skiljer sig mellan period 1, 2 och 3 under 2015. De lägsta halterna av O₃ uppmättes under period 2. Den högsta halten uppmättes till approximant 80 µg/m³ under period 1 vid Slottskogen 4. Jämförs Skansen Lejonet med Slottskogen är O₃-halterna högre vid Slottskogen under alla mätperioder. I jämförelse med uppmätta halter NO₂ under våren 2015 (se figur 1) är O₃-halterna lägre där NO₂-halterna är högre och vice versa.



Figur 5. Mätningar på koncentrationen av O₃ på olika platser i Göteborg under sommaren 2015.

I figur 5 kan det studeras hur O₃-koncentrationerna varierar under sommaren 2015 vid de olika mätstationerna i Göteborg. Halterna av O₃ följer en hyfsat jämn nivå vid de olika platserna och mättningsperioder. Ett värde som sticker ut är det lägsta värdet som uppmättes till cirka 40 µg/m³ under period 5 vid Skansen Lejonet 2. Det högsta värdet uppmättes till cirka 68 µg/m³ under period 6 vid Femmans mätstation. Koncentrationen av O₃ är högre vid Skansen Lejonet 1 (med vegetation) än vid Skansen Lejonet 2 (utan vegetation) under alla mättningsperioder. Detta är tvärt emot vad resultatet visade när det gäller resultatet av mätningarna på halten av NO₂ under sommaren 2015 (se figur 2 ovan). De olika värdena är generellt sett högre vid varje mätstation under alla tidsperioder i jämförelse med O₃-mätningarna under våren 2015.

3.2.2.1 Vegetationens inverkan på ozon

För att testa huruvida skillnaden mellan mätningarna under våren och sommaren 2015 från Skansen 1 och Skansen 2 (med respektive utan vegetation) är signifikant används ett Tecken-test (se 2.2.1.2 Tecken-test).

Tabell 8. Skillnader i halten O₃ på platserna Skansen Lejonet 1 (med vegetation) och Skansen Lejonet 2 (ingen vegetation).

	Skansen Lejonet 1 – vegetation (O ₃ µg/m ³ STP)	Skansen Lejonet 2 – ingen vegetation (O ₃ µg/m ³ STP)	Effekten av vegetationen på halten av NO ₂ (Procentuell skillnad)
Period 1	42	39	+ 8 %
Period 2	39	38	+ 3 %
Period 3	51	48	+ 6 %
Period 4	59	56	+ 5 %
Period 5	51	41	+ 24 %
Period 6	62	57	+ 9 %
Period 7	57	50	+ 14 %
Period 8	39	47	– 17 %

Tabell 8 ovan visar hur halterna av O₃ skiljer sig på de två olika platserna vid Skansen Lejonet och vilken påverkan vegetationen har. Halten av O₃ var under alla perioder högre innanför vegetationen än utanför, förutom under period 8. Den största skillnaden mellan halterna uppmättes under period 5 då halten av O₃ var 24 procent högre innanför vegetationen än utanför. Den lägsta skillnaden uppmättes under period 2 då halten av O₃ var 3 procent högre innanför vegetationen än utanför.

Utifrån de värden som redovisas i tabell 8 ovan kan ett tecken-test i form av ett binominaltest utföras (se 2.2.1.2 Tecken-test). Binominaltestet ger att $p = 0,035^*$. Detta är alltså sannolikheten att observera ett eller mindre specifika utfall (då O₃-halten är högre innanför vegetationen än utanför i det här fallet) under dessa 8 tidsperioder.

Nollhypotesen (*Vegetation har ingen påverkan på koncentrationen av luftföroreningar*) kan alltså förkastas och alternativhypotesen (*Vegetation har en påverkan på koncentrationen av luftföroreningar*) kan antas med en enstjärnig signifikans vad gäller luftföroreningen O₃. Resultatet av testet indikerar att vegetation har en ökande effekt på koncentrationen av O₃.

3.2.2.2 Grönskans inverkan på ozon

För att testa huruvida skillnaden i koncentrationsnivåerna mellan våren och sommaren 2015 är signifikant används ett t-test (se 2.2.1.3 t-test) på samma sätt som vid mätningarna av NO₂. Resultatet av testet visas i tabell 9 nedan.

Tabell 9. Resultatet av det t-test som testar huruvida skillnaden i koncentrationsnivåerna (O₃) mellan våren och sommaren 2015 är signifikant.

O ₃	Vår 2015	Sommar 2015
Medelvärde	0,0558	0,0700
Varians	0,00237	0,0246
Observationer	3	5
P-värde	0,858	

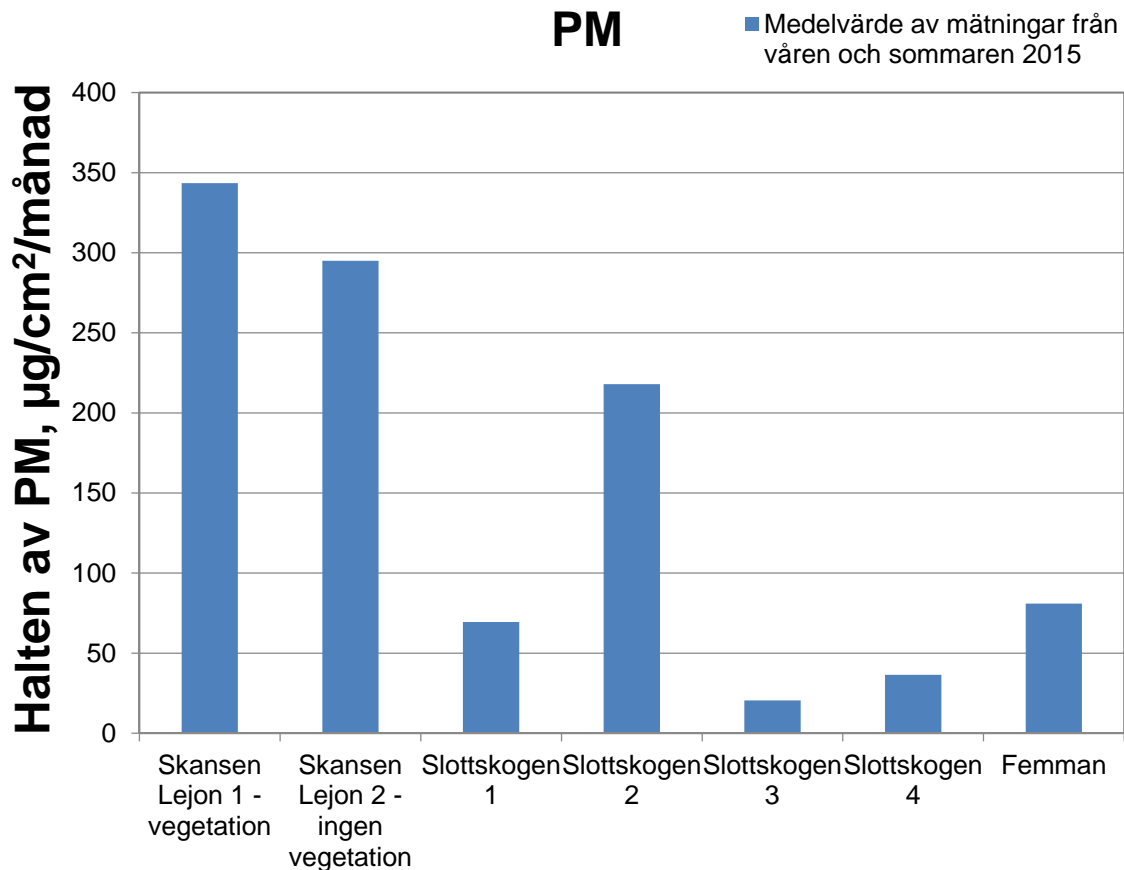
Utifrån t-testet framgår det att $p = 0,858$, vilket gör att nollhypotesen (*Det råder ingen skillnad mellan koncentrationsnivån av luftföroreningar under våren och sommaren 2015*) inte kan förkastas (se tabell 9). Testet visar alltså att skillnaden mellan koncentrationvärdena under våren och sommaren 2015 skulle kunna bero på slumpen.

3.2.2.3 Sambandet mellan halten ozon och avståndet mellan trafikled och mätstation

För att avgöra om ett samband finns mellan halten O₃ och avståndet mellan trafikled och mätstation gjordes en regressionsanalys. Resultatet av detta visade inget tydligt samband mellan dessa två variabler och därför är denna figur inte medtagen i detta arbete.

3.2.3 Partiklar

Nedan följer resultaten från mätningarna av PM-halter. Mätningarna är gjorda på två olika perioder under våren och sommaren 2015. Varje mätning pågick under en viss tidsperiod. Mätningen under våren pågick mellan datumen 2015-03-02 till 2015-04-01 och mätningen under sommaren pågick mellan datumen 2015-06-01 och 2015-06-29. STP står för standard temperatur (20 °C) och standard-tryck vid havsnivån (1013 hPa).



Figur 6. Mätningar på koncentrationen av PM på olika platser i Göteborg under sommaren 2015.

Figur 6 ovan visar hur koncentrationsnivåerna av PM varierar på de olika mätstationerna i Göteborg. Nivåerna är beräknade utifrån ett medelvärde av en mätning från våren och en mätning på sommaren. Detta på grund av att inte lika många mätningar har gjorts på PM-koncentrationen som NO_2 - och O_3 -koncentrationen. Som figuren visar är PM-halten högre vid Skansen Lejonet än Slottskogen, i likhet med NO_2 -halterna (se figur 1 och 2). Det högsta värdet beräknades till cirka $344 \mu\text{g}/\text{cm}^2/\text{månad}$ och uppmättes vid mätstationen Skansen Lejonet 1, vilken är omgiven av vegetation. Det lägsta värdet uppmättes till cirka $21 \mu\text{g}/\text{cm}^2/\text{månad}$ vid Slottskogen 3. Referensvärdet vid mätstationen Femman beräknades till ungefär en fjärdedel av det högsta beräknade värdet, och cirka fyra gånger så högt som det lägst beräknade värdet. Ett värde som sticker ut är Slottskogen 2, som är mycket högre än resterande mätstationer vid Slottskogen.

4. Diskussion

Både litteraturstudien och den empiriska studien indikerar att vegetation har en effekt på luftföroreningar i städer och denna effekt är större på sommaren än innan lövsprickningen. Detta tyder på att deposition och dispersion är viktiga faktorer som har inverkan på vegetationens effekt på luftföroreningshalter. Det är även rimligt att anta att det finns andra faktorer som påverkar denna effekt. Vegetationen skulle kunna fungera som en barriär så att luftföroreningarna inte kan ta sig genom, vilket också skulle ge en minskning av föroreningarna inuti vegetationen. Även faktorer såsom utformning av växten i fråga samt meteorologiska och topografiska aspekter av gällande område skulle kunna antas ha en inverkan.

4.1 Kvävedioxid

Resultatet visar att vegetation har en reducerande effekt på NO₂, vilket visas i både den empiriska studien (binominaltestet gav att $p = 0,0039$) och litteraturstudien. Den empiriska studien visar även att denna effekt är signifikant större på sommaren (då vegetationen grönskar) än på våren (t-testet gav att $p = 0,001$).

De empiriska studierna och modellstudierna i litteraturstudien har olika utfall gällande NO₂ men den sammanlagda bedömningen lutar åt att vegetationen har en reducerande effekt på NO₂. Det finns även andra studier än den som gjorts i Göteborg 2015 som pekar åt att denna effekt är större på sommaren än på våren (Salmond et al., 2013; Setälä et al., 2012).

Vad som kan diskuteras i respektive fall är svårigheten att kunna konstatera att det är vegetationen i sig som orsakar effekten på NO₂ eftersom det är flera olika faktorer som har inverkan på föroreningshalten. Den empiriska studien i denna uppsats visar för mätstationerna vid Slottskogen ett tydligt negativt samband mellan avståndet från trafikled och halten NO₂, vilket tyder på att avståndseffekten (se 4.5 *Sambandet mellan luftföroreningshalter och avstånd till trafikled*) är en av flera faktorer som är viktiga att ta i beaktande vid tolkning av resultatet. Vid Skansen Lejonet var dock avståndet till trafikleden samma för mätstationen i och mätstationen utanför vegetation, varför avståndet inte kan förklara den observerade effekten där.

4.2 Ozon

Vad gäller luftföroreningen O_3 har inte en lika tydlig effekt som vid NO_2 kunnat påvisas och resultaten av de olika studierna som studerats är mer spridda. Den empiriska studien visar en statistisk signifikant skillnad i effekten av vegetation på O_3 -halter mellan sommaren och våren. Effekten visade sig tvärt emot NO_2 vara mindre på sommaren än på våren.

Resultatet från de mätningarna som gjordes under våren 2015 visar att O_3 -halterna är lägre där NO_2 -halterna är högre och vice versa (se figur 1 och 4). Även i artikeln skriven av Harris & Manning (2010) framkommer detta samband tydligt. Detta resultat verkar rimligt då O_3 förbrukas i den kemiska process som sker då NO_2 bildas (se 1.1.1 *Kvävedioxid*). Det är även viktigt att ta i beaktande att O_3 är en sekundär förening som bildas högre upp i luften och som med hjälp av turbulens blandas ner i vegetationen på ett annat sätt än vad NO_2 gör då NO_2 primärt emitteras och bildas ur NO vid marknivå.

4.3 Partiklar

På grund av brist på mätdata kunde PM inte analyseras i lika stor utsträckning som NO_2 och O_3 i den empiriska delen av arbetet. Däremot kunde en bild skapas om hur PM-halten varierar på de olika platserna i Göteborg. Halterna av PM följer mönstret av halterna av NO_2 på de olika platserna i relativt stor utsträckning, vilket verkar rimligt då de båda föroreningarna kan härstamma från trafiken. Vid jämförelse av Skansen Lejonet 1 (med vegetation) och Skansen Lejonet 2 (utan vegetation) uppmättes dock en högre PM-halt vid Skansen Lejonet 1. Det går dock inte att dra säkra slutsatser angående vegetationens påverkan på halten av PM från studien i Göteborg 2015 eftersom det inte har gjorts tillräckligt många mätningar.

Det har gjorts en hel del studier (både empiriska studier och modellstudier) på hur vegetation påverkar PM i urban miljö. Detta på grund av att partiklar anses ha en stor hälsofara i städer. En majoritet av studierna i litteraturstudien i detta arbete indikerar att vegetation har en reducerande effekt på koncentrationen av PM (se tabell 2 och 3), och vissa studier menar att denna effekt är större på sommarhalvåret då vegetationen grönskar än på våren (Manes et al., 2014). Resultatet av studierna av Waina et al. (2012) och Vos et al. (2012) visar dock att vegetation kan minska vinshastigheten, vilket i sin tur kan orsaka en högre halt av PM, exempelvis i ett slutet gaturum. Detta är viktigt att ta i beaktande vid användning av vegetation i syfte att reducera luftföroreningar så som PM i urban miljö.

4.4 Grönskans inverkan på koncentrationen av luftföroeningar

Resultatet av flera studier indikerar vegetationens reducerande effekt på luftföroeningar är större då vegetationen grönskar (Salmond et al., 2013; Setälä et al., 2012; Manes et al., 2014). Detta skulle kunna vara rimligt att anta då luftföroeningarna har en betydlig större yta att deponeras till under sommarhalvåret.

Resultaten av den empiriska studien visar att effekten vad gäller vegetationens upptag av NO₂ är större på sommaren än på våren. Detta indikerar att mängden och storleken på de gröna bladen har betydelse för vegetationens depositionsgrad, vilket kan vara viktigt att ta i beaktande vid utformning av vegetationen i syfte att rena NO₂ i urban miljö. Den empiriska studien visar dock omvänd effekt vad gäller grönskans inverkan för luftföroeningarna O₃, då effekten är mindre på sommaren än på våren. Detta resultat kan bero på att O₃ är en regional föroening med annat uppträdande.

4.5 Sambandet mellan luftföroeningshalter och avstånd från trafikled

Resultatet visade att ju längre ifrån trafikleden mätstationerna vid Slottskogen var placerade desto lägre var koncentrationen av NO₂. Detta visar att det finns ett tydligt negativt samband mellan halten NO₂ och avstånd från trafikled, vilket indikerar att de främsta NO₂-utsläppen kommer från trafiken. Antagandet om att en logaritmisk skala skulle ge ett negativt samband mellan dessa variabler stämde alltså och resultatet stämmer även överens med andra studier (Pleijel et al., 2004; Gilbert et al., 2003). Vårens mätningar visade att 98 procent av variationen i NO₂-halten berodde på avståndet mellan trafikled och mätningsplats. Samma procentsats under sommarens mätningar uppskattades till 91 procent. Liknande resultat fanns i studien av Pleijel et al. (2004) där regressionskoefficienten beräknades till 0,95. Resterande procenthalt (cirka 5 procent) kan bero av andra faktorer som har inverkan på variationen av halten NO₂ i ett område. Dessa faktorer diskuteras vidare nedan (se 4.6 *Andra faktorer som påverkar koncentrationen av luftföroeningar*).

Enligt Pleijel et al. (2004) är trendlinjen som uppkommer vid regressionsanalysen känslig mot bland annat vindhastighet, atmosfärisk stabilitet och O₃-koncentration. Det skulle också kunna vara rimligt att anta att även vegetationen har en effekt i detta sammanhang. Lutningen på trendlinjen hade förmodligen varit brantare vid ett scenario med ökad mängd gröna blad och vice versa.

Ett längre avstånd från trafikled innebär alltså en lägre exponering av NO₂-halter, dels på grund av ovannämnd avståndseffekt och dels på grund av vegetationens reducerande effekt på luftföroreningar. Detta får konsekvenser för stadsplaneringen i strävan efter att styra människors rörelsemönster genom staden så att människor väljer de vägval där de blir utsatta för lägst halt av luftföroreningar även om detta vägval resulterar i en längre restid.

Vad gäller O₃ visades inget tydligt samband mellan mätstationens plats och avstånd från trafikled. Detta resultat verkar rimligt eftersom O₃ är en sekundär förorening och bildas främst högre upp i luften till skillnad från NO₂, vars högsta halter har uppmäts på en lägre nivå (vid vägen).

4.6 Påverkan av vegetation på koncentrationen av luftföroreningar

Många studier visar alltså att vegetation har en reducerande påverkan på luftföroreningar i städer. Pataki et al. (2011) menar dock att det inte finns tillräckligt empiriskt stöd för att vegetation har en reducerande effekt på luftföroreningar och att de modeller som används tenderar att överskatta effekten som vegetation har på luftföroreningar. Vad gäller litteraturstudien som gjorts i denna uppsats är det svårt att säga huruvida resultatet av modellstudierna tenderar att överskatta effekten av vegetation på luftföroreningar eftersom modellstudierna och de empiriska studierna gjorts på olika sätt och på skilda platser med olika förutsättningar. Dock skapades en sammanlagd bedömning och en uppfattning om att de modellstudier som visade att vegetationen hade en reducerande effekt på luftföroreningar också redovisade en större minskning än de empiriska studierna som visade samma sak. Alltså kan det ligga något i argumentet som förs i Pataki et al. (2011) angående detta, men fler litteraturstudier med en jämförelse av empiriska studier och modellstudier bör göras för att styrka argumentet. Det är dock rimligt att anta att empiriska studier tenderar att visa ett mer verklighetsrelaterat resultat än modellstudier. I Pataki et al. (2011) framgår att det är viktigt att ha detta i åtanke vid användning av vegetation som luftrenare i städer och att fokusera på biologiska, geologiska och kemiska processer i en urban grön infrastruktur för att kunna förbättra förståelsen för dess ekosystemtjänster.

Vid användning av vegetation som luftrenare i städer är det även viktigt att anpassa designen av vegetationen till syftet och platsen i fråga för att optimera vegetationens effekt på luftföroreningar, vilket diskuteras i Janhäll (2015). Här framgår det exempelvis att olika typer av vegetation fångar upp olika partikelstorlekar.

Vos et al. (2012) visar att närvaron av vegetation vid platser med trånga trafikerade gaturum kan minska dispersionen i vissa fall och detta kan i sin tur leda till en ökad exponering för lokalt emitterade luftföroreningar. Detta och liknande företeelser är viktigt att ta i beaktande vid designen av vegetation i syfte att minska luftföroreningar i städer.

Vidare kan det diskuteras huruvida vegetation kan fungera som upptagare av luftföroreningar i olika väderförhållanden. Detta är speciellt viktigt att ta i beaktande vid frågan om hur den globala uppvärmningen kommer att påverka effekten av vegetationens deposition av luftföroreningar. Manes et al. (2014) betonar betydelsen av att anpassa olika typer av vegetation till olika typer av luftföroreningar och att även ta hänsyn till kommande globala uppvärmning vid utformning av vegetation som luftrenare i urban miljö.

4.7 Andra faktorer än vegetation som påverkar koncentrationen av luftföroreningar

Vegetation verkar alltså ha en reducerande effekt på luftföroreningar i städer, men det finns även andra faktorer som har inverkan vad gäller luftföroreningsnivån vid en viss plats. I Sjöberg et al. (2005) och Setälä et al. (2012) diskuteras exempelvis vädret och klimatets betydelse för mängden luftföroreningar. Det skulle vidare kunna vara rimligt att anta att kalla väderförhållanden bidrar till ett större utsläpp från exempelvis trafiken (främst NO₂) då det krävs mer bränsle för att starta motorer när de är kalla i relation till när de är varma. Användandet av dubbdäck vid halt väglag är också ett problem då det orsakar vägslitage och uppkomst av vägdamm som innehåller en stor mängd partiklar (Sjöberg et al., 2005). Under vintertid i nordiska klimatförhållanden kan fenomenet inversion uppkomma. Inversion bildas vid kalla stilla vinterdagar och innebär att varm luft inte kan stiga i höjddled som den brukar och då bildas ett skikt av luftföroreningar som blir kvar nära marknivå. Vid inversion blir alltså luftföroreningshalterna högre lokalt (SMHI, 2015).

Väderförhållanden har alltså ha en betydande inverkan på koncentrationen av luftföroreningar. Enligt Karlsson & Erlingsson (2008) är O₃ den luftförorening som är mest väderkänslig. Även NO₂ påverkas av de olika väderförhållandena, dock inte i lika stor utsträckning som O₃. PM påverkades däremot inte i så stor utsträckning av vädret enligt denna artikel. Vindhastighet visade sig vara den faktor som är starkast korrelerad med koncentrationen av luftföroreningar. Vid höga vindhastigheter är koncentrationen av O₃ statistiskt sett högre, medan koncentrationen av NO₂ och PM är lägre.

Där vinden inte kommer åt (exempelvis vid trånga gaturum) kan det vara rimligt att anta att koncentrationen av luftföroreningar inte påverkas i lika stor utsträckning (Karlsson & Erlingsson, 2008). Några studier indikerar att vegetation kan ha en ökande effekt på luftföroreningar eftersom vegetationen reducerar luftomströmningen (Waina et al., 2012; Vos et al., 2012). Andra väderfenomen såsom solstrålning och relativ fuktighet kan även antas ha effekt på koncentrationen av luftföroreningar. O₃ bildas i större mängder vid högre solstrålning och ju högre relativ fuktighet desto lägre halter av de vattenlösliga luftföroreningarna bildas (Karlsson & Erlingsson 2008).

En annan viktig faktor som är relevant att diskutera vad gällande vad som påverkar luftföroreningshalter är hur trafikflödet på de olika platserna (vid Slottskogen och Skansen Lejonet) skiljer sig och även hur det kan skilja sig vid olika tidpunkter under dagen. Det är rimligt att anta att luftföroreningshalterna är högre vid rusningstider då trafikflödet ökar eftersom trafiken är en stor källa till utsläpp av luftföroreningar såsom NO₂. Resultaten från den empiriska studien indikerar att E6:an vid Olskroksmotet (Skansen Lejonet) i Göteborg har ett högre trafikflöde än Dag Hammarsköldsleden (Slottskogen) eftersom koncentrationen av NO₂ var betydligt högre vid mätstationerna längs med E6 (se figur 1 och 2).

4.8 Luftföroreningars påverkan på vegetation

Fokus i denna uppsats har legat på hur vegetation påverkar luftföroreningshalter och hur detta kan användas för att reducera luftföroreningar i städer. Vad som även är viktigt att ta i beaktande i denna diskussion är hur vegetationen påverkas då den tar skada istället. Av de variabler som påverkar variationen i växters sammansättning och artrikedom har halten luftföroreningar visat sig vara den faktor som har mest inverkan. Det har framför allt visats ett negativt samband mellan artrikedom och NO₂-deposition, även om dessa upptäcker har gjorts i studier med relativt små urval (Payne et al., 2014). En ökad koncentration av O₃ har visats bidra till att växterna åldras i förtid genom minskad fotosyntes och tillväxt (Sjöberg et al., 2005) samt ge både synliga och osynliga skador på växters löv (Flowers et al., 2007; Hayes et al., 2007; Pleijel et al., 1994). En annan studie av Jochner et al. (2015) visade ett samband mellan ökad ozon-, NO₂- samt PM-halt och förhalning i fenologiska (läran om de periodiska företeelsernas uppträdande inom växt- och djurriket) processer.

Vad som kan diskuteras utifrån vad studierna ovan visar är hurivida vegetation verkligen är ett bra styrmedel för att reducera luftföroreningar då vegetationen i sig tar skada. Vad som är viktigt att belysa i denna diskussion är att olika typer av vegetation har visats ha olika känslighet för luftföroreningar. Flera studier har undersökt olika växters APTI (Air Pollution Tolerance Index), alltså hur mycket luftföroreningar växterna klarar av att ta upp innan de tar skada (Panday et al., 2015; Noor et al., 2015; Rai & Panda, 2014). APTI är baserat på bland annat växtens pH och fuktighet samt innehåll av askorbinsyra och klorofyll. I dessa studier diskuteras även vikten av att analysera olika växters APTI vid val av vilken typ av vegetation som ska användas som ekosystemtjänst för att reducera halten luftföroreningar. Detta verkar då vara en väsentlig del för att på bästa sätt anpassa styrmedel för att implementera vegetation som ekosystemtjänst i urban miljö.

4.9 Andra eventuella lösningar eller kompletteringar

Användningen av vegetation som ekosystemtjänst för att minska luftföroreningar skulle alltså kunna vara en bra lösning, vilket har visat sig i både den empiriska studien och litteraturstudien. Dock kan det medföra vissa problem i städer såsom exempelvis platsbrist. I dessa situationer kan gröna tak och väggar vara ett bra alternativ. Gröna tak och väggar används som en metod för att öka arealen av grönytor i urbana miljöer och innebär att man försöker efterlikna den naturliga vegetationen på konstgjord väg genom grön teknologi. Tekniken bygger i sin enkelhet på att man adderar ett lager med jordsubstrat och vegetation på det färdigställda taket (Andersson, 2014).

4.10 Metoddiskussion

Oavsett vilken av metoderna som används (experiment eller modellering) existerar alltid eventuella felkällor som är värda att diskuteras. Vad gäller modellering blir aldrig modellerna bättre än de data som finns tillgängliga. De är ofta alltför begränsade för att modellen skall kunna kalibreras på ett tillfredsställande sätt, vilket påverkar resultatet. Modeller har även en tendens att överskatta effekten, exempelvis att vegetationen har en större påverkan vad gäller minskning av luftföroreningar än vad det faktiskt har i praktiken eller vad empiriska mätningarna visar (Pataki et al., 2011). För att optimera resultatet av en modellstudie är det väsentligt att anpassa valet av metod för studiens syfte (Chang & Hanna, 2004).

Även vid empiriska studier finns mätfel som man bör ta hänsyn till oavsett val av mätmetod. En viktig del är betydelsen av replikering. Ju fler mätningar som utförs desto högre tillförlitligt resultat. Upprepade mätningar på olika platser och under olika perioder på året ger även ett mer pålitligt resultat. Oavsett hur många mätningar som utförs kommer det dock alltid existera risk för fel vilket är viktigt att ta i beaktande vid utformning av empiriska studier.

5. Slutsatser

- Både litteraturstudien och den empiriska studien visar att vegetation har en reducerande effekt på luftföroreningar i städer (framför allt gällande NO₂), främst genom deposition och dispersion, och denna effekt är större på sommaren än innan lövsprickningen.
- Den empiriska studien visar ett tydligt negativt samband mellan halten NO₂ och avstånd från trafikled vid mätstationerna omkring Slottskogen. Om människor rör sig på större avstånd från trafiken, exempelvis genom parker, kommer de därför att exponeras för en mindre mängd föroreningar. Detta får konsekvenser för stadsplaneringen i strävan efter att styra människors rörelsemönster genom staden så att människor väljer de vägval där de blir utsatta för lägst halt av luftföroreningar.
- För att på ett effektivt sätt kunna nyttja vegetation i syfte att reducera luftföroreningshalter är det viktigt att anpassa valet av vegetation till syftet och platsen i fråga och ta hänsyn till klimat samt meteorologiska, biologiska och kemiska processer i en urban grön infrastruktur.
- På grund av att vegetationen verkar ha en betydelsefull roll som luftrenare i städer är det viktigt att genom anpassade styrmedel bevara och öka den biologiska mångfalden i strävan efter en bättre luftkvalitet.

6. Tackord

Jag skulle vilja tacka min handledare Håkan Pleijel som hjälpt och stöttat mig genom hela uppsatsprocessen. Även kursledare Lennart Bornmalm har varit till stor hjälp.

7. Referenser

7.1 Internet

Göteborgs stad (2015a) *Hälsoeffekter*. Tillgänglig:

http://goteborg.se/wps/portal/invanare/miljo/miljolaget-i-goteborg/luft/halsoeffekter/!ut/p/z1/04_Sj9CPyKssy0xPLMnMz0vMAfIjo8ziAwy9Ai2cDB0N_N0t3Qw8Q7wD3Py8ffYDDUz0w8EKDFCAo4FTkJGTsYGBu7-RfhQx-vEoiMIwHtki_YLc0FAAEkL8eQ!!/dz/d5/L2dBISEvZ0FBIS9nQSEh/. Hämtad: 2014-09-07.

Göteborgs stad (2015b) *Luftkvaliteten i Göteborg*. Tillgänglig:

http://goteborg.se/wps/portal/invanare/miljo/miljolaget-i-goteborg/luft/luftkvaliteten-i-goteborg/!ut/p/z1/04_Sj9CPyKssy0xPLMnMz0vMAfIjo8ziAwy9Ai2cDB0N_N0t3Qw8Q7wD3Py8ffYdg4z0w8EKDFCAo4FTkJGTsYGBu7-RfhQx-vEoiMIwHtki_YLc0FAAGckAKg!!/dz/d5/L2dBISEvZ0FBIS9nQSEh/. Hämtad: 2015-11-30.

IVL Svenska Miljöinstitutet (2015) *Air Quality Monitoring – diffusive & passive sampling*.

Tillgänglig: <http://www.diffusivesampling.ivl.se/2.75d7780712240e747ea80004590.html>.

Hämtad: 2015-12-01.

Mistra Urban Futures (2015) *Värdering av ekosystemtjänster av urban grönska*. Tillgänglig:

<http://www.mistraurbanfutures.org/sv/projekt/ekosystemtjanster>. Hämtad: 2015-11-30.

Naturvårdsverket (2015a) *Luftföroreningar och dess effekter*. Tillgänglig:

<https://www.naturvardsverket.se/Sa-mar-miljon/Klimat-och-luft/Luftfororeningar/>. Hämtad: 2015-09-22.

Naturvårdsverket (2015b) *FN:s luftvårdskonvention (CLRTAP)*. Tillgänglig:

<https://www.naturvardsverket.se/Miljoarbete-i-samhallet/EU-och-internationellt/Internationellt-miljoarbete/miljokonventioner/Luftvard/>. Hämtad: 2015-11-30.

SMHI – Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut (2014a) *Introduktion*. Tillgänglig:

<http://www.smhi.se/reflab/om-luftfororeningar/luftfororeningar/introduktion-1.19676>.

Hämtad: 2015-09-29.

SMHI – Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut (2014b) *Kvävedioxid*. Tillgänglig:

<http://www.smhi.se/reflab/om-luftfororeningar/luftfororeningar/kvavedioxid-1.19620>.

Hämtad: 2015-09-29.

SMHI – Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut (2014c) *Ozon*. Tillgänglig: <http://www.smhi.se/reflab/om-luftforeningar/luftforeningar/ozon-1.19670>. Hämtat: 2015-09-29.

SMHI – Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut (2014d) *Partiklar*. Tillgänglig: <http://www.smhi.se/reflab/om-luftforeningar/luftforeningar/partiklar-1.19671>. Hämtat: 2015-09-29.

SMHI – Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut (2014e) *Lagstiftning*. Tillgänglig: <http://www.smhi.se/reflab/om-luftforeningar/styrande-dokument/lagstiftning-1.19650>. Hämtat: 2015-11-30.

SMHI – Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut (2015) *Inversion*. Tillgänglig: <http://www.smhi.se/kunskapsbanken/inversion-1.28269>. Hämtad: 2016-01-19.

WHO - World Health Organization (2014) *Burden of Disease from Ambient Air Pollution for 2012*. WHO, Geneve, Schweiz, Tillgänglig: http://www.who.int/phe/health_topics/outdoorair/databases/AAP_BoD_results_March2014.pdf. Hämtat: 2016-03-03.

WHO – World Health Organization (2003) *Health Aspects of Air Pollution With Particulate Matter, Ozone and Nitrogen Dioxide*. Report on a WHO working group. WHO, Bonn, Germany, EUR/03/5042688. Tillgänglig: <http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/107478/1/E79097.pdf>. Hämtad: 2016-02-11.

7.2 Publikationer

Abbey, D.E., Nishino, N., McDonnell, W. F., Burchette, R. J., Knutsen, S. F., Beeson, W. L., Yang, J. X., *Long-term inhalable particles and other air pollutants related to mortality in nonsmokers. American journal of respiratory and critical care medicine*, 159 (1999): 3730150382.

Abhijith, K. V., Gokhale, S., *Passive control potentials of trees and on-street parked cars in reduction of air pollution exposure in urban street canyons*, *Environmental Pollution* 204 (2015) 99-108.

Alonso, R., Vivanco, M. G., Gonzalez-Frenandez, I., Bermejo, V., Palomino, I., Garrido, J. L., Elvira, S., Salvador, P., Artinano, R., *Modelling the influence of peri-urban trees in the air quality of Madrid region (Spain)*, *Environmental Pollution* 159 (2011) 2138-2147.

Andersson J., *Ett planeringsverktyg för urbana ekosystemtjänster*, Biologiska institutionen, (2014) Lunds Universitet.

Baumgardner, D., Varela, S., Escobedo, J. F., Chacalo A., Ochoa, C., *The role of a peri-urban forest on air quality improvement in the Mexico City megalopolis*, Environmental Pollution 163 (2012) 174-183.

Beeson, W. L., Abbey, D. E., Knutsen, S. F., *Long-term concentrations of ambient air pollutants and incident lung cancer in California adults: results from the ASHMOG study*, Environmental health perspectives 106 (1998) 813–823.

Chang, J., C., Hanna, S., R., *Air quality model performance evaluation*, Meteorology and Atmospheric Physics 87 (2004) 167-196.

Chen, L., Liu, C., Zou, R., Yang, M., Zhang, Z., *Experimental examination of effectiveness of vegetation as bio-filter of particulate matters in the urban environment*, Environmental Pollution 208 (2016) 198-208.

Cohen, P., Potchter, O., Schnell, I., *The impact of an urban park on air pollution and noise levels in the Mediterranean city of Tel-Aviv, Israel*, Environmental Pollution 195 (2014) 73-83.

Dadvand, P., Rivas, I., Basagaña, X., Alvarez-Pedrerol, M., Su, J., Pascual, M. D. C., Amato, F., Jerret, M., Querol, X., Sunyer, J., Nieuwenhuijsen, M. J., *The association between greenness and traffic-related air pollution at schools*, Science of The Total Environment 523 (2015) 59-63.

Ferm, M., *Validation of a diffusive sampler for ozone in workplace atmospheres according to EN838*, International conference on measuring air pollutants by diffusive sampling, Montpellier, France, 26-28 September (2001) 298-303.

Flowers, M. D., Fiscus, E. L., Burkey, K. O., Booker, F. L., Dubois, J. B., *Photosynthesis, chlorophyll fluorescence, and yield of snap bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes differing in sensitivity to ozone*, Environmental and Experimental Botany 61 (2007) 190-198.

Forsberg, B., Hansson, H. C., Johansson, C., Areskoug, H., Persson, K., Järholm, B., *Comparative health impact assessment of local and regional particulate air pollutants in Scandinavia*. *Ambio* 34 (2005) 11–19.

Friedman, M. S., Powell, K. E., Hurwagner, L., Graham, L. M., Teague, W. G., *Impact of changes in transportation and commuting behaviors during the 1996 summer olympic games in Atlanta on air quality and childhood asthma*. *Journal of the American medical association* 285 (2001) 897–905.

Gilbert, N. L., Woodhouse, S., Stieb, D.M., Brook, J.R., *Ambient nitrogen dioxide and distance from a major highway*, *Science Total Environment* 312 (2003) 43 – 6.

Grundström, M., Pleijel, H., *Limited effect of urban tree vegetation on NO₂ and O₃ concentrations near a traffic route*. *Environmental Pollution* 189 (2014) 73-76.

Harris, B. T., Manning, William J., *Nitrogen dioxide and ozone levels in urban tree canopies*, *Environmental Pollution* 158 (2010) 2384-2386.

Hayes, F., Mills, G., Harmens, H., Norris, D., *Evidence of Widespread Ozone Damage to Vegetation in Europe (1990-2006)*, Centre for Ecology & Hydrology (2007).

Irga P.J., Burchett M.D., Torpy F.R., *Does urban forestry have a quantitative effect on ambient air quality in an urban environment?*, *Atmospheric Environment* (2015), doi: 10.1016/j.atmosenv.2015.08.050.

Janhäll, S., *Review on urban vegetation and particle air pollution – deposition and dispersion*, *Atmospheric Environment* (2015), doi: 10.1016/j.atmosenv.2015.01.052.

Jochner, S., Markevych, I., Beck, I., Traidl-Hoffmann, C., Heinrich, C., Menzel, A., *The effects of short- and long-term air pollutants on plant phenology and leaf characteristics*, *Environmental Pollution* 206 (2015) 382-389.

Kampa. M., Castanas. E., *Human health effects of air pollution*, *Environmental Pollution* 151 (2008) 362-367.

Karlsson, N., Erlingsson, H., *Samband mellan luftföroreningar och klimatfaktorer – en statistisk undersökning*, (2008) Examensarbete, Halmstad Högskola.

Manes, F., Incerti, G., Salvatori, E., Vitale, M., Ricotta, C., Constanza, R., *Urban ecosystem services: tree diversity and stability of tropospheric ozone removal*, *Ecological Applications* 22 (2012) 349-360.

Manes, F., Silli, V., Salvatori, E., Incerti, G., Galante, G., Fusaro, L., Perrino, C., *Urban ecosystem services: tree diversity and stability of PM₁₀ removal in the metropolitan area of Rome*, *Annali Di Botanica* 4 (2014) 19-26.

McConnell, R., Berhane, K., Gilliland, F., London, S. J., Vora, H., Avol, E., Gauderman, W. J., Margolis, H. G., Lurmann, F., Thomas, D. C., Peters, J. M., *Air pollution and bronchitic symptoms in Southern California children with asthma*. *Environmental health perspectives* 107 (1999) 757–760.

McDonald, A. G., Bealey, W. J., Fowler, D., Dragosits, U., Skiba, U., Smith, R. I., Donovan, R. G., Brett, H. E., Hewitt, C. N., Nemitz, E., *Quantifying the effect of urban tree planting on concentrations and depositions of PM₁₀ in two UK conurbations*, *Atmospheric Environment* 41 (2007) 8455–8467.

Newbold, P., Carlson, W. & Thorne, B, *Statistics for Business and Economics*. Global edition (2010) Pearson Education.

Noor, M. J., Sultana, S., Fatima, S., Ahmad, M., Zafar, M., Sarfraz, M., Balkhyour, M. A., Safi, S. Z., Ashraf, M. A., *Estimation of Anticipated Performance Index and Air Pollution Tolerance Index and of vegetation around the marble industrial areas of Potwar region: bioindicators of plant pollution response*, *Environmental Geochemistry and Health* 37 (2015) 441-455.

Nowak, D. J., Civerolo, K. L., Rao, S. T., Sistla, G., Luley, C. J., Crane, D. E., *A modeling study of the impact of urban trees on ozone*, *Atmospheric Environment* 34 (2000) 1601-1613

Nowak, D. J., Crane, D. E., Stevens, J. C., *Air pollution removal by urban trees and shrubs in the United States*, *Urban Forestry & Urban Greening* 4 (2006) 115-123.

Nowak, D. J., Hirabayashi, S., Bodine, A., Greenfield, E., *Tree and forest effects on air quality and human health in the United States*, *Environmental Pollution* 193 (2014) 119-129.

Panday, A. K., Pandey, M., Tripathi, B. D., *Air Pollution Tolerance Index of climber plant species to develop Vertical Greenary Systems in a polluted tropical city*, Landscape And Urban Planning 144 (2015) Pages 119–127.

Pataki. D. E., Carreiro. M. M., Cherrier.J., Grulke. N.E., Jennings.V., Pincetl. S., Pouyat. R. V., Whitlow. T. H., Zipperer. W. C., *Coupling biogeochemical cycles in urban environments; ecosystem services, green solutions, and misconceptions*, Frontiers in Ecology and the Environment 9 (2011) 27-36.

Payne, R. J., Caporn, S. J. M., Field, C.D., Carroll, J. A., Edmondson, J. L., Britton, A., Dise, N. D., *Heather Moorland Vegetation and Air Pollution: A Comparison and Synthesis of Three National Gradient Studies*, Water Air Soil Pollut 225 (2014) 1998.

Peters, J. M., Avol, E., Gauderman, W. J., Linn, W. S., Navidi, W., London, S. J., Margolis, H., Rappaport, E., Vora, H., Gong, Jr, H., Thomas, D. C., *A study of 12 Southern California communities with differing levels and types of air pollution. II Effects on pulmonary function*, American journal of respiratory and critical care medicine 159 (1999) 768–775.

Pleijel, H., Karlsson, G. P., Binsell Gerdin, E., *On the logarithmic relationship between NO₂ concentration and the distance from a highroad*, Science of the Total Environment 332 (2004) 261 – 264.

Pleijel, H., Klingberg, J., Bäck, E., *Characteristics of NO₂ Pollution in the City of Gothenburg, South-West Sweden—Relation to NO_x and O₃ Levels, Photochemistry and Monitoring Location*. Water Air Soil Pollut 9 (2009) 15–25.

Pleijel, H., *Transboundary Air Pollution - Scientific Understanding and Environmental Policy in Europe*, Upplaga 1 (2007), Göteborg, Studentlitteratur.

Pope, C. A., Schwartz, J., Ransom, M. R., *Daily mortality and PM₁₀ pollution in Utah Valley*. Archives of environmental health, 47 (1992) 211–217.

Pope, C. A., *Particulate pollution and health: a review of the Utah valley experience*. Journal of exposure analysis and environmental epidemiology 6 (1996) 23–34.

Pugh, T. A. M., MacKenzie, A. R., Whyatt, J. D., Hewitt, C. N., *Effectiveness of Green Infrastructure for Improvement of Air Quality in Urban Street Canyons*, Environmental Science & Technology 46 (2012) 7692-7699.

- Rai, P. K., Panda, L. L. S., *Dust capturing potential and air pollution tolerance index (APTI) of some road side tree vegetation in Aizawl, Mizoram, India: an Indo-Burma hot spot region*, *Air Quality, Atmosphere & Health* 7 (2014) 93-101.
- Salmund, J. A., Williams, D. E., Laing, G., Kingham, S., Dirks, k., Longley, I., Henshaw, G. S., *The influence of vegetation on the horizontal and vertical distribution of pollutants in a street*, *Science of the Total Environment* 443 (2013) 287-298.
- Setälä. H., Viippola. V., Rantalainen. A., Pennanen. A., Yli-Pelkonen. V., *Does urban vegetation mitigate air pollution in northern conditions?* *Environmental Pollution* (2012) 1-9.
- Sjöberg, K., Lövblad, G., Ferm, M., Ulrich, E., Cecchini, S., Dalstein, L. *Ozone measurements at forest plots using diffusive samplers*, *International Conference Measuring Air Pollutants by Diffusive Sampling, Montpellier, France 26-28 September (2001)* 116-123.
- Sjöberg, K., Persson, K., Brodin, Y., *Lufikvalitet i tätorter 2004*, Naturvårdsverket och IVL Svenska Miljöinstitutet AB (2005).
- Sjöman. D. J., Ericsson. T., Gunnarsson. A., Gustafsson. E., Johansson. E., Lagerström. T., Nilsson. L., Stål. Ö., Wiström. B., Östberg., J., *Träd i urbana landskap*, Redaktör: Sjöman, H. & Slagstedt, J. Upplaga 1 (2015), Lund, Studentlitteratur.
- Streiling, S., Matzarakis, A., *Influence of single and small clusters of trees in the bioclimate of a city: a case study*, *Journal of Arboriculture* 29 (2003).
- Tallis, M., Taylor, G., Sinnott, D., Freer-Smith, P., *Estimating the removal of atmospheric particulate pollution by the urban tree canopy of London, under current and future environments*, *Landscape and Urban Planning* 103 (2011) 129-138.
- Vos. P. E. J., Maiheu. B., Vankerkom. J., Janssen. S., *Improving local air quality in cities: To tree or not to tree?*, *Environmental Pollution* (2012) 1-10.
- Waina, A., Bruse, M., Blond, N., Weber, C., *Analysing the influence of different street vegetation on traffic-induced particle dispersion using microscale simulations*, *Journal of Environmental Management* 94 (2012) 91-101.

Yin, S., Shen, Z., Zhou, P., Zou, X., Che, S., Wang, W., *Quantifying air pollution attenuation within urban parks: An experimental approach in Shanghai, China*, *Environmental Pollution* 159 (2011) 2155-2163.

8. Bilaga 1. Sammanfattning av litteraturstudie

Nedan följer en sammanfattning av litteraturstudien i form av tabeller som ger en kortfattad beskrivning av hur NO₂, O₃ och PM påverkas av vegetationen. Tabellerna är uppdelade i empiriska studier och modellstudier.

8.1 Empiriska studier

Nedan följer en sammanfattning av de empiriska studier som är en del av denna uppsats litteraturstudie.

Tabell B1. Sammanfattning av artikeln: Does urban forestry have a quantitative effect on ambient air quality in an urban environment?

Artikel	1		
Referens	Irga P.J., Burchett M.D., Torpy F.R. (2015)		
Titel	<i>Does urban forestry have a quantitative effect on ambient air quality in an urban environment?</i>		
Plats	Sidney, Australien.		
Metod	Under ett år gjordes mätningar en gång i månaden på 11 olika platser i centrala Sidney, Australien. De olika platserna valdes utifrån skillnad i trafikflöde och skillnad i mängd omkringliggande vegetation.		
Resultat	NO ₂	O ₃	PM
	Inga trender i halter observerades.		Platser med stor mängd omkringliggande vegetation hade lägre halter av partiklar och vice versa, även då hänsyn till skillnader i trafikflöde togs.

Tabell B2. Sammanfattning av artikeln: Nitrogen dioxide and ozone levels in urban tree canopies.

Artikel	2		
Referens	Harris, T. B., Manning, W. J. (2010)		
Titel	<i>Nitrogen dioxide and ozone levels in urban tree canopies.</i>		
Metod	Genom att använda passiva mätmetoder kunde NO ₂ - samt O ₃ -halter mätas både inuti trädkronan och precis utanför. Experimentet utfördes i perioder under 2 år.		
Plats	Springfield, Massachusetts, USA.		
Resultat	NO ₂	O ₃	PM
	Genomsnittshalten av NO ₂ var högre inuti trädkronan på varje träd under alla mätperioder.	Genomsnittshalten av O ₃ var lägre inuti trädkronan på varje träd under alla mätperioder.	

Tabell B3. Sammanfattning av artikeln: Limited effect of urban tree vegetation on NO₂ and O₃ concentrations near a traffic route.

Artikel	3		
Referens	Grundström, M., Pleijel, H. (2014)		
Titel	<i>Limited effect of urban tree vegetation on NO₂ and O₃ concentrations near a traffic route.</i>		
Metod	Experimentet genomfördes vid en vältrafikerad väg i centrala Göteborg. Genom att använda passiva mätmetoder kunde NO ₂ - samt O ₃ -halter mätas både inuti buskaget och precis utanför. Experimentet pågick under 6 veckor.		
Plats	Göteborg, Sverige.		
Resultat	NO₂	O₃	PM
	Koncentrationen av NO ₂ var i genomsnitt cirka 7 procent lägre inuti buskaget än utanför under alla mätperioder (signifikant).	Genomsnittshalten av O ₃ var cirka 2 procent lägre inuti buskaget än utanför (icke-signifikant).	

Tabell B4. Sammanfattning av artikeln: Does urban vegetation mitigate air pollution in northern conditions?

Artikel	4		
Referens	Setälä. H., Viippola. V., Rantalainen. A., Pennanen. A. Yli-Pelkonen. V. (2012)		
Titel	<i>Does urban vegetation mitigate air pollution in northern conditions?</i>		
Metod	Med hjälp av passiva mätmetoder kunde koncentrationen av NO ₂ uppskattas. Mätningarna gjordes under två perioder, augusti och mars, då vegetationen grönskar respektive inte grönskar.		
Plats	Helsingfors och Lahtis, Finland.		
Resultat	NO₂	O₃	PM
	Grön infrastruktur i urban miljö verkar ha en liten effekt för reducering av gaser såsom NO ₂ .		Grön infrastruktur i urban miljö verkar ha en liten effekt för reducering PM.

Tabell B5. Sammanfattning av artikeln: Quantifying air pollution attenuation within urban parks: An experimental approach in Shanghai, China.

Artikel	5		
Referens	Yin, S., Shen, Z., Zhou, P., Zou, X., Che, S., Wang, W. (2011)		
Titel	<i>Quantifying air pollution attenuation within urban parks: An experimental approach in Shanghai, China.</i>		
Metod	Data användes från mätningar av luftföroreningshalter gjorda i 6 olika parker i Shanghai, Kina.		
Plats	Shanghai, Kina.		
Resultat	NO₂	O₃	PM
	Sommarens mätningar visade att vegetationen reducerade NO ₂ med 2,6 procent.	/	Sommarens mätningar visade att vegetationen reducerade PM med 9,1 procent.

Tabell B6. Sammanfattning av artikeln: The impact of an urban park on air pollution and noise levels in the Mediterranean city of Tel-Aviv, Israel.

Artikel	6		
Referens	Cohen, P., Potchter, O., Schnell, I. (2014)		
Titel	<i>The impact of an urban park on air pollution and noise levels in the Mediterranean city of Tel-Aviv, Israel.</i>		
Metod	Luftkvalitetet jämfördes på tre olika platser (en park, ett torg och en gata) i Tel-Aviv, Israel.		
Plats	Tel- Aviv, Israel.		
Resultat	NO₂	O₃	PM
	Vegetation visade sig kunna reducera NO ₂ -halter och effekten var större vid högre halter.	O ₃ -halterna visade sig öka vid närvaro av vegetation.	Vegetation visade sig kunna reducera PM-halter och effekten var större vid högre halter.

Tabell B7. Sammanfattning av artikeln: The association between greenness and traffic-related air pollution at schools.

Artikel	7		
Referens	Dadvand, P., Rivas, I., Basagaña, X., Alvarez-Pedrerol, M., Su, J., Pascual, M. D. C., Amato, F., Jerret, M. (2015)		
Titel	<i>The association between greenness and traffic-related air pollution at schools.</i>		
Metod	Luftkvalitetet jämfördes olika skolor omgivna av mycket respektive lite grönska. Luftföroreningshalter mättes 2 gånger under 2 enveckors-perioder med ett mellanrum av 6 månader. Omkringliggande grönska mättes med hjälp av NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) med en gräns på 50 meter runtom respektive skola.		
Plats	Barcelona, Spanien.		
Resultat	NO₂	O₃	PM
	NO ₂ -halterna var lägre vid de skolor omgivna av mycket grönska. Det visade sig även att skolor omgivna av ett högre antal träd hade lägre koncentration av NO ₂ .		PM-halterna (både ultrafina partiklar samt PM _{2,5}) var lägre vid de skolor omgivna av mycket grönska. Det visade sig även att skolor omgivna av ett högre antal träd hade lägre koncentration av PM.

Tabell B8. Sammanfattning av artikeln: The influence of vegetation on the horizontal and vertical distribution of pollutants in a street.

Artikel	8		
Referens	Salmond, J. A., Williams, D. E., Laing, G., Kingham, S., Dirks, k., Longley, I., Henshaw, G. S. (2013)		
Titel	<i>The influence of vegetation on the horizontal and vertical distribution of pollutants in a street.</i>		
Metod	Studien fokuserar på luftföroreningsmätningar av NO _x gjorda på olika avstånd från marken på Symonds Strees i Aucklands centrala affärsdistrikt. Tre monitorer användes för att mäta NO _x -halten.		
Plats	Auckland, Nya Zeeland.		
Resultat	NO₂	O₃	PM
	Resultatet visade att vegetationen har en reducerande effekt på NO _x och denna effekt visade sig vara statistisk signifikant större under perioden då träden har löv. Resultatet visade även att effekten är större vid de tidpunkter och de platser där luftföroreningshalterna är höga.		

Tabell B9. Sammanfattning av artikeln: Influence of single and small clusters of trees in the bioclimate of a city: a case study.

Artikel	9		
Referens	Streiling, S., Matzarakis, A. (2003)		
Titel	<i>Influence of single and small clusters of trees in the bioclimate of a city: a case study.</i>		
Metod	Mätningar gjordes på en total area på cirka 1700 m ² med 12 kastanjetråd med olika åldrar och storlekar. Mätningarna gjordes både innanför trädskronorna och utanför för att jämföra luftföroreningshalten.		
Plats	Freiburg im Breisgau, Tyskland.		
Resultat	NO₂	O₃	PM
	En lägre halt av NO _x uppmättes innanför trädskronorna än utanför.	En lägre halt av O ₃ uppmättes innanför trädskronorna än utanför.	\

Tabell B10. Sammanfattning av artikeln: Experimental examination of effectiveness of vegetation as bio-filter of particulate matters in the urban environment.

Artikel	9		
Referens	Chen, L., Liu, C., Zou, R., Yang, M., Zhang, Z. (2016)		
Titel	<i>Experimental examination of effectiveness of vegetation as bio-filter of particulate matters in the urban environment.</i>		
Metod	Ett antal platser med olika attribut (exempelvis platser med respektive utan vegetation) valdes ut för att kunna jämföra PM-halten. Experimentet gjordes med olika typer av vegetation för att kunna jämföra hur olika arter påverkar PM-halten.		
Plats	Peking, Kina.		
Resultat	NO₂	O₃	PM
	\	\	Alla typer av vegetation hade en reducerande inverkan på PM. Buskar var den typ av vegetation som fungerade mest effektivt för rening av PM. Resultatet visade även att den lokala vinden förklarade en större del av variationer i PM-halter än vegetation.

8.2 Modellstudier

Nedan följer en sammanfattning av de modellstudier som är en del av denna uppsats litteraturstudie.

Tabell B11. Sammanfattning av artikeln: Urban ecosystem services: tree diversity and stability of PM₁₀ removal in the metropolitan area of Rome.

Artikel	11		
Referens	Manes. F., Silli. V., Salvatori. E., Incerti. G., Galante. G., Fusaro. L., Perrino. C. (2014)		
Titel	<i>Urban ecosystem services: tree diversity and stability of PM₁₀ removal in the metropolitan area of Rome.</i>		
Metod	<p>Halten PM₁₀ som upptogs av urban vegetation uppskattades genom att studera de maximala respektive minimala partikelkoncentrationsvärden som uppmättes under 2003 och 2004. Följande ekvationsformel (tillsammans med flera) användes:</p> $Q = F * L * T,$ <p>där</p> <p><i>Q = halten partiklar som upptogs av vegetation under tidsperioden</i></p> <p><i>F = utsläppsflöde</i></p> <p><i>L = Total vegetationstäckning i område</i></p> <p><i>T = Gällande tidsperiod</i></p>		
Plats	Rom, Italien.		
Resultat	NO₂	O₃	PM

Tabell B12. Sammanfattning av artikeln: The role of a peri-urban forest on air quality improvement in the Mexico City megalopolis.

Artikel	12		
Referens	Baumgardner, D., Varela, S., Escobedo, J. F., Chacalo A., Ochoa, C. (2012)		
Titel	<i>The role of a peri-urban forest on air quality improvement in the Mexico City megalopolis.</i>		
Metod	<p>Förbättring av luftkvalitet av skogstäckt nationalpark beräknades genom att kombinera dataanalyseringsprogrammet UFORE (Urban Forest Effects) med dataanalyseringsprogrammet WRF-Chem (där det tas hänsyn till vädret i samband med kemiska reaktioner).</p> <p>För att uppskatta utsläppsflödet av O₃ och PM₁₀ användes följande formel:</p> $F = V_d C,$ <p>där</p> <p style="text-align: center;"><i>F = uppskattat utsläppsflöde</i> <i>V_d = torrdepositionshastighet</i> <i>C = koncentration</i></p>		
Plats	Mexico City, Mexico.		
Resultat	NO₂	O₃	PM
	\	O ₃ beräknades minska med approximant 1 procent per år.	PM ₁₀ beräknades minska med approximant 2 procent per år.

Tabell B13. Sammanfattning av artikeln: Quantifying the effect of urban tree planting on concentrations and depositions of PM10 in two UK conurbations.

Artikel	13		
Referens	McDonald, A. G., Bealey, W. J., Fowler, D., Dragosits, U., Skiba, U., Smith, R. I., Donovan, R. G., Brett, H. E., Hewitt, C. N., Nemitz, E. (2007)		
Titel	<i>Quantifying the effect of urban tree planting on concentrations and depositions of PM10 in two UK conurbations.</i>		
Metod	En modell för atmosfäriska transporter användes för att uppskatta transporten och depositionen av PM tvärsöver två tätorter i Storbritannien. Dataprogrammet GIS (Geografiskt Informationssystem) användes för att simulera trädplantering och uppskatta dess effekt på PM-halter.		
Plats	West Midland och Glasgow, Storbritannien.		
Resultat	NO₂	O₃	PM Modellen förutspår att en ökning i trädplantering i West Midlands från 3,7 till 16,5 procent skulle reducera den årliga genomsnittshalten av PM med 10 procent. En ökning med 54 procent trädplantering skulle reducera den årliga genomsnittshalten av PM med 26 procent enligt modellen. I Glasgow uppskattades en ökning av trädplantering från 3,6 till 8 procent reducera PM-halterna med 2 procent, och en ökning av trädplantering till 21 procent skulle reducera PM-halterna med 7 procent i genomsnitt per år.

Tabell B14. Sammanfattning av artikeln: Air pollution removal by urban trees and shrubs in the United States.

Artikel	14		
Referens	Nowak, D. J., Crane, D. E., Stevens, J. C. (2006)		
Titel	<i>Air pollution removal by urban trees and shrubs in the United States.</i>		
Metod	<p>Luftkvalitetet jämfördes i 55 olika städer i USA och genom att använda en modell baserad på data för meteorologiska företeelser, föroreningshalter och urban täckning av vegetation kunde vegetationens påverkan på luftföroreningshalter uppskattas. För att uppskatta utsläppsflödet av O₃ och PM₁₀ användes följande formel:</p> $F = V_d C,$ <p>där</p> <p style="text-align: center;"><i>F = uppskattat utsläppsflöde</i> <i>V_d = torrdepositionshastighet</i> <i>C = koncentration</i></p>		
Plats	55 olika städer runt om i USA.		
Resultat	NO₂	O₃	PM
	Vegetation visade sig kunna reducera NO ₂ -halter och i några städer med en täckning av 100 procent vegetation uppskattades luftkvaliteten förbättras med 16 procent för NO ₂ .	Vegetation visade sig kunna reducera O ₃ -halter och i några städer med en täckning av 100 procent vegetation uppskattades luftkvaliteten förbättras med 9 procent för O ₃ .	Vegetation visade sig kunna reducera PM-halter och i några städer med en täckning av 100 procent vegetation uppskattades luftkvaliteten förbättras med 8 procent för PM.

Tabell B15. Sammanfattning av artikeln: Effectiveness of Green Infrastructure for Improvement of Air Quality in Urban Street Canyons.

Artikel	15		
Referens	Pugh, T. A. M., MacKenzie, A. R., Wyatt, J. D., Hewitt, C. N. (2012)		
Titel	<i>Effectiveness of Green Infrastructure for Improvement of Air Quality in Urban Street Canyons.</i>		
Metod	Flödet uppskattades genom att använda modellen CFD (Computer Fluid Dynamic) och med hjälp av jämförelse med liknande studier. En kemisk modell kallad CiTTYCAT har används för att simulera depositionen.		
Plats	Storbritannien.		
Resultat	NO₂	O₃	PM
	Studien visar att vegetation kan reducera NO ₂ med 40 procent.		Studien visar att vegetation kan reducera PM med 60 procent.

Tabell B16. Sammanfattning av artikeln: Estimating the removal of atmospheric particulate pollution by the urban tree canopy of London, under current and future environments.

Artikel	16		
Referens	Tallis, M., Taylor, G., Sinnett, D., Freer-Smith, P. (2011)		
Titel	<i>Estimating the removal of atmospheric particulate pollution by the urban tree canopy of London, under current and future environments.</i>		
Metod	I denna studie användes en modell baserad på UFORE (Urban Forest Effects Model). För att uppskatta utsläppsflödet av PM användes följande formel: $F = V_d C,$ där $F = \text{uppskattat utsläppsflöde}$ $V_d = \text{torrdepositionshastighet}$ $C = \text{koncentration}$		
Plats	London, Storbritannien.		
Resultat	NO₂	O₃	PM
			Enligt modellen reducerar vegetationen mellan 0,7-1,4 procent PM årligen. Modellen uppskattar även att med en ökad areal täckt av träd från 20-30 procent ökar depositionen av PM till cirka 1,1-2,6 procent.

Tabell B17. Sammanfattning av artikeln: A modeling study of the impact of urban trees on ozone.

Artikel	17		
Referens	Nowak, D. J., Civerolo, K. L., Rao, S. T., Sistla, G., Luley, C. J., Crane, D. E. (2000)		
Titel	<i>A modeling study of the impact of urban trees on ozone.</i>		
Metod	Hypotetiska modeller användes för att simulera olika typer av scenarion (med olika stor area täckt av träd) med hänsyn till meteorologiska effekter, torrdeposition och utsläpp. Modeller som exempelvis UFORE (Urban Forests Effects Model) och SAQM (SARMAP Air Quality Model) användes.		
Plats	Från Washington DC till Massachusetts, USA.		
Resultat	NO₂	O₃	PM
	/	Resultatet visade att en ökning av träd täckt area från 20 till 40 procent minskade O ₃ -halten med mellan 2,4-4,1 procent timvis under dagen. O ₃ -halten minskade i genomsnitt (under 8 timmar) med cirka 1 procent under dagen.	

Tabell B18. Sammanfattning av artikeln: Analysing the influence of different street vegetation on traffic-induced particle dispersion using microscale simulations.

Artikel	18		
Referens	Waina, A., Bruse, M., Blond, N., Weber, C. (2012)		
Titel	<i>Analysing the influence of different street vegetation on traffic-induced particle dispersion using microscale simulations</i>		
Metod	Genom att använda den tredimensionella modellen ENVI-met kunde effekten av vegetation på luftföroreningar vid olika scenarion uppskattas. ENVI-met är baserad på CFD (Computational Fluid Dynamics model). Denna modell valdes på grund av möjligheten att kunna simulera inverkan av vegetation på atmosfären i en miljö byggd i en mikroskala.		
Plats	-		
Resultat	NO₂	O₃	PM
	/	/	Närvaron av vegetation visade sig ha ett positivt samband med halten PM, då halten PM ökade med ökad täckning av vegetation. Detta förklarades av att vegetation minskade vindhastigheten och på så sätt orsakade en högre PM-halt.

Tabell B19. Sammanfattning av artikeln: Improving local air quality in cities: To tree or not to tree?

Artikel	19		
Referens	Vos, P. E. J., Maiheu, B., Vankerkom, J., Janssen, S. (2012)		
Titel	<i>Improving local air quality in cities: To tree or not to tree?</i>		
Metod	<p>Genom att använda den tredimensionella modellen ENVI-met kunde effekten av vegetation på luftföroreningar vid olika scenarion uppskattas. ENVI-met är baserad på CFD (Computational Fluid Dynamics model). Denna modell valdes på grund av möjligheten att kunna simulera inverkan av vegetation på atmosfären i en miljö byggd i en mikroskala. Filtreringskapaciteten av vegetationen uppskattas utifrån följande ekvation:</p> $S = V_d * LAD * C$ <p>Där</p> $S = \text{filtreringskapacitet}$ $V_d = \text{depositions hastighet}$ $LAD = \frac{\text{Total area av löv}}{\text{Total volym av vegetation}}$ $C = \text{koncentrationen}$		
Plats	-		
Resultat	NO₂	O₃	PM
	NO ₂ -halten ökade vid närvaro av vegetation till följd av att vegetationen reducerade luftomströmningen.	/	PM-halten ökade vid närvaro av vegetation till följd av att vegetationen reducerade luftomströmningen. Vegetationen visade sig ha en lägre effekt på PM än exempelvis NO ₂ . Detta på grund av att de trafikrelaterade utsläppen av PM är relativt låga jämfört med bakgrundshalten.

Tabell B20. Sammanfattning av artikeln: Modelling the influence of peri-urban trees in the air quality of Madrid region (Spain)

Artikel	20		
Referens	Alonso, R., Vivanco, M. G., Gonzalez-Fernandez, I., Bermejo, V., Palomino, I., Garrido, J. L., Elvira, S., Salvador, P. (2011)		
Titel	<i>Modelling the influence of peri-urban trees in the air quality of Madrid region (Spain)</i>		
Metod	Den kemiska modellen CHIMERE användes för att kunna simulera olika scenarion, som tog hänsyn till bland annat deposition, transport och utsläpp. De utsläppskoncentrationerna som fanns med i beräkningarna togs från en databas av EMEP (European Monitoring and Evaluation Programme) från 2003.		
Plats	El Pardo, Madrid, Spanien.		
Resultat	NO₂	O₃	PM
		Resultaten visar att borttagning av vegetation i El Pardo skulle sänka O ₃ -depositionen med upp till 87 procent vid de områden som nu är täckta av skog och upp till 15,6 procent vid omkringliggande områden. Det framkom även att O ₃ -depositionen var 27 procent lägre på sommaren jämfört med våren.	