

Koldioxidhalter relaterade till fordon



Sanna Silvergren, Billy Sjövall, Christer Johansson
SLB-analys
Miljöförvaltningen
Stockholm

Rapport på uppdrag av Trafikverket

Innehåll

Sammanfattning	1
Inledning och syfte med studien.....	3
Genomförande.....	4
Metoder	4
Instrument.....	4
Fordon.....	4
Mätmetodik	5
Körsträckor.....	6
Databearbetning.....	6
Resultat.....	7
Översiktligt mätresultat vid olika mätmoment	7
Halter utanför fordon	7
Halter inuti fordon vid ventilation.....	8
Halter inuti fordon vid re-cirkulation.....	9
Avklingning av halter	13
Antalskoncentrationen inuti fordon.....	14
Slutsatser	15
Referenser	16

Förord

Detta projekt har genomförts av SLB analys på uppdrag av Trafikverket och är ett av flera projekt som är relaterade till luften i tunnlarna i Förbifart Stockholm och andra tunnlar. Kontaktperson på Trafikverket har varit Marie Westin.

Från SLB analys har, förutom rapportförfattarna, även Lars Törnquist, Michael Norman, Boel Lövenheim, Peter Strömberg och Nina Svensson medverkat vid mätningar, fotografering, filmning och datapresentation.

Stockholm maj 2013,

Sanna Silvergren

SLB analys, Miljöförvaltningen Stockholm

Sammanfattning

Syftet med detta projekt har varit att kvantifiera koldioxidhalterna i fordonskupéer vid olika ventilationsinställningar. Resultaten ska ligga till grund för eventuella rekommendationer av ventilationsinställning vid körning genom tunnel och kan även användas som underlag för analyser av hälsoeffekter av exponering i tunnlar. Koldioxid kan i höga halter vara en säkerhetsrisk i och med att det skapar trötthet och irritation. Astma- och Allergiförbundet anger ett 15-minuters medelvärde på max 1500 ppm som en rekommendation till biltillverkare.

Detta projekt har genomförts på uppdrag av Trafikverket och bakgrunden till projektet återfinns i rapporten "Halter av partiklar och NO_x i fordon i relation till omgivningsluftens halter", SLB1:2013.

Mätningarna har framförallt omfattat halterna i och utanför fordon av koldioxid (CO₂). Halterna mättes inne eller utanför fordon vid färd. Två olika fordon har använts för studien: en Volvo V70 (tillverkad 2011) och en Hyundai Jazz (från 2012). Mätningarna i personbilarna genomfördes med ventilation (näst högsta fläktläget med ventilationsluft utifrån) och med re-cirkulation. I båda fallen användes luftkonditionering (AC). Dessa ventilationslägen antas representera typiska ytterligheter vid färd i tunnel vad gäller mängden koldioxid i fordonskupéerna.

Som jämförelse och ett nolläge som inte påverkas av passagerarnas utandningsluft mättes koldioxidhalten utanför Volvon på vägen samt inuti Södra länken. Mätningarna visade att halterna av CO₂ utanför Volvon var ca 400 ppm som lägst utanför tunneln och ca 500-1100 ppm inuti tunneln.

Halten CO₂ inuti fordonen varierar vid ventilation av kupéluft och var mellan 550 ppm och 1400 ppm på väg och inuti tunnlar. Mätningar i Volvon vid färd genom Södra länken visade att halten ökade i fordonet under tunnelfärden.

Vid re-cirkulation av kupéluft med fem passagerare i fordonet tar det ungefär 16 minuter att nå den maximala halten koldioxid som det använda instrumentet kan uppmäta, 6000 ppm. Sambandet mellan tiden som förflutet sedan re-cirkulation slagits på och koldioxidhalten är linjärt. Det är även proportionellt mot antalet passagerare. Ett empiriskt samband kan därför påvisa hur halten koldioxid varierar med ett hypotetiskt antal passagerare samt tid med re-cirkulationen påslagen. Med kännedom om ungefärlig utandningshastighet av koldioxid samt antagandet att fordonet är helt tätt kan ett högsta haltvärde anges efter en bestämd tid vid re-cirkulation av luft anges för vilket fordon som helst.

När re-cirkulation slås av tar ungefär 2-3 minuter för halten koldioxid att sjunka till den nivå som normalt fanns i fordonskupén vid ventilation.

En samtidig mätning av antalskoncentration partiklar ger en uppfattning om huruvida fordonet läcker in luft utifrån vid re-cirkulation samt hur stor grad koldioxidhalten utanför fordonet påverkar halten inuti vid ventilation påslagen. Koldioxidhalten i fordonet påverkas till mycket liten del av förhöjda utomhushalter men det läcker in en liten del utomhusluft i kupén vid re-cirkulation.

Utifrån mätningarna kan följande slutsatser dras vad gäller koldioxidhalter i fordonskupéer och hur de relaterar till halterna utanför fordonen:

- Halten koldioxid i fordonkupén ökar tydligt med tiden vid re-cirkulation av luften i kupén.
- Påverkan från koldioxidhalterna utanför fordonen under re-cirkulation av kupéluft är mycket liten jämfört med den inverkan som passagerarna har.
- Med ventilationen påslagen är koldioxidhalten inne i fordonen påverkad av luften utanför fordonet.
- Antalet passagerare har stor betydelse för halterna inne i fordonen, men även fordonsvolymen.
- Ett högsta haltvärde anges efter en bestämd tid vid re-cirkulation av luft kan enkelt skattas för vilket fordon som helst.

Inledning och syfte med studien

För många människor i storstäder utgör exponeringen i trafikmiljön en betydande del av den totala exponeringen för luftföroreningar (t ex Hänninen et al. 2004; Johansson & Eneroth, 2007; Johansson et al., 2008). Tunnlar för vägtrafiken kan minska den allmänna befolkningens exponering, men samtidigt måste halterna inne i tunnlarna kontrolleras så att trafikanterna inte utsätts för hälsovådliga nivåer. En viktig fråga är hur halterna i tunnelluften påverkar halterna inne i fordonskupéerna. En tidigare studie av SLB-analys har visat att fordon vid ventilation av kupéluften tar in 2-80 % av respektive luftföroreningstyp; dvs. kväveoxider, PM10, PM2.5, partikelantal, sot, från tunnelluften. Det är framförallt kväveoxider, partikelantal, samt sot som når in i fordonskupéerna medan PM10 och PM2.5 effektivt filtreras bort. Vid re-cirkulation av kupéluften når en mycket lite andel av samtliga luftföroreningarna in i fordonen. Exponeringen för luftföroreningar vid färd genom vägtunnlar skulle alltså kunna minskas med rätt ventilationsinställning (Johansson et al., 2013).

Ett potentiellt problem som uppkommer med re-cirkulation av kupéluften är dock att utandningsluften stängs inne i fordonen. Denna innehåller koldioxid som i höga halter kan vara en säkerhetsrisk i och med att det skapar trötthet och irritation (t ex Erdmann and Apte 2004; Federspiel et al. 2004; Milton et al. 2000; Seppanen et al. 1999; Shendell et al. 2004; Wargocki et al. 2000). Vid extremt höga halter kan koldioxidhalten få ännu allvarligare följor såsom andningssvårigheter och svimning (Lipsett et al. 1994).

Arbetsmiljöverket har föreskrifter med högsta tillåtna värden för CO₂ på en arbetsplats, AFS 2005:17. Nivågränsvärdet är 5000 ppm eller 0,5 volymsprocent under en arbetsdag och korttidsvärdet är 10000 ppm eller 1,0 %. Socialstyrelsen har fastställt 1000 ppm (0,1 %) som övre gräns för vad som anses vara en acceptabelt ventilerad byggnad i SOSFS 1999:25, Socialstyrelsens allmänna råd om tillsyn enligt miljöbalken – ventilation. Astma- och Allergiförbundet anger ett 15-minuters medelvärde på max 1500 ppm som en rekommendation till biltillverkare.

Det primära syftet med detta projekt har varit att kvantifiera koldioxidhalterna i fordonskupéer vid olika ventilationsinställningar. Resultaten ska ligga till grund för eventuella rekommendationer av ventilationsinställning vid körning genom tunnel och kan även användas som underlag för analyser av hälsoeffekter av exponering i tunnlars.

Genomförande

Mätningar av koldioxid (CO₂) genomfördes i två olika personbilar och utanför en av personbilarna vid färd genom tunnlar. Även antalet partiklar uppmättes vid ett tillfälle inuti fordonet då denna parameter indikerar om luften utanför fordonet läcker in vid recirkulation.

Mätningarna har genomförts av SLB analys vid Miljöförvaltningen i Stockholm.

Metoder

Instrument

De två instrumenten som användes för att ta fram data till denna rapport är listade i Tabell 1. Där ges även en kortfattad beskrivning av mätprinciperna för att mäta koldioxid och antalet fina partiklar.

Tabell 1. Mätinstrument som använts i studien och deras användningsprincip.

Mätparametrar	Instrument	Mätprincip
CO ₂	TSI Q-Trak	Icke-dispersiv infraröd (NDIR) metod, vilket innebär att infrarött ljus strålar mot en sensor. Luft som ska mätas pumpas mellan ljusflödet och sensorn. Koldioxiden absorberar ljus av en specifik våglängd. Skillnaden mellan emitterat ljus och ljusmängden som sensorn registrerar är proportionell mot CO ₂ -halten.
Antalet fina partiklar (>20 nm)	TSI P-TRAK Modell 8525	Optiskmetod där instrumentet använder en laserkälla för optisk detektion av partiklar. Iso-propanol kondenserar på partiklarna som samlats in i instrumentet. Partikelstorleken ökar därmed och då dessa droppar passerar en laserstråle sprider varje droppe ljus på en närliggande fotodiod. Signalerna räknas och visas i antal partiklar/cm ³ .

Fordon

Två olika fordon användes. Dessa är listade i Tabell 2. Det är två personbilar med olika tillverkare och tillverkningsår, en Volvo och en Hyundai. Volvon ingick i tidigare mätningar av luftföroreningar i rapporten "Halter av partiklar och NO_x i fordon i relation till omgivningsluftens halter - Underlag för skattning av trafikantexponering", vilket ger en möjlighet att enkelt sammanföra resultaten med dessa. Hyundaien valdes till eftersom den är av senaste årsmodell och antagligen bättre representerar framtidens fordonspark än de övriga personbilar som användes i den tidigare utredningen.

Tabell 2. De olika fordonen som användes i denna studie.

Bilmodell	Tillverkningsår
Volvo V70 kombi	2011
Hyundai Jazz personbil	2012

Mätmetodik

Insuget inuti fordonen placerades i andningshöjd, men inte alltför nära passagerarna, inuti fordonen (Figur 1). Ett par likartade körningar gjordes för att säkerställa reproducerbarheten i resultaten.

Generellt genomfördes mätningarna så att fordonet hade ventilationen påslagen vid start. Vid infarten till Södra länken slogs re-cirkulationen på. Flera varv kördes fram och tillbaka genom Södra länken i minst 16 minuter (en estimerad passage genom Förbifart Stockholm) sammanlagt, med re-cirkulationen påslagen även mellan tunnelpassager. Efteråt slogs ventilationen på igen och bilen kördes på öppen väg varvid avklingningen av koldioxidhalten kunde noteras.

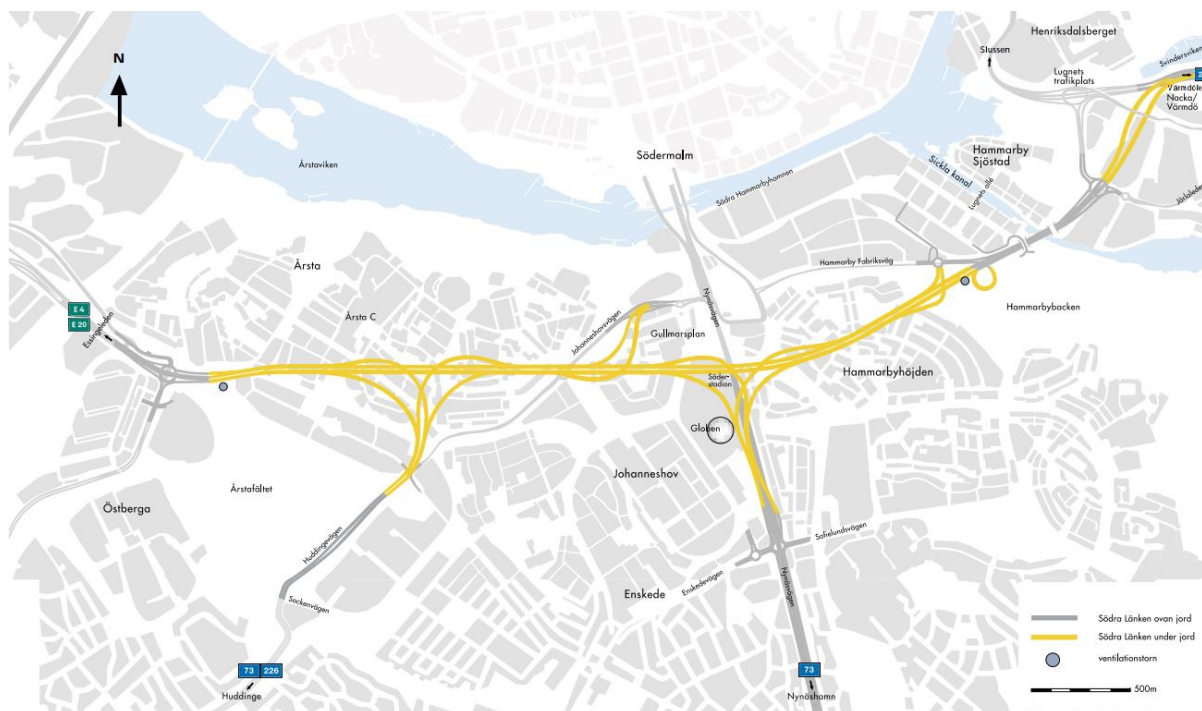
Mätningarna genomfördes med ventilationen påslagen i läget för ca 75 % av maximal fläkthastighet alternativt med re-cirkulation av kupélufte. Det antas inte så sannolikt att fordon framförs i en lång tunnel med maximal fläkthastighet påslagen. Två eller fem personer färdades i fordonen under mätningarna. Mätningar med Volvobilen genomfördes den 14:e maj 2013 och med Hyundaibilen den 17:e maj 2013.



Figur 1. Placering av instrumentinsug bakom högra framsätet i Volvo V70 (vid fem personer i fordonet).

Körsträckor

Tunnelmätningarna inuti och utanför de olika fordonen genomfördes i Södra Länken, som kan ses i Figur . Sträckan som kördes var mellan från mynningen i Årsta mot mynningen i Hammarby och i motsatt riktning. Mätningarna inkluderade även vägar i ytläge.



Figur 2. Södra Länkens sträckning. Gul linje representerar tunnel och grå linje går ovan jord.

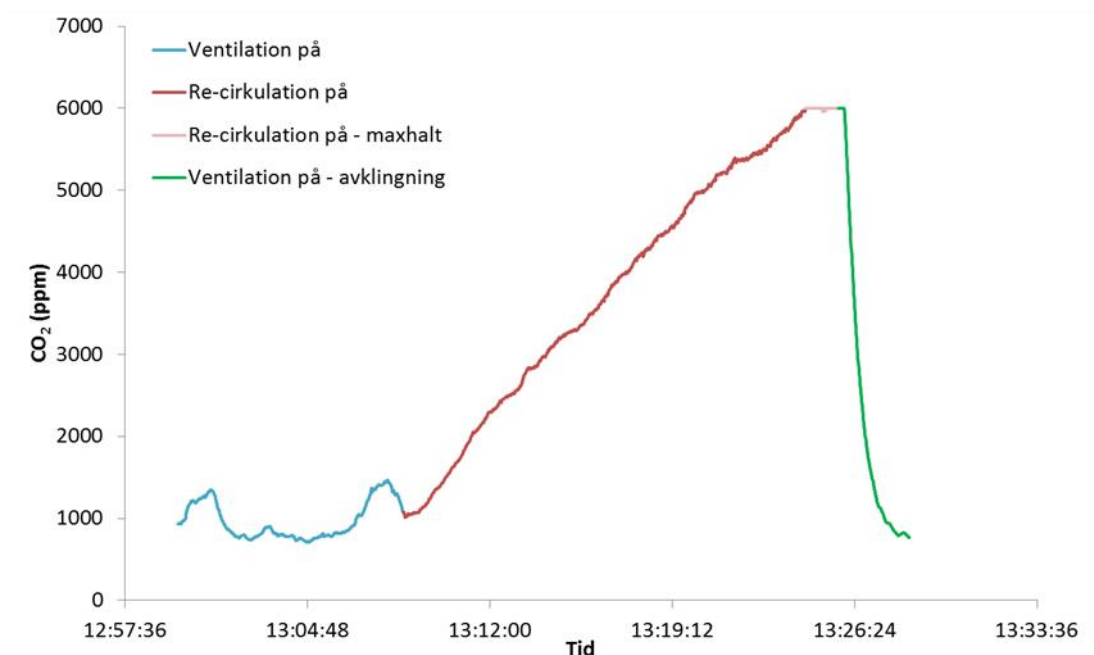
Databearbetning

Ett mätvärde har erhållits för varje sekund för båda instrumenten. Vid körningarna den 17:e maj var CO₂-instrumentet mer instabilt av okänd anledning. En mindre mängd data fick därför tas bort, vilket dock inte påverkade resultaten nämnvärt. Vid mätning utanför fordonet hölls instrumentinsugen ur genom fönstret vid ena baksätet. Det fanns indikationer på att stark vind påverkade mätningarna och hastigheten hölls därför så låg som möjligt. Detta bidrog dock till ett visst databortfall, vilket kan urskiljas i Figur 4 i form av ett glapp i tidsserien.

Resultat

Översiktligt mätresultat vid olika mätmoment

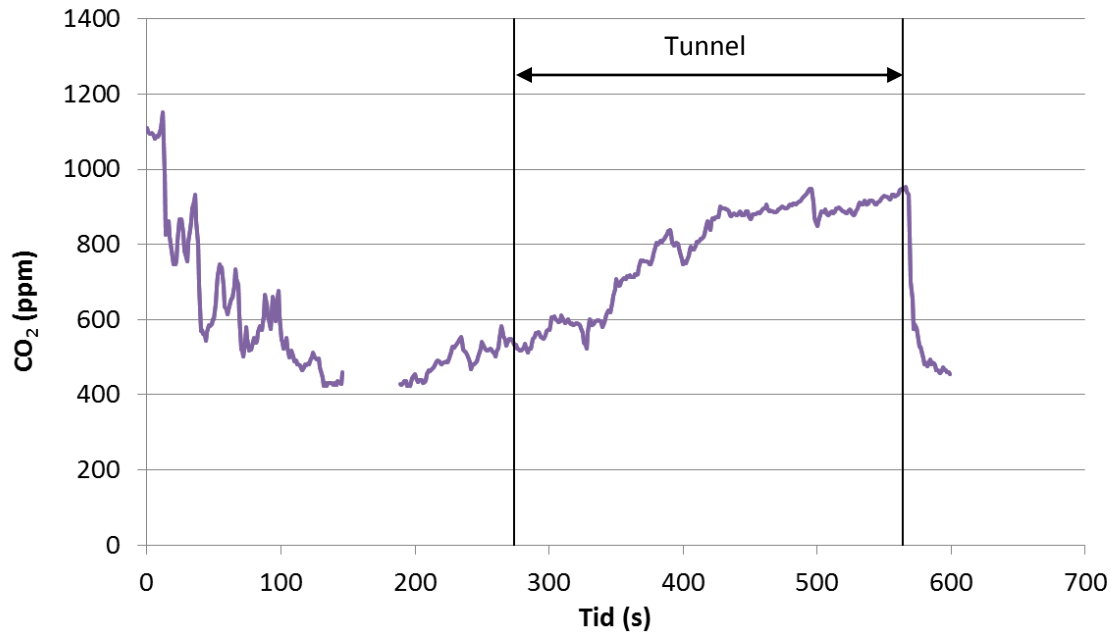
Halten CO₂ varierade under mätcykeln som beskrivs under avsnitt "Mätmetodik". Figur 3 visar ett typiskt exempel på hur halten varierade med tid och olika ventilationsinställningar. I följande avsnitt beskrivs mer ingående resultaten vid ventilationen påslagen, vid re-cirkulationen av kupéluft, avklingningen av koldioxidhalten då ventilationen slås på efter en tid av re-cirkulation samt även halterna utanför fordonet (visas ej i Figur 3).



Figur 3. Exempel på tidsvariation av CO₂-halten inuti Volvon med 5 passagerare med ventilation respektive re-cirkulation av kupéluft från den 17:e maj. Observera att maxhalten vid re-cirkulation beror på mätinstrumentet mätområde och ej visar faktiskt halt.

Halter utanför fordon

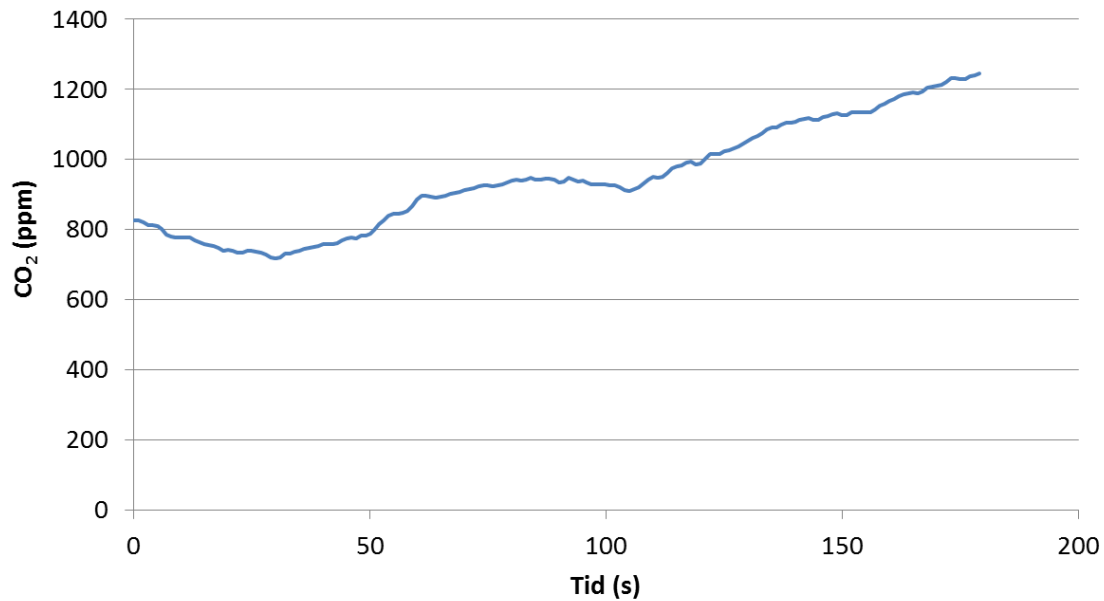
Som jämförelse och ett nolläge som inte påverkas av passagerarnas utandningsluft mättes koldioxidhalten utanför Volvon på vägen samt inuti Södra länken. Halten CO₂ på vägen varierar och var mellan 400 ppm och 1100 ppm på öppen väg och inuti tunnlar, vilket visas i Figur 4. Den initiala koncentration 1100 ppm antyder att instrumentet har en viss responstid då halterna var på samma nivå inuti fordonet före. 274-564 sekunder efter mätstart befann sig bilen i Södra länken. Halterna ökar längs färden genom tunneln och även en stund efteråt. Även här finns en antydning till fördröjning på ca 20 sekunder som antagligen beror på instrumentets respons. Detta torde vara troligt eftersom tillverkaren TSI specificerar en svarstid på 20 sekunder i manualen till instrumentet.



Figur 4. Koldioxidhalten utanför Volvon som funktion av tiden vid färd inne i och utanför tunnel vid ventilationen påslagen med fem personer i fordonet. Värden mellan 147-188 sekunder saknas på grund av mätfel.

Halter inuti fordon vid ventilation

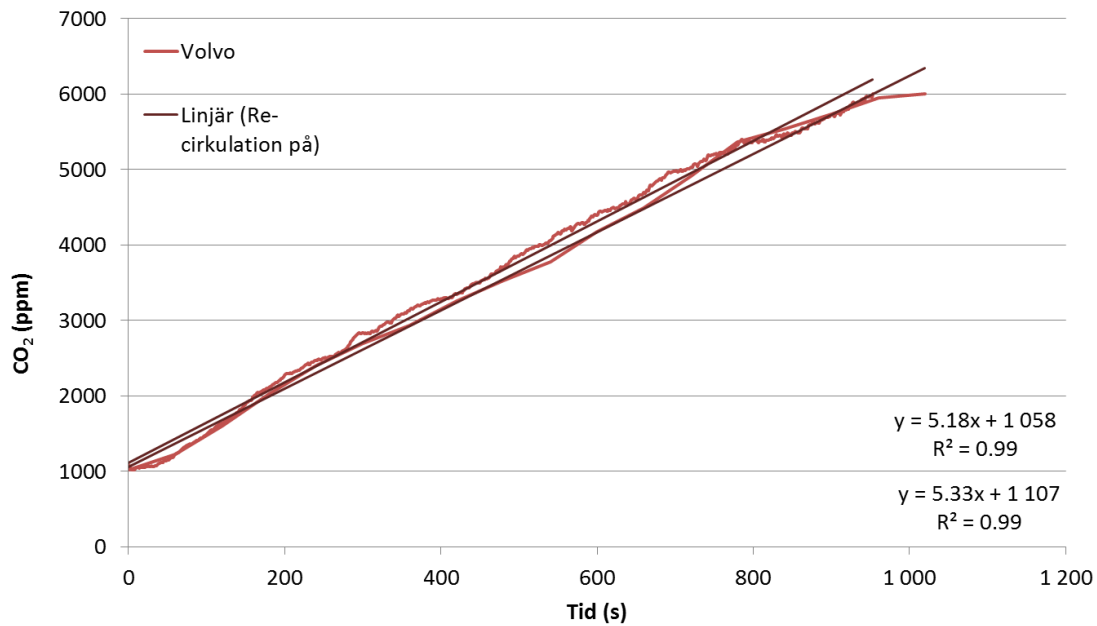
Halten CO₂ inuti fordonen varierar vid ventilation och var mellan 550 ppm och 1400 ppm på väg och inuti tunnlar. Mätningar i Volvon vid körning genom Södra länken visade att halten ökade i fordonet under tunnelfärden, vilket illustreras i Figur 5 Halten fortsatte även att öka i några sekunder efter tunnelutfart. Detta beror troligen på instruments responstid. Även utanför tunneln var halterna bitvis relativt höga inuti fordonen vilket till stor del beror på antalet passagerare. Även fläktstyrkan har sannolikt en effekt på halten i fordonet, detta har dock inte undersökts inom denna studie.



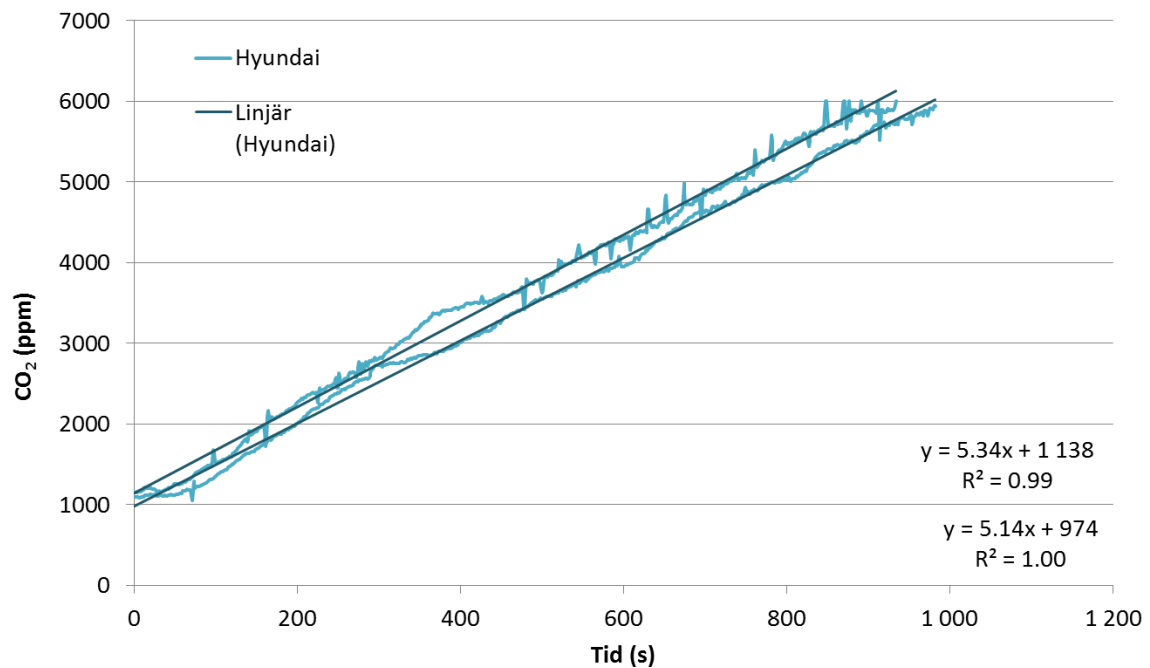
Figur 5. Koldioxidhalten inuti Volvon som funktion av tiden vid färd genom tunnel vid ventilationen påslagen med fem personer i fordonet.

Halter inuti fordon vid re-cirkulation

Figur 6 och 7 visar hur halten koldioxid ökar med tiden efter att re-cirkulation av luften slagits på med fem passagerare i Volvon respektive Hyundaien. Det tar ungefär 16 minuter att nå den maximala halten som instrumentet kan uppmäta, 6000 ppm. För samtliga fall har linjära regressions samband mellan tiden och halten i fordonen beräknats vilket även presenteras nedan för varje fordon i figurerna. Att halten koldioxid ökar klart linjärt med tiden påvisas med R^2 -värden som är mycket nära 1. Skärningen i y-axel representerar initialkoncentration som fanns i bilen vid påslagning av re-cirkulation.



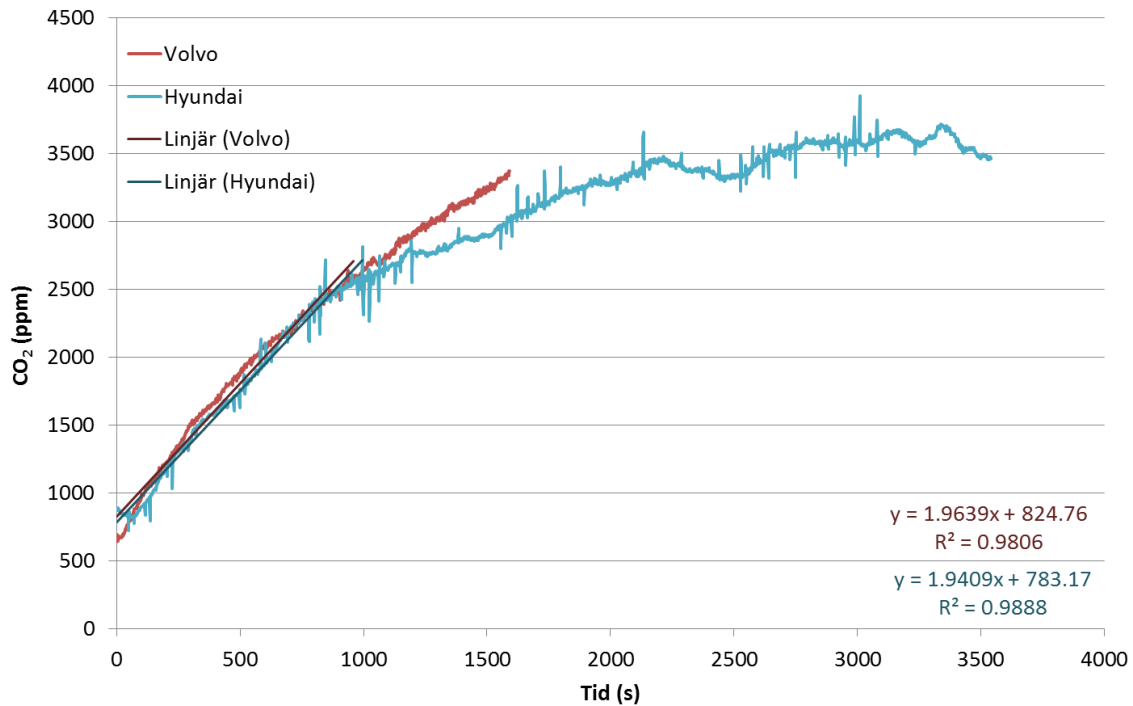
Figur 6. Koldioxidhalten inuti Volvon som funktion av tiden med re-cirkulation påslagen med fem personer i fordonet.



Figur 7. Koldioxidhalten inuti Hyundaien som funktion av tiden med re-cirkulation påslagen med fem personer i fordonet.

Vid två passagerare i fordonen var ökningen av koldioxidhalten inte lika snabb, vilket kan förväntas då färre personer bidrar till haltökningen. I Figur 8 visar hur halten koldioxid ökar med tiden efter att re-cirkulation av luften slagits på med två passagerare

i Volvon respektive Hyundaien. Denna var inte helt linjär vilket antyder att ett visst läckage av luft utanför fordonet sker. För båda fallen har linjära regressions samband mellan tiden och halten i fordonen beräknats för de första 16 minuterna vilket även presenteras nedan för varje fordon i figuren. Att halten koldioxid ökar linjärt med tiden de första 16 minuterna påvisas med R^2 -värden som är nära 1. Skärningen i y-axel representerar initialkoncentration som fanns i bilen vid påslagning av re-cirkulation. Denna är något lägre än vid fem passagerare i fordonen.



Figur 8. Koldioxidhalten inuti Hyundaien samt Volvon som funktion av tiden med re-cirkulation påslagen med två personer i fordonet.

Ett samband mellan koldioxidhalten och tiden som gått sedan re-cirkulation slagits på kan enkelt härledas utifrån de linjära regressionerna.

$$CO_2(t) = CO_{2,0} + K \times t \times P,$$

Där CO_2 är den tidsberoende halten koldioxid som erhålls i fordonskupén efter en tid angiven i enheten ppm, Där $CO_{2,0}$ är den initiala halten koldioxid som finns i fordonskupén då re-cirkulation slås på angiven i ppm, t är tiden efter re-cirkulation slagits på angiven i sekunder, P är antalet passagerare i fordonet och K är en variabel som varierar med bilens volym och täthet.

För både Hyundaien och Volvon kan K härledas till 1.0 i snitt. Det vill säga:

$$CO_2(t, V) = CO_{2,0} + 1 \times t \times P$$

K skiljer sig mycket lite mellan två och fem passagerare (0.98 respektive 1.06). Det är möjligt att estimerar hur höga halterna blir efter 16 minuters re-cirkulation av

kupélufte för ett valt antal passagerare om ett antagande görs om initialkoncentrationen. Denna antas bero på antal passagerare och ökar linjärt. För fem passagerare går skärningen i y-axeln (CO_{2,0}) i snitt genom 1056 ppm och för två passagerare 804 ppm. Med hjälp av det sambandet fås:

$$\text{CO}_{2,0} = 84 \times P + 636$$

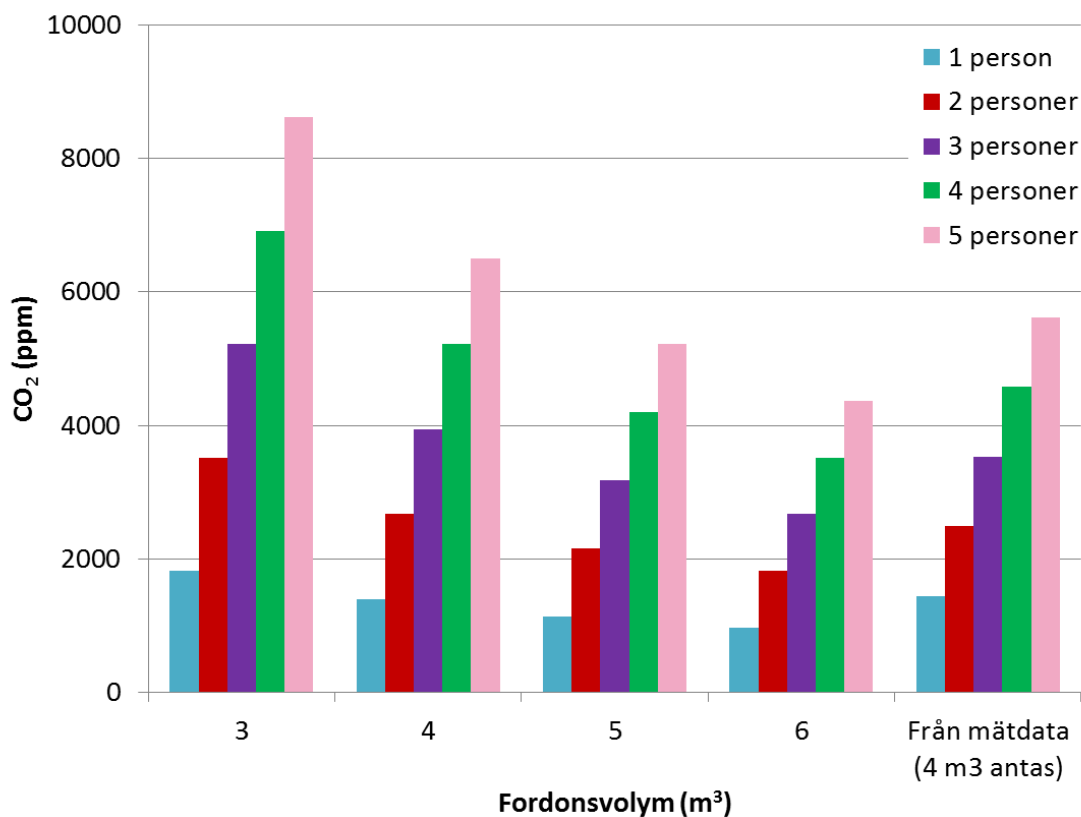
Det innebär att med noll passagerare så skulle koldioxidkoncentrationen vara 636 ppm. I ren utomhusluft är koldioxidhalten cirka 400 ppm. Fordonens utsläpp skulle kunna ge högre halter lokalt, vilket mätningar utanför fordonen kan indikera, se avsnitt "Halter utanför fordon".

Med hjälp av dessa samband får vi uppskattade halter efter en tänkt färd genom Förbifart Stockholm i liknande fordon som de använda i denna studie. Dessa listas i Tabell 3 nedan.

Tabell 3. Uppskattade halter koldioxid efter 16 minuters bilfärd med re-cirkulation påslagen för olika antal passagerare baserat på empiriska samband.

Antal passagerare	CO ₂ [ppm]	CO ₂ [g/m ³]
1	1680	3.1
2	2724	5.0
3	3768	6.9
4	4812	8.8
5	5856	10.7

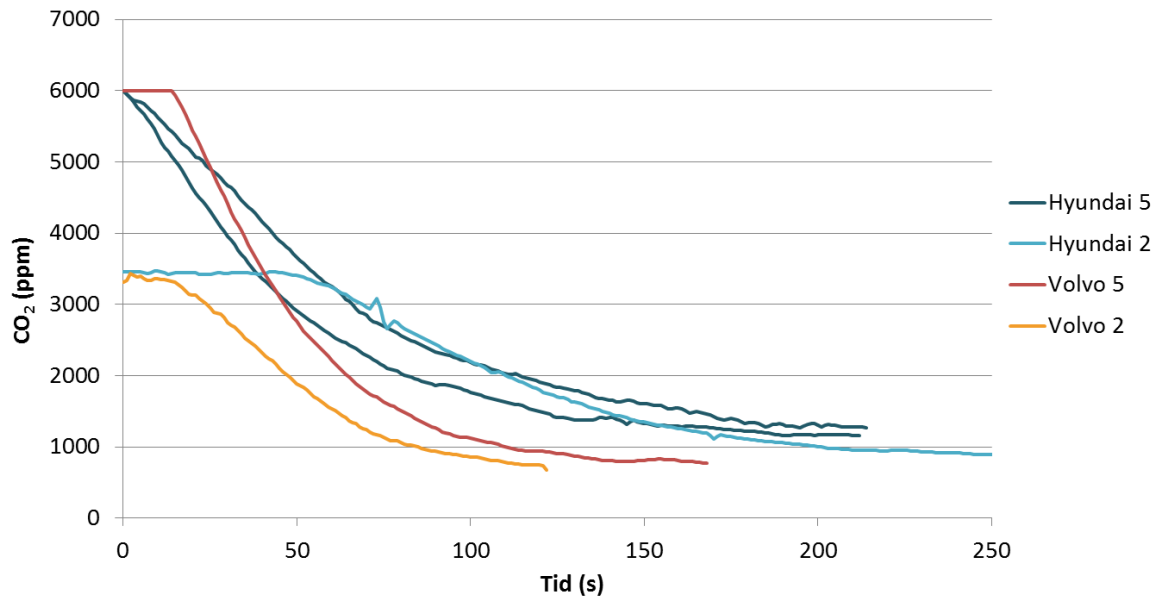
Mängden koldioxid som en människa andas ut under lätt, stillasittande arbete har uppskattats till 35 g/h (Gładyszewska-Fiedoruk, 2011). Med hjälp av den vetenskapen kan ett högsta haltvärde anges efter en bestämd tid vid re-cirkulation av luft för vilket fordon som helst. I figur 9 visas koldioxidhalten i ett hypotetiskt fordon efter 16 minuters re-cirkulation som funktion av antal passagerare och fordonsvolym. Flera antaganden görs, dels antas starthalten vara 400 ppm, vilket är bakgrundshalten i utomhusluft. Fordonen antas vara helt täta, det vill säga, ingen utandad koldioxid läcker ut ur fordonet under de 16 minuterna. I figuren ingår även en jämförelse med halter uppskattade med härledda sambandet mellan koldioxidhalten och tid efter re-cirkulation från mätdata i Volvon och Hyundaien. Jämförelsen visar god överensstämmelse mellan de hypotetiska halterna från fysiologiska mätningar och empiriskt härledda halter från fordonsmätningar.



Figur 9. Koldioxidhalt efter 16 minuter inuti hypotetiska fordon med re-cirkulation (inget luftutbyte med omgivande luft utanför fordon), som funktion av volym för olika antal personer i fordonet. Startkoncentration antas vara 400 ppm (min). En person antas andas ut 35 g CO₂/timme. Motsvarande data för Volvon och Hyundaien (ger samma värde) med antagande om 4 m³ kupévolym presenteras som jämförelse.

Avklingning av halter

Efter en ponerad tunnelfärd slås troligen ventilationen på igen och det kan vara intressant att veta hur snabbt koldioxidhalten avklingar. Enligt Figur 10 tar det cirka 2-3 minuter för halterna att sjunka till grundnivån vid ventilation. För Hyundaien tog det något längre tid än för Volvon.

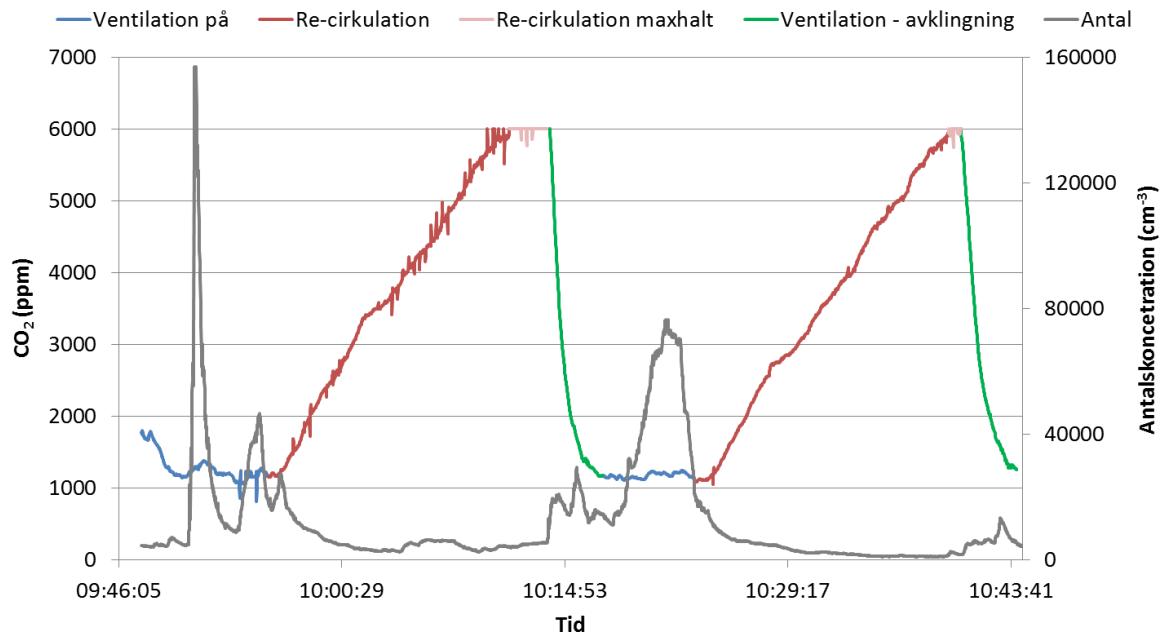


Figur 10. Koldioxidhalten inuti Hyundaien samt Volvon som funktion av tiden efter att ventilationen slås på efter en tid av re-cirkulation av kupélufte med två eller fem passagerare.

Antalskoncentrationen inuti fordon

Samtidig mätning av antalskoncentration partiklar kan ge en uppfattning om huruvida fordonet läcker in luft utifrån vid re-cirkulation samt hur stor grad koldioxidhalten utanför fordonet påverkar halten inuti vid ventilation på slagen. Den tidigare tunnelstudien (Johansson et al., 2013) har visat att ungefär 50 % av antalskoncentrationen når in i personbilar vid ventilationen påslagen samt att kupéhalten korrelerar mycket väl med utomhushalten. Figur 11 visar antalet partiklar samt koldioxidhalten vid två mätcykler. Observera att maxhalten vid re-cirkulation beror på att mätinstrumentets mätområde bara går till 6000 ppm.

Det kan ur Figur 11 utläsas att koldioxidhalten i fordonet till mycket liten del påverkas av förhöjda utomhushalten samt att det till liten del läcker in utomhusluft i kupén vid re-cirkulation vid första mätcykeln. Det omvända förhållandet på haltförändringen av koldioxid och antalet partiklar ses tydligt då ventilationen slås på efter en tid av re-cirkulation. Luften blir renare med avseende på koldioxid medan antalet partiklar ökar.



Figur 11. Koldioxidhalten samt antalskoncentration inuti Hyundaien som funktion av tiden med olika ventilationsinställningar och fem personer i fordonet. Notera de olika y-axlarna. Koldioxidinstrumentets maximala halt är 6000 ppm.

Slutsatser

Utifrån mätningarna i Södra länken tunneln, kan följande slutsatser dras vad gäller koldioxidhalter i fordonskupéer och hur de relaterar till halterna utanför fordonen:

- Halten koldioxid i fordonkupén ökar tydligt med tiden vid re-cirkulation av luften i kupén.
- Påverkan från koldioxidhalterna utanför fordonen under re-cirkulation av kupéluft är mycket liten jämfört med den inverkan som passagerarna har.
- Med ventilationen påslagen är koldioxidhalten inne i fordonen påverkad av luften utanför fordonet.
- Antalet passagerare har stor betydelse för halterna inne i fordonen, men även fordonsvolymen.
- Ett högsta haltvärde anges efter en bestämd tid vid re-cirkulation av luft kan enkelt skattas för vilket fordon som helst.

Referenser

Erdmann CA, Apte MG., Mucous membrane and lower respiratory building related symptoms in relation to indoor carbon dioxide concentrations in the 100-building BASE Dataset, *Indoor Air* 14, 127–134, 2004.

Federspiel CC, Fisk WJ, Price PN, Liu G, Faulkner D, Dibartolomeo DL, et al., Worker performance and ventilation in a call center: analyses of work performance, *Indoor Air* 14, 41-50, 2004.

Gladyszewska-Fiedoruk, K., Concentrations of carbon dioxide in the cabin of a small passenger car, *Transportation Research D16*, 327–331, 2011.

Hänninen, O., Alm, S., Katsouyanni, K., Künzli, N., Maroni, M., Nieuwenhuijsen, M.J., Saarela, K. Srám, R.J., Zmirou, D., Jantunen, M.J. The EXPOLIS study: implications for exposure research and environmental policy in Europe. *Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology* (impact factor: 2.72), 14(6):440-56, DOI:10.1038/sj.jea.7500342, 2004.

Johansson, C., Eneroth, K., TESS - Traffic Emissions, Socioeconomic valuation and Socioeconomic measures. PART 1. Emissions and exposure of particles and NO_x. Luftvårdsförbundet I Stockholms Uppsala län, 2007:2. SLB-rapport. Miljöförvaltningen, Stockholm, 2007, http://www.slb.nu/slb/rapporter/pdf/lvf2007_2.pdf.

Johansson, C., Andersson, C., Bergström, R., Krecl, P., Exposure to particles due to local and non-local sources in Stockholm - Estimates based on modelling and measurements 1997 – 2006, ITM, SU report No:ITM report 175, 2008.

Johansson, C., Silvergren, S., Norman M., Sjövall, S., Halter av partiklar och NO_x i fordon i relation till omgivningsluftens halter”, 1:2013, SLB-rapport, 2013.

Lipsett, M.J., Shusterman, D.J., Beard, R.R., Inorganic compounds of carbon, nitrogen, and oxygen. In: *Patty's Industrial Hygiene and Toxicology* (Clayton GD, Clayton FD, eds). New York:John Wiley & Sons, 4523–4554, 1994.

Milton, D.K., Glencross, P.M., Walter, M.D., Risk of sick leave associated with outdoor air supply rate, humidification, and occupant complaints. *Indoor Air* 10(4):212–22, 2000.

Seppanen, O., Fisk, W.J., Mendell, M.J., Association of ventilation rates and CO₂ concentrations with health and other responses in commercial and institutional buildings. *Indoor Air* 9(4):226–252, 1999.

Shendell, D.G., Prill, R., Fisk, W.J., Apte, M.G., Blake, D., Faulkner, D., Associations between classroom CO₂ concentrations and student attendance in Washington and Idaho. *Indoor Air* 14(5):333–341, 2004.

Wargocki, P., Wyon, D.P., Sundell, J., Clausen, G., Fanger, P.O., The effects of outdoor air supply rate in an office on perceived air quality, sick building syndrome (SBS) symptoms and productivity. *Indoor Air* 10(4):222–236, 2000.



SLB analys is a department of the Environment and Health Administration. We inform about current and future air quality and make

- environmental & health assessments in urban planning
- air quality and noise measurements
- air quality dispersion calculations for evaluation of source contributions and population exposures

SLB analys is the operator of the Stockholm & Uppsala Air Quality Management Association (www.slb.nu/elvf)

ISSN 1400-0806

SLB-analys

Environment and Health administration, Stockholm

Tekniska nämndhuset, Fleminggatan 4. Box 8136, 104 20 Stockholm

Tel +46 8-508 28 800, dir. SLB-analys +46 8-508 28 880

URL: <http://www.slb.nu>