

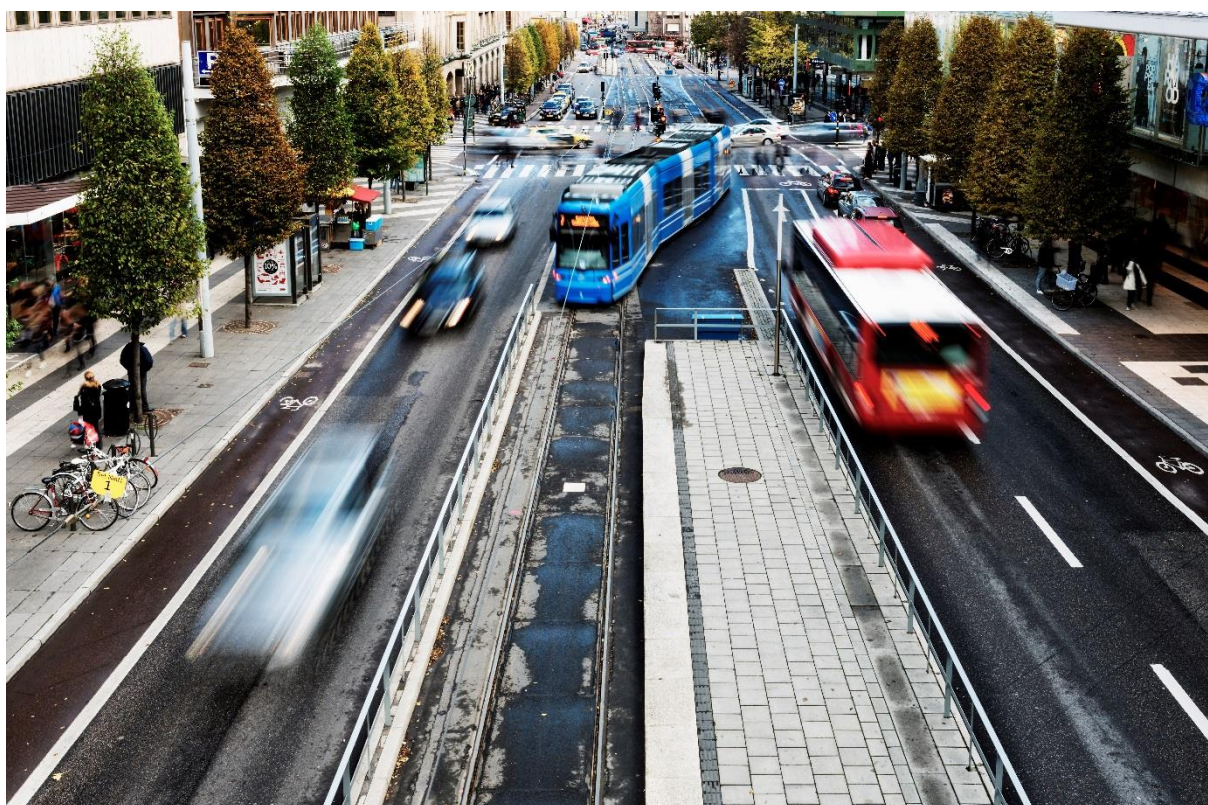
Fossilfri fordonsflotta i Stockholm – betydelse för luftkvalitet och hälsa

Jennie Hurkmans¹, Christer Johansson^{1,2}, Bertil Forsberg³ och Lars Burman¹

¹SLB-analys, Miljöförvaltningen, Stockholm

²Institutionen för miljövetenskap och analytisk kemi (ACES), Stockholms universitet, Stockholm

³Yrkes- och miljömedicin, Institutionen för folkhälsa och klinisk medicin, Umeå universitet, Umeå



Förord

Forskningsprojektet Fossilfri Fordonsflotta i Stockholm - betydelse för luftkvalitet och hälsa, har delvis finansierats genom forskningsanslag ur Landstingets Miljöanslag vid Stockholms läns landsting.

Projektet indelas i tre delar; utsläppsberäkningar, spridnings- och exponeringsberäkningar samt hälso- och hälsorelaterade samhällsekonomiska beräkningar. Syftet är att utreda hur utsläppen och halterna av partiklar och kväveoxider påverkas beroende på bränslemixen i en framtida fossilfri fordonsflotta. I projektet ingår också att kvantifiera effekterna på befolkningens hälsa av den förändrade exponeringen samt att beräkna de samhällsekonomiska konsekvenserna av detta.

Projektets mål är att i sin helhet bidra till regeringens propositioner Mål för framtidens resor och transporter (prop. 2008/09:93) samt En sammanhållen klimat- och energipolitik - Klimat (prop. 2008/09:162) där det fastslås att Sverige år 2030 bör ha en fordonsflotta som är oberoende av fossila bränslen samt att transportsektorn ska bidra till att övriga miljö kvalitetsmål nås och till minskad ohälsa. Målsättningen är också att projektet ska bidra till att starta och stimulera diskussioner om hur den framtida fordonsflottan bör se ut så att största möjliga hälso- och samhällsnytta erhålls.

Viktiga synpunkter gällande fordonsflottans utveckling och framtida sammansättning har erhållits från Karolina Ekman, Jonas Ericson och Eva Sunnerstedt vid Miljöbilar, Miljöförvaltningen, Stockholms stad samt Martin Juneholm, Håkan Johansson, Magnus Lindgren och Peter Smeds vid Trafikverket.

För fördjupning gällande emissionsfaktorer för framför allt gasbussar har underlag och synpunkter erhållits från Thomas Åkerblom, Krister Thulin och Johan Améen vid Scania tillsammans med Tula Ekengren, regionutvecklare biogas vid Västra Götalandsregionens miljöavdelning. Mohammad-Reza Yahya vid IVL har bidragit med underlag till beräkningarna av emissionsfaktorer.

Värdefulla kommentarer och synpunkter har dessutom erhållits från Gunnar Söderholm, förvaltningschef Miljöförvaltningen, Stockholms stad.

Uppdragsnummer:	2017056
Daterad:	2017-06-16
Handläggare:	Jennie Hurkmans
Status:	Granskad



Innehållsförteckning

FÖRORD	2
INNEHÅLLSFÖRTECKNING.....	3
SAMMANFATTNING	1
OM PROJEKTET	3
BAKGRUND.....	3
SYFTE OCH MÅL	5
FORDON OCH DRIVMEDEL	6
TRADITIONELLA OCH FÖRNYBARA DRIVMEDEL	6
<i>Bensin och diesel</i>	<i>6</i>
<i>Fordonsgas</i>	<i>6</i>
<i>Etanol</i>	<i>7</i>
<i>Metanol</i>	<i>8</i>
<i>Biodiesel (FAME och HVO)</i>	<i>8</i>
<i>Elektricitet</i>	<i>9</i>
METODER FÖR BERÄKNING AV VÄGTRAFIKENS UTSLÄPP	10
MÄTNINGAR	10
HBEFA	11
FORDONSFLOTTANS UTVECKLING FRAM TILL IDAG.....	12
STOCKHOLMS LÄN.....	13
STYRMEDEL OCH ÅTGÄRDER FÖR FOSSILFRIHET	16
NATIONELLT ARBETE MOT FOSSILFRI FORDONSFLOTTA	16
UTSLÄPPSKRAV FÖR NO _x OCH AVGASPARTIKLAR	17
FRAMTIDEN.....	19
PROGNOS AV FORDONSFLOTTANS UTVECKLING	19
<i>Trafikverkets basprognos</i>	<i>19</i>
<i>Trafikverkets klimatscenario</i>	<i>19</i>
<i>Biodrivmedel och elektrifiering.....</i>	<i>20</i>
HÄLSA OCH SAMHÄLLSEKONOMI.....	23
HÄLSOEFFEKTER AV LUFTFÖRORENINGAR.....	23
HÄLSOKONSEKVENSBEDÖMNINGAR	26
SAMHÄLLSEKONOMISK KOSTNAD TILL FÖLJD AV HÄLSOEFFEKTER.....	27
METOD.....	28
BERÄKNINGSOMRÅDE	28
BERÄKNINGSUNDERLAG	29
<i>Emissionsdatabas</i>	<i>29</i>
OLIKA SCENARION FÖR FORDONSFLOTTAN ÅR 2035	29
Fossil fordonsflotta år 2035 (BAU 2035)	29
Fossilfri fordonsflotta år 2035 (FFF 2035)	31
FFF 2035 biodiesel och el	32
FFF 2035 biodiesel, el och biogas.....	33

FFF 2035 biodiesel och biogas.....	33
FFF 2035 el och biogas	34
FFF 2035 expert.....	34
Val av emissionsfaktorer för fossilfria drivmedel år 2035.....	35
HALTER OCH EXPONERINGSBERÄKNINGAR	36
<i>Populationsviktade exponeringshalter</i>	37
HÄLSOBERÄKNINGAR	37
<i>Val av exponering-responssamband</i>	38
SAMHÄLLSEKONOMISK BERÄKNING.....	38
OSÄKERHETER	39
<i>Antaganden för BAU och FFF år 2035</i>	40
<i>Osäkerheter för spridningsberäkningar</i>	42
<i>Verkliga utsläpp av NOx jämfört med laboratoriemätningar</i>	42
RESULTAT	43
EXPONERING AV TRAFIKAVGASER	43
HÄLSOPÅVERKAN.....	46
JÄMFÖRELSE MED TIDIGARE STUDIER	48
SAMHÄLLSEKONOMISK VÄRDERING	50
DISKUSSION	52
FRAMTIDENS FORDON OCH BRÄNSLEN.....	52
UTSLÄPPEN FRÅN FRAMTIDENS FORDONSFLOTTA	53
HÄLSOEFFEKTER	54
SLUTSATSER	56
REFERENSER	58
APPENDIX OCH BILAGOR.....	63

Sammanfattning

Regeringen har satt upp som mål att Sverige år 2030 ska ha en fossiloberoende fordonsflotta och senast år 2045 är målet att transportsektorn ska vara helt klimatneutral. För att lyckas med denna omställning kommer det krävas en ökad elektrifiering av vägtransporterna, övergång till hållbara förnybara drivmedel och ökad fordonseffektivisering. För att klara målen som eftersträvas krävs åtgärdsplaner samt beslut på regeringsnivå som positivt främjar fossilfria bränslen i konkurrensen med de idag traditionella fossila bränslena bensin och diesel. Med ”rätt” fordons- och bränslemix leder dessa åtgärder både till minskade utsläpp av klimatgaser och förbättrad luftkvalitet, vilket ger både hälso- och samhällsekonomiska vinster. Trots de väl uttalade målen finns det få studier som belyst vad en helt fossilfri fordonsflotta skulle innebära sett ur ett hälsoperspektiv vad gäller exponering av luftföroreningar, dess hälsopåverkan och de förändrade samhällsekonomiska kostnader som följer av detta.

Luftföroreningar är, trots enorma förbättringar de senaste decennierna, ett viktigt folkhälsoproblem och kan ge upphov till en rad olika typer av effekter på människors hälsa, allt från att starta sjukdomsprocesser som leder till kroniska sjukdomar hos från början helt friska personer, till att snabbt försämra tillståndet hos redan sjuka personer. Stort fokus har sedan länge legat på koldioxidreducering medan andra avgassubstanser inte har prioriterats. Trots detta har vi länge haft en kvävedioxidnorm (NO_2) till skydd för människors hälsa som inte klarats och man vet att trafikens utsläpp står för en mycket stor del av bidraget till halten NO_2 i omgivningsluften. Exponering för höga NO_2 -halter ger ökade problem för astmatiker och tycks kunna ge upphov till ökad risk att utveckla sjukdomar i andningsorganen, t.ex. astma och kronisk obstruktiv lungsjukdom (KOL). Även samband mellan exponering av NO_2 och ökad dödlighet har konstaterats av flertalet studier. Ökade antal astmaanfall och försämringar i KOL, såväl som hjärtsvikt, hjärtarytmier och hjärtinfarkt har visat sig förknippade med ökade nivåer av partiklar. Senare tids forskning har visat att även låga halter av luftföroreningar kräver åtgärder för att minska luftvägs- och hjärtkärlsjukdomar.

I denna studie har fokus legat på kombinationen av olika fossilfria drivmedel istället för att enbart titta på ett bränsle. Utifrån detta har vi försökt att hitta den mest optimala bränslemixen för att uppnå både klimat- och hälsovinster vid övergången till en fossilfri fordonsflotta. Ett referensscenario (BAU med gällande Euro-krav) för 2035 jämförs med olika scenarion (där bränslemixen skiljer sig) för en fossilfri fordonsflotta vid samma tidpunkt (FFF), inriktat på kväveoxider (NO_x) samt förbränningspartiklar (PM_{avgas}) i Stockholms län. Projektet indelas i tre delar; utsläppsberäkningar, spridnings- och exponeringsberäkningar samt hälso- och samhällsekonomiska konsekvenser. Utsläppsberäkningar analyserar skillnaderna i utsläpp från BAU (Business as usual) jämfört med ett antal fossilfria fordonsflottor (baserat på skillnader i emissionsfaktorer mellan de olika bränslealternativen) när samma trafikvolym antas, men annan fordonsfördelning. Med spridnings- och exponeringsberäkningar beräknas bidraget till de totala halterna i omgivningsluften samt till befolkningsexponeringen. Slutligen görs en beräkning av hur dödligheten påverkas (mellan BAU och FFF), där skillnaden i befolkningsexponering används tillsammans med hälsoriskerna för exponering av NO_x och partiklar. Detta omsätts till uppskattade marknadspriser för beräkning av hälsorelaterade samhällsekonomiska kostnader. För beräkningarna utnyttjas mätningar, emissionsdata och spridningsmodeller.

Halterna av förbränningspartiklar kommer vid en övergång till en fossilfri fordonsflotta att minska oavsett flottans sammansättning. Minskningen fann vi vara mellan 41-62 % där ett s.k. expertscenario var mest gynnsamt. Expertscenariot innebär en fordonsflotta för år 2035 sammansatt i samråd med experter vid Miljöbilar, Miljöförvaltningen, Stockholms stad samt Trafikverket. Detta skulle leda till

positiva hälsoeffekter och minskade samhällsekonomiska kostnader för den fossilfria fordonsflottan jämfört med referensscenariot BAU år 2035 i Stockholms län. Även NO_x kommer att minska med 33-47 % vid övergången till en fossilfri fordonsflotta för de scenarion där biodiesel inte utgör en allt för stor del av den totala flottan. Ett el- och biogasscenario var i detta fall mest gynnsamt. Om biodiesel får en utmärkande roll kan de önskvärda hälsoeffekterna med fossilfrihet bli marginella och i vissa fall till och med leda till sämre luftkvalitet (ökade halter av NO_x med 5-13 %). Med NO_x som indikator för luftföroreningars påverkan på dödlighet fann vi att ett el- och biogasscenario resulterade i 4,5 färre förtida dödsfall per år jämfört med BAU år 2035, medan biodiesel- och gasscenariot resulterade i 1,2 fler förtida dödsfall per år. Motsvarande siffror för avgaspartiklar var 1 till 1,5 färre förtida dödsfall per år beroende på valt scenario. Den största hälsovinsten erhöles dock mellan BAU år 2015 och BAU år 2035 (med oförändrat totalt trafikarbete), med 49 (NO_x) respektive 10 (avgaspartiklar) färre förtida dödsfall per år för BAU år 2035, vilket visar på den hälsovinst som förväntas enbart genom teknikutveckling, styrmedel och hårdare utsläppskrav, d.v.s. utan övergång till en helt fossilfri fordonsflotta. Resultaten visar dock på den viktiga slutsatsen att det finns utrymme kvar för ytterligare sänkta halter vid en övergång till fossilfria bränslealternativ och därigenom ytterligare hälsovinster. I denna studie har enbart mortalitet (förtida död) beräknats, vilket står för majoriteten av den hälsopåverkan som följer av luftföroreningar. Även morbiditet (sjuklighet) kan beräknas men bidrar marginellt till de totala hälsoeffekterna. Förbättrad luftkvalitet med minskade halter av luftföroreningar kommer förutom att minska förtida död och sjuklighet även innebära en stor förbättring för de som redan lider av olika luftvägssjukdomar såsom astma och KOL, vilket är en viktig humanitär samhällsvinst.

Med NO_x som indikator uppskattas den ekonomiska samhällsnyttan, utgående från värdering av förtida dödsfall, för ett el- och biogasscenario jämfört med BAU år 2035 att uppgå till drygt 20 miljoner kronor per år. Dock skulle ett biodiesel- och gasscenario kunna ge en ökad samhällsekonomisk kostnad på drygt 6 miljoner kronor per år. Jämfört med BAU år 2015 ger alla fossilfria scenarion, samt BAU år 2035, en årlig minskad samhällsekonomisk kostnad på mellan 260 och 300 miljoner kronor. Motsvarande siffror för avgaspartiklar som indikator är mellan 5 och 8 miljoner kronor per år för de fossilfria scenariona jämfört med BAU år 2035 och mellan 50 och 70 miljoner kronor per år jämfört med BAU 2015.

Projektet kan konstatera att bränslemixen har relativt stor påverkan på halterna av avgaspartiklar och kväveoxider men att det framför allt är teknikutveckling och styrmedel som leder till den största effekten på halterna och därmed hälsoeffekterna. En mycket viktig och avgörande faktor för haltminskningen och hälsoutfallet är andelen elfordon och hur snabbt dessa kommer växa på marknaden.

Vidare behövs mer forskning kring vilka exponerings-responssamband som ska användas vid hälsokonsekvensbedömningar. Eftersom fordonsflottan snabbt bytt karaktär från majoriteten bensinfordon till att idag bestå av huvudsakligen dieselfordon kan inte samma samband antas gälla mellan avgasutsläpp och de ämnen som idag används som indikatorer för hälsorelaterade effekter orsakade av luftföroreningar från trafiken. Äldre hälsokonsekvensbedömningar använder andra relativa risker för exponering för trafikens utsläpp än de nyare forskningsresultat som denna studie använder som underlag för hälsoberäkningar. Det finns alltså motiv för fortsatt forskning och analys av vilken betydelse och effekt som skall tillskrivas olika komponenter.



Om projektet

Bakgrund

Regeringens propositioner Mål för framtidens resor och transporter (prop. 2008/09:93) (Regeringskansliet, 2008a) samt En sammanhållen klimat- och energipolitik - Klimat (prop. 2008/09:162) (Regeringskansliet, 2008b) har satt upp som mål att Sverige år 2030 ska ha en fossiloberoende fordonsflotta samt att transportsektorn ska bidra till att övriga miljö kvalitetsmål nås och till minskad ohälsa. Enligt det transportpolitiska hänsynsmålet ska transportsektorn bidra till det nationella miljömålet begränsad klimatpåverkan och mer specifikt bidra till att målet nås genom en stegvis ökad energieffektivitet i transportsystemet och ett brutet beroende av fossila bränslen. Stockholm har som mål att vara en fossilbränslefri stad år 2040 (Stockholms stad, 2016).

År 2045 är visionen att transportsektorn ska vara helt klimatneutral enligt det nya klimatpolitiska ramverk som presenteras i prop. 2016/17:146 (Regeringskansliet, 2016) och som delvis lagregleras genom införandet av en ny klimatlag som beräknas börja gälla från och med 1 januari 2018. Denna omställning kräver en ökad elektrifiering av vägtransporterna, övergång till hållbara förnybara drivmedel och förbättrad fordonseffektivisering. För att klara målen som eftersträvas krävs åtgärdsplaner samt beslut på regeringsnivå som positivt främjar fossilfria bränslen i konkurrensen med de idag traditionella fossila bränslena bensin och diesel. Med ”rätt” fordons- och bränslemix leder dessa åtgärder både till minskade utsläpp av klimatgaser och förbättrad luftkvalitet, vilket ger både hälso- och samhällsekonomiska vinster.

I både Trafikverkets klimatscenario (Trafikverket, 2016a) och FFF-utredningen (SOU, 2013) tolkas fossiloberoende fordonsflotta som att vägtrafikens koldioxidutsläpp måste minska med 80 % till år 2030 jämfört med år 2010. Både klimatscenariot och FFF-utredningen har som syfte att identifiera åtgärder och styrmedel för att nå en fossiloberoende fordonsflotta år 2030 samt uppfyllande av visionen om nollutsläpp av växthusgaser år 2045. I prop. 2016/17:146 (Regeringskansliet, 2016) föreslås däremot det något lägre målet att växthusgasutsläppen från inrikes transporter (utom inrikes luftfart) ska minska med minst 70 % senast år 2030 jämfört med år 2010.

Ända sedan arbetet mot fossilfrihet och minskad klimatpåverkan började har fokus legat på utsläppen av växthusgaser och framför allt koldioxid. Även om hälsoaspekten har kommit upp mer och mer, bl.a. genom Miljömålsberedningens delbetänkande Ett klimatpolitiskt ramverk för Sverige (SOU, 2016a), så har behovet av koldioxidreducering överskuggat de hälsorelaterade aspekterna av ett fossiloberoende. Förutom den direkta klimateffekten av minskat koldioxidutsläpp vid en avveckling av fossila bränslen finns möjlighet till påtagliga positiva hälso- och samhällsekonomiska vinster. Dock är bilden för hälsoaspekten inte lika entydig som för klimataspekten. Oavsett vilka fossilfria bränslen som kommer dominera på marknaden vid en övergång till en helt fossilfri fordonsflotta så kommer detta leda till en minskad klimatpåverkan eftersom koldioxidutsläppen kommer att minska. Däremot är valet av framtidens fossilfria drivmedel en avgörande faktor för vilken effekt vi kommer att få ur ett hälso- och samhällsekonomiskt perspektiv.

Stockholmsluften har under en lång tid haft en positiv trend med sjunkande halter av de flesta luftföroreningar. Förbättringen av luftkvaliteten i staden kan framför allt tillskrivas långsiktiga åtgärder såsom skärpta avgaskrav på fordon över hela EU, minskade industriutsläpp, utbyggnad av fjärrvärme, infasning av renare bränslen och miljöbilar, trängselskatt, dubbdäcksförbud, dammbindning m.m. Trots kraftiga förbättringar av luftkvaliteten så behöver denna fortsatt förbättras för att minimera inverkan på Stockholmsmarnas hälsa. Senare års forskningsresultat förstärker bilden av en negativ hälsopåverkan redan vid låga halter av luftföroreningar, dvs. under miljö kvalitetsnormernas värden. Exponering för höga

luftföroreningshalter kan ge upphov till flertalet negativa hälsoeffekter hos människor, bl.a. ökade antal astmaanfall, försämringar i kronisk obstruktiv lungsjukdom (KOL), hjärtsvikt, hjärtarytmier, hjärtinfarkt och förtida död (Jerrett et al., 2005). Tyvärr saknas det studier som visar vad den förbättrade luftkvaliteten i Stockholm det senaste halvsekllet inneburit för folkhälsan.

Den främsta orsaken till höga luftföroreningshalter i Stockholm är utsläpp från vägtrafiken. Detta innefattar både utsläpp från bilarnas avgaser samt från vägslitage p.g.a. användning av dubbdäck. Höga luftföroreningshalter uppstår främst på huvudgator i innerstadsmiljö samt på stora vägar som Essingeleden där trafikbelastningen är hög. Partikelhalterna kan variera stort mellan olika miljöer där de flesta människor utsätts för den högsta exponeringen i samband med resa till och från arbete, d.v.s. inte i sin boendemiljö, där dygnsprofilen för stadstrafiken är kraftigt bidragande till den ökade exponeringen vid resa.

Trängselskatt, höjda p-avgifter, miljözoner för tunga fordon och dubbdäcksförbud är exempel på åtgärder som genomförts i Stockholm för att minska vägtrafikens utsläpp. Transportstyrelsen har på uppdrag av Regeringen utrett förutsättningarna för kommuner att kunna införa miljözoner även för lätta fordon, lätta bussar och lätta lastbilar. Miljöförvaltningen välkomnar förslaget vilket anses vara ett viktigt verktyg för den lokala luftkvaliteten, samtidigt som det skulle kunna bidra till omställningen till en fossilfri fordonsflotta.

Enligt årsrapporten Luften i Stockholm år 2016 (SLB, 2017), som sammanställts av SLB-analys vid Miljöförvaltningen i Stockholms Stad, visar 2016 års luftmätningar av utomhusluften i Stockholmsregionen att problemen med att klara de svenska miljökvalitetsnormerna för kvävedioxid, NO₂, (SFS, 2010) kvarstår trots kraftigt minskade halter de senaste decennierna. Det som normalt sett är svårast att klara gäller för dygnsmedelvärden. De svenska miljökvalitetsnormerna är hårdare än de europeiska miljökvalitetsnormerna (Europeiska unionen, 2008). Dessa klaras för NO₂ i huvudsak, där timmedelvärdet aldrig överskrider i Stockholm.

Miljökvalitetsnormerna för utomhusluft regleras i 10 § Luftkvalitetsförordningen (2010:477) och är satta på en nivå som innebär att människors hälsa inte ska ta skada. År 2016 överskreds miljökvalitetsnormen för NO₂ vid samtliga av stadens mätstationer i gatumiljö. Även vid Trafikverkets mätstation intill E4/E20 på Lilla Essingen överskreds miljökvalitetsnormen. Det nationella miljökvalitetsmålet Frisk luft för NO₂ klarades inte under år 2016. Både målvärdet för årsmedelvärde och för höga timmedelvärden överskreds kraftigt vid mätstationerna i gatunivå på Hornsgatan, Sveavägen, Norrlandsgatan och intill E4/E20 på Lilla Essingen. Besök SLB-analys hemsida (<http://slb.nu>) för att läsa mer om luften i Stockholm idag.

Den främsta orsaken till att NO₂-normen överskrider är vägtrafikens utsläpp av kväveoxider (NO_x), som är summan av NO och NO₂. NO₂ bidrar också till förurning av skog och mark. Den nedåtgående trenden för halten NO₂ har planat ut de senaste 10 åren vilket tros bland annat bero på ökad andel dieselfordon i Stockholmsregionen. Dieslbilar har relativt höga utsläpp av både NO och NO₂ jämfört med t.ex. bensindrivna bilar. En vanlig dieselmotor släpper mestadels ut NO men efterreningssystemen, t.ex. oxidationskatalysatorer och partikelfilter, kan öka andelen NO₂ i avgaserna och leda till lokalt förhöjda koncentrationer av NO₂.

De dieselfordon i trafik som ännu inte är utrustade med partikelfilter släpper också ut höga koncentrationer av avgaspartiklar, s.k. ultrafina partiklar (< 0,1 µm i diameter). Humanstudier har visat att endast en timmes exponering av dieselavgaser kan orsaka akuta inflammatoriska reaktioner i lungceller hos helt friska personer (Lundbäck, 2009; Stenfors et al. 2004).

Med den bakgrunden är det av stor vikt, och som en viktig pusselbit, att fastställa vilka fossilfria bränslen som kan anses fördelaktiga när det gäller luftkvalitet och beskriva de hälsorelaterade och samhällsekonomiska nyttor som en fossilfri fordonsflotta i Stockholmsregionen skulle kunna ge upphov till.

Syfte och mål

Syftet med projektet är att utreda hur utsläppen och halterna av partiklar och kväveoxider påverkas beroende på bränslemixen i en framtida fossilfri fordonsflotta bestående av flertalet fossilfria bränslen tillsammans med eldrivna fordon. I projektet ingår också att kvantifiera effekterna på befolkningens hälsa av den förändrade exponeringen samt att beräkna de samhällsekonomiska konsekvenserna av detta. I den regionala utvecklingsplanen för Stockholmsregionen (RUFS, 2010) är ett av huvudmålen att uppnå en region med god livsmiljö. För klimat, energi och transporter innebär detta att transportsystemen är energieffektiva, regionens påverkan på klimatet väsentligt mindre och att betydligt färre invånare utsätts för störningar som har en negativ påverkan på hälsa och miljö. Detta projekt bidrar i sin helhet som ett led i uppföljningen av dessa mål. Övergången till en fossilfri fordonsflotta kommer att innebära en lägre klimatpåverkan per invånare, i enlighet med Miljöutmaning 2016, men samtidigt är det mer osäkert hur valet av förnybara drivmedel kommer att påverka halterna av NO_x och partiklar, och därmed de hälsoeffekter som kan kopplas till dessa och andra trafikrelaterade föroreningar. Tidigare studier visar att vägtrafikens utsläpp innebär stora samhällsekonomiska kostnader i form av sjukvård och förlorade levnadsår.

Målet med detta projekt är främst att besvara nedanstående frågor:

- Hur påverkas halterna av partiklar och kväveoxider vid övergången till en fossilfri fordonsflotta i Stockholmsregionen?
- Hur stor påverkan har bränslemixen för utsläppen och halterna av partiklar och kväveoxider?
- Vilka förnybara drivmedel lämpar sig bäst ur ett hälsoperspektiv?
- Hur stor påverkan har övergången till en fossilfri fordonsflotta för befolkningens hälsa i Stockholmsregionen (mätt i vunna/förlorade levnadsår) och vad innebär detta för samhällsekonomiska konsekvenser?

Fordon och drivmedel

Traditionella och förnybara drivmedel

Med traditionella drivmedel menas de fossila drivmedlen bensin och diesel. Begreppen förnybara drivmedel eller biodrivmedel avser bränslen som framställs av förnybara råvaror. När ett fordon körs med ett förnybart drivmedel bidrar det inte till att långsiktigt öka koldioxidhalten i atmosfären. Begreppet alternativa drivmedel används vanligen när man talar om bränslen som utgör ett alternativ till bensin eller diesel.

Biodrivmedel kan användas som låginblandning i bensin och diesel eller i högre inblandningar som drop-in bränsle. En stor fördel med låginblandning och drop-in bränslen är att befintligt distributionssystem och fordonsflotta kan användas. Drop-in bränslen kräver ingen modifiering av motor eller bränslesystem. Att byta ut de traditionella bränslena behöver i dessa fall inte begränsas av en infrastrukturuppbyggnad för de förnybara bränslena eller fordonsflottans relativt låga omsättningstakt. Utmaningarna ligger istället i tillgången på råvaror, hur välutvecklad tekniken är för tillverkning av bränslet samt slutproduktkostnaden.

Bensin och diesel

I dag dominerar de fossila drivmedlen transportsektorn, med huvudsakligen rysk (45 %) och norsk (29 %) olja som ursprung (Energimyndigheten, 2015). Trenden är att transportarbetet och den fossila användningen i Sverige ökar, trots det uppsatta målet om fossilfrihet (2030-sekretariatet, 2016).

Utvecklingen av fordonsflottan har under flera år visat en tydlig trend där bensindrivna fordon minskat till förmån för dieseldrivna fordon, även om bensinfordon fortfarande dominerar personbilsflottan (Trafikanalys, 2016). Generellt gäller att dieseldrivna fordon släpper ut mindre koldioxid jämfört med bensindrivna fordon, vilket är positivt för klimatet och den totala mängden utsläpp av växthusgaser till atmosfären. Men dieseldrivna fordon har högre utsläpp av NO_x jämfört med bensindrivna fordon och är därmed sämre för människor och miljö. Tidigare var även partikelutsläppen betydligt högre för dieseldrivna fordon men numera finns så kallade partikelfilter som kraftigt minskar dieselfordonens utsläpp av partiklar. Dieselmotorn arbetar med luftöverskott vilket innebär att utsläppen av NO_x inte kan minskas med samma metoder som i en ottomotor. Bensindrivna fordon är sedan slutet av 1980-talet utrustade med trestegskatalytisk rening som drastiskt minskar utsläppen av kväveoxider, flyktiga kolväten och kolmonoxid. Katalysatorn minskar dock inte utsläppen av koldioxid.

Fordonsgas

Idag utgör fordonsgasen en blandning av biogas och naturgas (gasform CNG, Compressed Natural Gas, flytande form LNG, Liquid Natural Gas). Naturgasen har varit viktig för uppbyggnaden av infrastruktur och marknad för gasdrivna bilar, bussar och lastbilar, men är ett fossilt drivmedel. År 2030 är målet att enbart biogas ska finnas i vägtransporterna. Av den biogas som produceras idag används ca 50 % som fordonsgas och det är också inom transportsektorn som den gör störst klimatnytta.

Både biogas och naturgas består huvudsakligen av metan. Metan är ett bra bränsle för ottomotorer på grund av att gasen har ett högt oktantal (motståndskraft mot självantändning i cylindern vid högt tryck eller temperatur). Biogas och naturgas kan distribueras i ett gemensamt nät och användas i likadana fordon. Biogas och naturgas som innehåller en hög andel metan kan användas i specialbyggda dieselmotorer.

Biogas produceras genom rötning och termisk förgasning. Nästan all biogas som produceras i Sverige tillverkas genom rötning. För biogas är den dominerande leverantören kommunala reningsverk (34 %),

organiskt avfall från hushåll (20 %), organiskt avfall från industrin (15 %), slakteriavfall (7 %) och gödsel (6 %). Mer än 90 % av den biogas som vi använder i Sverige är nationellt producerad (2030-sekretariatet, 2016).

Gasdrivna fordon kan köras med biogas och naturgas i tanken i vilka blandningsförhållanden som helst. Gasbilar med dubbla bränslesystem (bi-fuel) kan även köras på bensin. Negativt är dock att dessa drar mer bensin än vanliga bensinbilar (eftersom endast en motor används, men separata tankar, vilken därmed inte är optimerad för båda bränslena) och dessutom har ganska små tankar för gas. Tunga fordon och bussar är däremot anpassade att köra endast på gas varvid vanligtvis ottomotorn används. Det finns även en dual-fuel motor som kan köra på både diesel och fordonsgas, där upp till 90 % av dieseln kan ersättas med gas (*Energigas Sverige*. Hämtad 12 mars 2017 från: <http://www.energigas.se>).

Utöver biogasen ses även en snabb utveckling av andra förnybara gasalternativ såsom bioDME och vätgas (*Energigas Sverige*. Hämtad 12 december 2016 från: <http://www.energigas.se>). DME (dimetyleter) är ett drivmedel i gasform men kan lagras i flytande form under ett relativt lågt tryck på 5 bar. Det är främst ämnat för dieselmotorer. DME framställs från biomassa via förgasning eller ur syntesgas som i sin tur kan framställas ur till exempel naturgas (fossilDME), svartlut eller skogsprodukter som blir över vid massaproduktion (bioDME). Cetantal (ett mått på hur lätt bränslet självantänder sig vid högt tryck och temperatur) och tändningstemperatur för DME är nära det för fossil diesel vilket gör DME till en potentiellt bra ersättare för fossil diesel. DME har ett högt cetantal och därmed en kortare tändningstid. DME kan dock inte användas i en flexifuel-tank eftersom hela tank- och insprutningssystemet måste byggas om. DME förväntas få ett genombrott på marknaden först om ca 10 år eftersom både tekniken för framställningen samt motorerna behöver utvecklas (Trafikverket, 2016a).

Etanol

Etanol är globalt sett det mest producerade biodrivmedlet. Etanol tillverkas huvudsakligen genom jäsning av spannmål, majs och sockerrör. Fördelningen av råvaror till etanolframställning på den svenska marknaden 2014 var vete 56 %, majs 20 %, sockerbeta 8 %, råg 8 %, sockerrör 4 %, havre 4 % och övrigt 0,3 %. Huvuddelen av etanolen som används i Sverige produceras i EU, där Storbritannien är störst (26 %) före Sverige, Frankrike och Ukraina (2030-sekretariatet, 2016). EUs ILUC-direktiv begränsar användningen av livsmedelsbaserade biodrivmedel till 7 % fr.o.m. år 2020 (Europeiska kommissionen, 2015c) eftersom det anses etiskt tveksamt att använda livsmedelsbaserad etanol som bränsle.

Alla fordon med bensintank kan använda bensin med en etanolinblandning upp till 5,5 % utan behov av några anpassningar. Utöver låginblandning används etanol dels i bränsleflexibla personbilar och lätta lastbilar (i form av E85) och dels i tunga fordon (i form av ED95) i dieselmotorer. Etanol har ett lägre ångtryck och ger högre ångbildningsvärme än bensin vilket gör att kallstarter blir besvärligt och det tar längre tid att få motorn varm. Detta löses med motorvärmare. Man måste även byta ut en del komponenter i bränslesystemet eftersom etanolen bryter ner en del material. I personbilar användas E85 (85 % etanol och 15 % bensin) som den högsta andelen etanol eftersom en liten mängd bensin behövs för att smörja motorn och minska kallstartsproblemen (*Gröna Bilister*. Hämtad 2 december 2016 från: <http://www.gronabilister.se>). Etanol som alternativt bränsle till bensin var på uppgång fram till 2008 men har sedan dess minskat kraftigt, framför allt sett till sin andel av nybilsförsäljningen (SCB, 2017a). Den låga försäljningen i Sverige och att etanolbilar är en mycket liten marknad även i övriga Europa gör att det sannolikt kommer finnas endast ett fåtal modeller av etanolbilar som kommer uppfylla de nya strängare eurokraven.

Metanol

Metanol, även kallad träsprit, kan användas som biodrivmedel, både i vägtrafiken och i sjöfart, samt vid framställning av andra biodrivmedel som syntetisk bensin, biodiesel eller DME. Inom vägtrafiken kan metanol blandas med bensin eller användas i ren form (M100). Enligt EUs infrastrukturdirektiv för drivmedel (Europeiska kommissionen, 2014) är det tillåtet att blanda in upp till 3 volymsprocent metanol i vanlig bensin, men det finns möjlighet till högre inblandning. Dagens bensinbilar kan köras på upp till 25 % inblandning utan någon modifiering av motorn. E85-bilar (85 % etanol) kan köras på 85 % metanol (M85) (*VärmlandsMetanol AB* (2006). Hämtad 12 april 2017 från: <http://www.varmlandsmetanol.se>). Metanol som drivmedel har testats i flera delar av världen men är ännu inte ett etablerat drivmedel internationellt och inom den svenska vägtrafiken har användningen inte startat (Ecotrafic, 2013).

Metanol produceras från syntesgas som kan härstamma från naturgas (fossil metanol) eller från biogas genom förgasning av biomassa från skogsindustrin (biometanol). Produktion av metanol från biomassa är billigast vid användning av svartlut som råvara. Metanol bryts snabbt ner i jord, ytvatten och grundvatten. Skogsbaserad biometanol har av EU utpekats som nästa generations biodrivmedel. I Piteå finns det sedan början av 2000-talet två stora pilotanläggningar för svartlutsförgasning och tillverkning av metanol och DME. Anläggningarna har delfinansierats av EU och Energimyndigheten. Under år 2016 bedömde dock Energimyndigheten att det industriella intresset av att delta i forskning kring svartlutsförgasning i pilotskala idag är begränsat. Därmed är anläggningarna fram till år 2018 kallställda, men tillgängliga för möjlig uppstart om intresset för forskning inom området ökar (Energimyndigheten, 2016). I Hagfors planerar VärmlandsMetanol AB att bygga världens första kommersiella fabrik för tillverkning av biometanol genom förgasning av skogsråvara (*VärmlandsMetanol AB* (2006). Hämtad 12 april 2017 från: <http://www.varmlandsmetanol.se>). Byggstart planeras så snart miljötillstånd fås och byggtiden planeras till ca 3 år. Dock har osäkerheten efter 2013, att biodrivmedel aldrig får bli billigare än bensin eller diesel, gjort att projektet temporärt avstannat i väntan på mer långsiktiga regelverk.

Anledningen till att metanol inte har haft någon genomslagskraft som alternativt bränsle på marknaden är troligen flera med motortekniken, tillgängligheten och priset/kostnaden i förhållande till fossila bränslen som de största (Energiutskottet, 2013). Det finns dock flertalet fördelar med metanol som bränsle, bl.a. hög energieffektivitet, lägre koldioxid- och partikelutsläpp och högt oktantal. Metanol kan dessutom framställas på flera sätt. Till exempel visade nobelpristagaren i kemi, George Olah, genom en metod som återanvänder kolet i koldioxid, att man kan producera metanol av koldioxid. Industriell produktion av metanol baserad på denna metod sker sedan några år tillbaka på Island och i Kina. Metanol kan också användas i stället för vätgas i bränsleceller och därmed utnyttjas till att producera el.

Biodiesel (FAME och HVO)

Internationellt omfattar biodiesel ett stort antal ämnen fettsyrametylestrar, förkortat FAME (fatty acid methyl ester). FAME kan framställas av de flesta vegetabiliska eller animaliska oljor, t.ex. solrosolja, palmolja, fiskolja eller spillolja som frityrolja. RME (rapsmetylester) är den vanligaste formen av FAME och framställs genom omförestning av rapsolja. Andra källor kan bli aktuella inom kort, bl.a. alger (2030-sekretariatet, 2016). Fordon för FAME kan köras med FAME och diesel i tanken i vilka blandningsförhållanden som helst. Ungefär 80 % av den FAME som används inom transportsektorn i Sverige är som låginblandning i diesel, resten som B100 (100 % biodiesel) för tunga fordon, framför allt stadsbussar. Merparten FAME importeras, främst från Danmark, Australien, Tyskland och Litauen.

HVO (hydrerad vegetabilisk olja) är FAME som processats till att erhålla samma molekyelstruktur som dieselolja. HVO kan produceras både genom syntes eller hydrobehandling av vegetabiliska oljor och animaliska fetter. HVO kan blandas med fossil diesel upp till 100 %. HVO är helt syrefritt, har ett högt cetantal, mycket låg löslighet i vatten och låg densitet.

Råmaterialet för FAME och HVO är i princip samma, huvudsakligen vegetabiliska fettsyror, vilket ur hållbarhetssynpunkt gör att FAME och HVO kan ses som likvärdiga. Det är dock viktigt vilken råvara som används vid tillverkningen av biodiesel. En råvara som används för framställning av HVO är palmolja och PFAD (Palm Fatty Acid Distillates). Palmolja är en av de mest använda vegetabiliska oljorna i världen eftersom den både är billig och fungerar bra i många produkter. Samtidigt bidrar framställningen av palmolja och PFAD till skövling av tropiska skogar och därmed till förlust av biologisk mångfald och klimatförändringar. Den HVO som används i Sverige produceras huvudsakligen av råtallolja från Preem samt slakteribiprodukter och animaliska fetter med produktion i Finland (Neste) (2030-sekretariatet, 2016).

Även biobensin kan potentiellt bli ett välanvänt drivmedel om ett antal år. Preem har påbörjat försök med syntetisk bensin i mindre skala, vilka visat att tekniken fungerar. Processen liknar den som biodieseln framställs i. Råvara är lignin, som precis som tallolja är en restprodukt från pappers- och massaindustrin. Tillgången på lignin är mycket stor, vilket inte är fallet för talloljan.

Elektricitet

El kan vara både förnybar, från till exempel vind- eller vattenkraft, eller fossilt från till exempel kolkraft. En genomsnittlig svensk bil körs 4 mil/dag och en eldriven bil skulle kunna täcka minst 80 % av svenskarnas behov av bilresor (*Gröna Bilister*. Hämtad 2 december 2016 från: <http://www.gronabilister.se>). Många elbilar på marknaden är så kallade laddhybrider, en hybridbil med ett stort batteri som kan laddas från det fasta elnätet där batteriet räcker för att köra ca 5-6 mil. Vill man köra längre startar bilens förbränningsmotor (för bensin, diesel, etanol, biogas eller biodiesel) automatiskt.

Bränslecellsbilar, som drivs med vätgas, erbjuder en längre räckvidd jämfört med rena elbilar. Vätgas kan vara både fossilt eller förnybart. Ofta framställs vätgas ur naturgas, vilket innebär att den är fossil, men den kan även framställas till exempel genom elektrolys av vatten. Vätgas har den fördelen att den kan produceras på flera olika sätt från biomassa och tankas direkt som vätgas. Gasen kan fraktas i form av metanol, DME eller metan och sedan reformeras om till vätgas vid tankstället (Trafikverket, 2016a). I EUs infrastrukturdirektiv för drivmedel (Europeiska kommissionen, 2014) ingår vätgas som ett av tre alternativa drivmedel för vilket tankningsmöjligheter förväntas byggas upp inom den närmaste 10-årsperioden. Storbritannien har fattat beslut om att bygga 1000 vätgasmackar till år 2030 och nästan lika ambitiösa planer finns i Tyskland (*NyTeknik* (19 maj 2014). Hämtad 10 mars 2017 från: <http://www.nyteknik.se/energi/planen-29-vatgasmackar-fran-norr-till-soder-6398835>). De andra två alternativen är el och fordonsgas.

Metoder för beräkning av vägtrafikens utsläpp

Mätningar

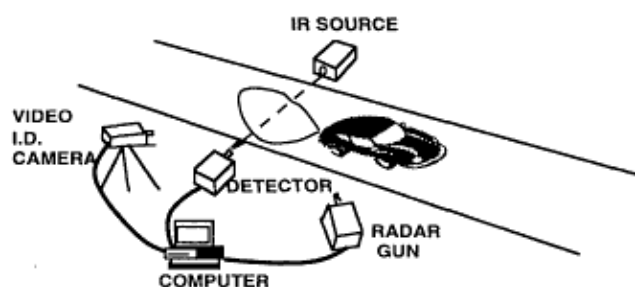
För att beräkna vägtrafikens utsläpp behövs emissionsfaktorer för fordon och drivmedel. För att uppskatta dessa på ett så tillförlitligt sätt som möjligt görs mätningar både i laboratorium och i verklig körning där man mäter utsläppens storlek och karaktär. Emissionsfaktorn varierar med reningsteknik, motortyp, körmönster, vägtyp, hastighet, motors temperatur osv. Därmed är en specifik emissionsfaktor relaterad till en specifik emissionsgenererande aktivitet, t.ex. antal fordonskilometer med en viss fordonstyp eller antal liter bränsle förbränd i en specifik fordonsmotor under specificerade driftbetingelser under en viss bestämd tid.

Vid mätningar i laboratorium genomförs testerna i en s.k. chassidynamometer (rullande väg) eller en motordynamometer. Båda dessa syftar till att belasta ett fordon under kontrollerade former efter givna körcykler så att testerna utförs på ett repeterbart sätt. Det positiva med dessa tester är att de är standardiserade och kan upprepas med jämförbara resultat. Det negativa är dock att man inte får resultat som är representativa för hela fordonsflottan. Figur 1 visar hur de kan se ut när utsläppen mäts i en chassidynamometer.



Figur 1. Illustration av emissionsmätningar i en chassidynamometer. Källa: <http://avl.com>.

Mätningar kan även utföras i verklig körning. Exempel på mätmetoder är s.k. remote sensing och ombordmätningar (Portable Emission Measurement System, PEMS) men flera finns. Fördelen med dessa mätningar är att man täcker in en större del av fordonsflottans olika delar men samtidigt är de mindre exakta och svåra att upprepa med jämförbara resultat. Mätningar i verklig körning används ofta för att validera laboratoriemätningar. Vid mätningar med remote sensing låter man en ljusstråle löpa genom avgasplymen när fordonet passerar. Avgasernas sammansättning kan sedan avgöras med hjälp av ljusets absorption vid specifika våglängder. Figur 2 ger en enkel illustration av detta.



Figur 2. Schematisk illustration av mätningar med remote sensing. Källa: <http://www.epa.gov>.

Vid ombordmätningar görs mätningarna direkt när avgaserna kommer ut ur avgasröret. Figur 3 visar ett exempel på hur det kan se ut.



Figur 3. Exempel på hur en ombordmätning kan se ut. Källa: <http://www.avl.com>.

HBEFA

Med mätningar som underlag tas emissionsfaktorer för vägtrafiken fram med hjälp av emissionsmodeller. Idag används HBEFA 3.2 (The Handbook of Emission Faktors for Road Transport) som är en internationell emissionsdatabas för Europa där emissionsfaktorer erhålles i gram/fordonskilometer (g/fkm) för de allra flesta fordonskategorier inom vägtrafiken (för alla eurostandarder och för en bred variation av trafiksituationer) (HBEFA, 2014). Emissionsfaktorer finns för alla reglerade ämnen och de viktigaste oreglerade ämnena. Den senaste versionen HBEFA 3.3 är från 2017 men tillkom efter att beräkningarna för detta projekt genomfördes. I detta projekt har HBEFA 3.2 använts, som är från juli 2014. Emissionsfaktorerna i HBEFA baseras på verkliga körcykler som anses representativa för lokal trafik. Typiska trafiksituationer (som kategoriseras av område, vägtyp, hastighetsbegränsning och flödesklasser) baseras på de uppmätta körcyklerna och jämförelser med mätningar av verkliga utsläpp används för att ta fram pålitliga emissionsfaktorer. HBEFA har en körnönsterbeskrivning som omfattas av ca 270 olika trafiksituationer. Eftersom det är allt för tidskrävande och kostsamt att göra mätningar för alla möjliga trafiksituationer så har HBEFA använt sig av parameterisering av de viktigaste faktorerna som påverkar emissionerna. Dessa parametrar tas fram genom mätningar vid verklig körning och använts sedan för att man ska kunna beskriva alla de trafiksituationer som kan förekomma. HBEFA är utvecklad gemensamt inom EU och baseras på emissionsfaktordata från mätningar i hela Europa.

Fordonsflottans utveckling fram till idag

Utvecklingen av fordonsflottan fram till idag spelar en viktig roll för den framtida transportpolitiken. Vid årsskiftet 2015/2016 fanns det närmare 8,4 miljoner fordon i den Svenska fordonsflottan. Statistiken visar att flottan domineras av personbilar och lätta lastbilar som tillsammans utgör 84 % av antalet fordon i trafik (Trafikanalys, 2016).

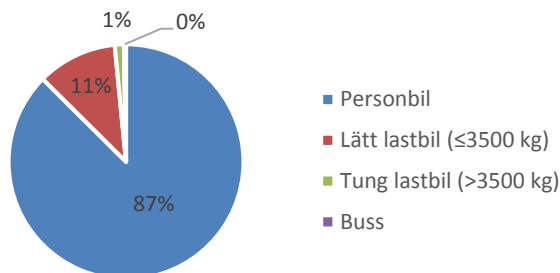
Transporter anses av de flesta vara en förutsättning för en växande ekonomi, ökad befolkning, förbättrade möjligheter till pendling, besök och ökad sysselsättning. Transportsektorn och industrin stod vardera för omkring en tredjedel av utsläppen av växthusgaser i Sverige år 2014. Utsläppen från transporter är främst koldioxid från personbilar och tunga fordon. Utsläppen har minskat med 11 procent sedan 1990, trots att trafikmängden ökat kraftigt. Främsta anledningen till minskningen är en ökad energieffektivisering av fordonsflottan och en ökad användning av biodrivmedel (Trafikverket, 2014). Enligt Trafikverkets prognoser väntas dock personbilstrafiken med dagens beslutade åtgärder och styrmedel öka med 26 procent till år 2030 jämfört med år 2010 samtidigt som den tunga lastbilstrafiken väntas öka med 32 procent (Trafikverkets basprognos 2014). En sådan trafikökning skulle bromsa in den pågående utsläppsminskningen avsevärt.

Nyregistreringen av fordon är viktig eftersom många av de fordon som säljs idag kommer att rulla på våra vägar en lång tid framöver. Till exempel har en personbil en livstid på i genomsnitt 18 år (Trafikanalys, 2016) vilket innebär att de fordon som säljs idag kommer att vara i drift samtidigt som visionen om en fossilfri fordonsflotta ska vara i hamn. Det är en ekvation som inte går ihop om man tittar på hur nybilsförsäljningen ser ut idag. Tyvärr konstaterar Trafikanalys i sin rapport Statistik över fordonsflottans utveckling – delredovisning av regeringsuppdrag (2016:13) att den svenska personbilsflottans omsättningstakt minskar. År 1990 var medelåldern för en personbil i trafik drygt sju år medan den år 2015 var tio år. Samtidigt fortsätter fordonsflottan att växa som helhet, i medel 1,2 % per år för personbilar i trafik, ca 4 % per år för lätta lastbilar (≤ 3500 kg), medan antalet tunga lastbilar (> 3500 kg) i trafik har hållit sig på en konstant nivå de senaste 10 åren. Dock har den genomsnittliga körsträckan per bil och år minskat något, drygt 7 % sedan 2008, men det beror även på bilens ålder där nyare fordon i genomsnitt kör längre sträckor per år jämfört med äldre fordon. Längst körsträcka per år har fordon som är 3-4 år gamla. Personbilsflottan blir även allt tyngre där genomsnittsvikten på en bil har ökat med ca 6 % sedan år 2006.

Både lätta och tunga lastbilar har en betydligt snabbare omsättningstakt på marknaden vilket gör att dessa fordon har en lägre genomsnittsålder jämfört med personbilar. Genomsnittsåldern för lätta lastbilar i trafik i Sverige har dock stigit sedan år 2008, från 7,6 år till 8,2 år 2015. Samtidigt blir de allt tyngre, sedan år 2006 har den genomsnittliga totalvikten ökat med 6 %. Efter 2008 har den genomsnittliga körsträckan per lätt lastbil sjunkit men det varierar stort beroende på fordonets ålder där nyare fordon kör längre sträckor. Precis som för bilar är det 3-4 år gamla fordon som kör längst sträckor. Genomsnittsåldern för en tung lastbil i trafik är 10,9 år 2015, en ökning med knappt 1 år jämfört med år 2006. Även vikten ökar, totalt 11 % mellan år 2006 och år 2015. Förklaringen är en gradvis förskjutning mot tyngre tunga lastbilar över 26 ton. Den totala körsträckan per år varierar något från år till år men efter 2007 har den minskat med drygt 10 %. Tunga lastbilar yngre än 10 år är de som kör längst sträckor medan de äldre fordonen har en betydligt lägre årlig körsträcka.

Stockholms län

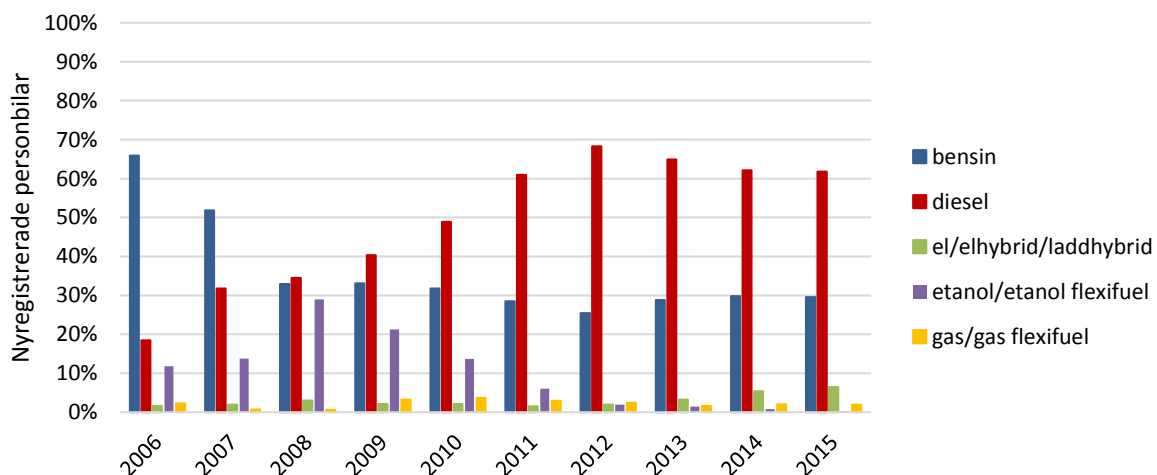
I Stockholms län ser fordonsflottans sammansättning i slutet av år 2015 ut som visas i Figur 4. Personbilar och lätta lastbilar utgör tillsammans hela 98 % av antalet fordon i trafik.



Figur 4. Fordon i trafik i Stockholms län vid slutet av år 2015. Källa Trafikanalys (<http://www.trafa.se>).

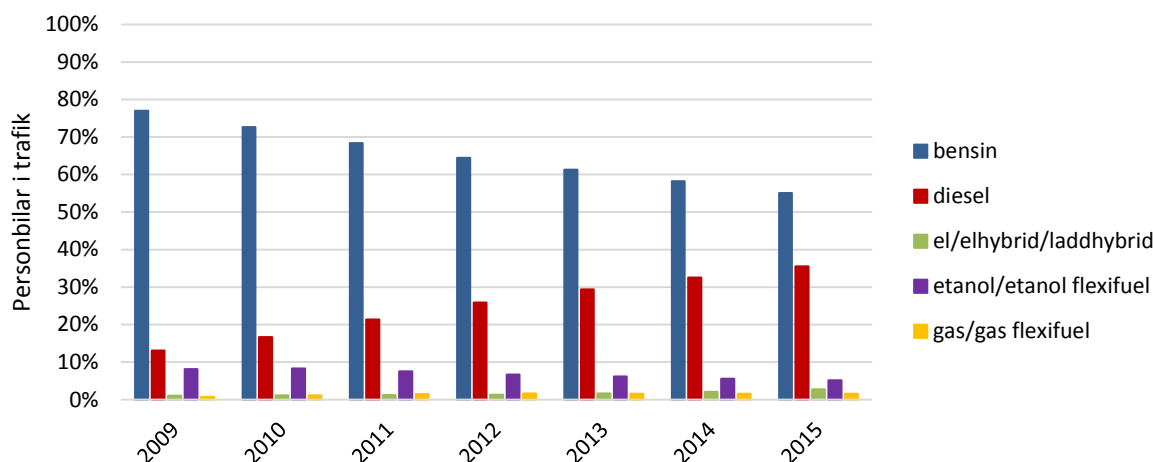
Genom att titta på nybilsförsäljningen kan man säga något om hur fordonsflottan kommer att utvecklas. Figur 5 visar att det främst är dieslbilar följt av bensinbilar som säljs i dagsläget. Rena elbilar, elhybrider och laddhybrider har ökat de senaste åren och stod under år 2015 för 6,5 % av nybilsförsäljningen. Etanolen har minskat drastiskt från 29 % 2008 till endast 0,2 % under år 2015. Gasbilar har haft svårt att etablera sig på marknaden där de år 2010 stod för 3,7 % av nybilsförsäljningen men har sedan minskat till 1,9 % under år 2015.

Under år 2015 var andelen nyregistrerade miljöklassade personbilar i Stockholms län (definition enligt kap 5.1, Miljöbilar, 2016) 22,3 %, varav snål diesel 63,9 %, snål bensin 0,02 %, etanol 1,2 %, gas 9,4 %, elhybrid 10,8 och el 14,7 %. Detta motsvarar 15,6 % av det totala antalet miljöbilar som rullar i trafik idag.



Figur 5. Nyregistrerade personbilar i Stockholms län åren 2006-2015 (SCB, 2017a).

Figur 6 visar hur fördelningen av personbilar i trafik ser ut för Stockholms län. Data kunde endast hämtas från och med 2009. Bensindrivna bilar har en sjunkande trend men utgör fortfarande den största delen av fordonsflottan med 55 %. Dieslbilar ökar och har gått från 13 % till 35,5 % från år 2009 till år 2015. Den sjunkande nybilsförsäljningen av etanolbilar reflekteras i en sjunkande trend för dessa även i trafik. År 2015 stod de för 5,1 % av antalet fordon i trafik. Rena elbilar, elhybrider och laddhybrider uppgår till 2,7 % och gas till 1,5 % år 2015.



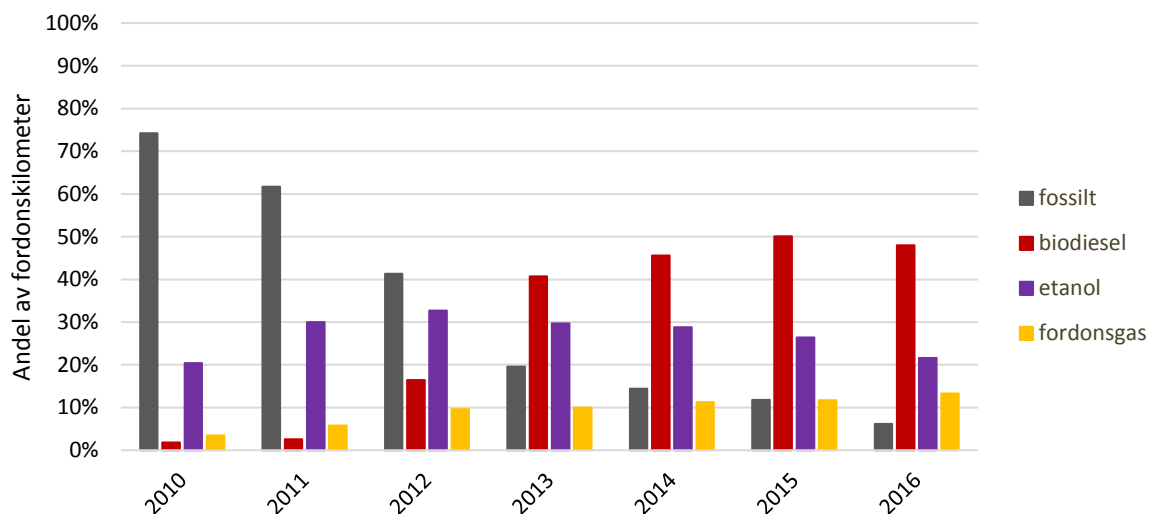
Figur 6. Personbilar i trafik i Stockholms län åren 2009-2015 (SCB, 2017b).

Antalet lätta lastbilar har en ökande trend, ca 4 % per år för Sverige som helhet, vilket gör utsläppen från denna fordonskategori viktigare och viktigare även om de i antal och trafikarbetsmängd inte uppgår till samma nivå som personbilarna. Nästan 90 % av alla lätta lastbilar i trafik år 2015 i Stockholms län drivs med diesel (Miljöbilar, 2016). Tyvärr är alternativa drivmedel fortfarande ovanligt. Av de fossilfria bränslena är det endast gas som utgör mer än 1 % av beståndet och det är endast 2,3 % av de nyregistrerade lätta lastbilarna i Stockholms län som klassas som miljöfordon. Biogas är det fossilfria drivmedel som ökar mest i Stockholms län med 54,8 % av de nyregistrerade lätta lastbilarna under år 2015. Antalet eldrivna lätta lastbilar har ökat de senaste två åren och stod för 39,3 % av de nya miljöfordonen under år 2015.

Tunga lastbilar i Stockholms län har ökat marginellt mellan år 2006 och år 2015. Däremot ses en ökning på 30 % för Stockholms stad. Det i särklass vanligaste drivmedlet för tunga lastbilar i Stockholms län är diesel som används av hela 96 % av fordonen (Miljöbilar, 2016). Andelen bensin ligger på 1,4 % i Stockholms län (i princip oförändrat sedan år 2006) samtidigt som andelen tunga lastbilar i Sverige som drivs med gas och ren biodiesel ökat något de senaste åren (Trafikanalys 2016). Under år 2015 stod diesellastbilar för över 95 % av de nyregistrerade tunga lastbilarna i länet. Tunga lastbilar omfattas inte av statens miljöbilsdefinition. Enligt Stockholms stads egen definition för tunga lastbilar (Miljöbilar, 2016) klassas endast 3,3 % av de nyregistrerade tunga lastbilarna som miljöfordon i Stockholms län. Precis som för lätta lastbilar är det biogas som ökar mest av de fossilfria alternativen. År 2015 stod fordonsgas för 78 % av nyregistreringarna medan etanol och biodiesel utgjorde 12,2 % respektive 9,8 %.

Bussarnas fordonspark utgörs till stor del av bussar driftade av SL. Via fordonsdatabasen FRIDA (<http://frida.port.se/sl/ntal/publik.cfm>), som är ett verksamhetssystem inom kollektivtrafiken, erhöles uppgifter för drivmedelsfördelning hos bussarna inom SLs fordonspark i Stockholms län, vilka illustreras i Figur 7. Stockholmsregionens kollektivtrafik ägs av Stockholms läns landsting (SLL) där AB Storstockholms lokaltrafik (SL) har ett övergripande ansvar för Stockholmsregionens lokaltrafik. SL arbetar med att öka andelen bussar med förnybara bränslen och deras egna mål är att bussflottan ska vara helt fossilfri år 2025 (Miljöförvaltningen, 2012). Enligt Stockholms läns landstings miljöprogram 2011-2016 (SLL, 2011), ska minst 75 % av busstrafiken drivas med förnybara drivmedel vid utgången av år 2016. Det nya miljöprogrammet som gäller åren 2017-2021 innefattar målet att år 2021 ska landstingets transporter till 95 % ske med förnybara drivmedel (SLL, 2016). År 2016 var andelen fossildrivna bussar 6,2 %, vilket innebär att hela 93,8 % av bussflottan var fossilfri. Framför allt är det

biodiesel som ökat kraftigt från år 2010 fram till år 2015. Etanol nådde 32,7 % 2012 men har därefter haft en sjunkande trend. Fordonsgas har ökat från 3,5 % år 2010 till 13,3 % år 2016.



Figur 7. Bussflottans utveckling i Stockholms län driftade av SL åren 2010-2016, andel av fordonskilometer (%). Datakälla: Svensk Kollektivtrafik: FRIDA miljö- och fordonsdatabas. Uppgifterna gäller andelen fordonskilometer (trafikarbete).

Styrmedel och åtgärder för fossilfrihet

Nationellt arbete mot fossilfri fordonsflotta

År 2009 beslutade regeringen om ett mål där Sverige år 2030 skulle ha en fossiloberoende fordonsflotta. År 2012 tillsattes FFF-utredningen som hade som uppdrag att precisera detta mål och ta fram konkreta förslag på hur man skulle kunna nå dit. Detta mynnade ut i den omfattande statliga utredningen Fossilfrihet på Väg (SOU, 2013). Utredningen preciserar målet att vägtrafikens användning av fossil energi och därmed de direkta koldioxidutsläppen ska minska med 80 % till år 2030 jämfört med år 2010. I samband med FFF-utredningen lanserades 2030-sekretariatet vars uppgift är att arbeta för att målet uppnås och årligen bedöma hur utvecklingen mot detta går. År 2014 presenterade Trafikverket en fördjupad rapport av det samlade planeringsunderlaget för miljö och ett första klimatscenario (Trafikverket, 2014) och år 2016 kom utredningen Styrmedel och åtgärder för att minska transportsystemets utsläpp av växthusgaser – med fokus på transportinfrastrukturen (Trafikverket 2016), där Trafikverkets klimatscenario uppdaterats och beskrivs med åtgärder som gör det möjligt att nå en fossiloberoende fordonsflotta till år 2030.

Riksdagen har fastställt målen för den nationella klimatpolitiken vilka utgörs av miljömålet Begränsad klimatpåverkan och etappmålet om minskade utsläpp av växthusgaser till år 2020. Utöver detta har riksdagen även ställt sig bakom regeringens vision om att Sverige år 2045 inte ska ha några nettoutsläpp av växthusgaser till atmosfären (Regeringskansliet, 2016a). Transportsektorn ska enligt det transportpolitiska hänsynsmålet bidra till det nationella miljömålet begränsad klimatpåverkan, där en av fem preciseringar är att

”Transportsektorn bidrar till att miljö kvalitetsmålet begränsad klimatpåverkan nås genom en stegvis ökad energieffektivitet i transportsystemet och ett brutet beroende av fossila bränslen. År 2030 bör Sverige ha en fordonsflotta som är oberoende av fossila bränslen.”

Beskattning av drivmedel i Sverige utgår från en koldioxidskatt och en energiskatt. Sedan 1995 har regeringen beslutat om skattebefrielse på biodrivmedel. Problemet är att detta har gjorts endast i korta perioder på ett till två år och ofta med kort framförhållning. Skattebefrielsen har omfattats av ett statsstödsgodkännande från EU som villkorats med att biodrivmedel inte får överkompenseras jämfört med deras fossila motsvarighet. Detta har gjort att det inte skapats någon marknadsstabilitet eftersom framtiden hela tiden är oviss samtidigt som stödet endast gäller om de fossilfria drivmedlen inte växer sig för stora på marknaden, vilket är exakt det man egentligen vill åstadkomma. Problemet ligger inte i att det saknas åtgärder och styrmedel att införa för att begränsa transporternas klimatpåverkan, utan istället på bristen att politiskt fastslå dessa för att ge en framtida trygghet för att kunna genomföra dem. Om inte politikerna vågar satsa på framtidens drivmedel och fordon och EU inte tar de beslut som krävs, hur ska marknaden våga göra det? Det som saknas är en trygghet för aktörer på marknaden att våga satsa fullt ut på den nya tekniken och de fossilfria bränslealternativen.

Det finns dock en del styrmedel idag som syftar till att reglera utvecklingen mot en renare fordonsflotta. Regeringen har förlängt supermiljöbilspremierna med ett år, till och med år 2017. Ett bonus-malus-system är på ingång, där miljöklassade fordon premieras vid inköpstillfället genom en bonus samtidigt som högemitterande fordon får en högre fordonsskatt (SOU, 2016b). Regeringen ska även se över möjligheterna att göra information om drivmedels miljöpåverkan obligatorisk (Regeringskansliet. Hämtad 20 mars 2017 från: <http://www.regeringen.se>).

När detta skrivs (april 2017) är Transportstyrelsens rapport Miljözoner för lätta fordon ute på remiss (Transportstyrelsen, 2017). Idag begränsas tung trafik som inte uppfyller särskilda utsläppskrav med

miljözoner i Stockholm. Transportstyrelsens rapport utreder om miljözonerna kan utökas och även gälla personbilar, lätta bussar och lätta lastbilar. Både Miljöförvaltningen och Naturvårdsverket välkomnar förslaget att inkludera lätta fordon i miljözonerna, vilket skulle vara ett viktigt verktyg för att förbättra den lokala luftkvaliteten. Naturvårdsverket påpekar dock i sitt yttrande att det finns brister och osäkerheter i beräkningarna när det gäller kostnaden för att byta bil samt att nyttan av renare luft är undervärderad eftersom bl.a. nyttan av minskade partikelutsläpp inte har beräknats (Naturvårdsverket, 2017). Förutom renare luft kan miljözoner påskynda omställningen till en fossilfri fordonsflotta eftersom de gynnar fordon som har låga utsläpp av både luftföroreningar och växthusgaser.

I Stockholm stad finns även systemet med trängselskatt som syftar till att minska trängseln, förbättra miljön och bidra till att finansiera satsningar på infrastrukturen. Förhoppningen är att man genom trängselskatten ska få fler att välja att resa kollektivt och därmed minska bilanvändandet och utsläppen av fordonens avgaser. Från och med den 1 januari 2016 har Stockholm en höjd och utökad trängselskatt. Första utvärdering under våren 2016 visar på en trafikminskning på ca 5 % både på Essingeleden och in och ut ur trängselskattzonen för innerstaden (Trafikverket, 2017). Sedan 1 augusti 2012 undantas inte miljöklassade fordon från att betala trängselskatt (*Transportstyrelsen*. Hämtad 5 januari 2017 från: <http://www.transportstyrelsen.se>).

Sedan 2013 beskattas biodrivmedel utifrån principen att de aldrig får bli billigare än bensen eller diesel. Skatterna har ändrats fem gånger på fyra år. Frånvaron av långsiktiga skatteregler och skatteändringar har sedan 2013 skapat stor osäkerhet på biodrivmedelsmarknaden. EU har godkänt en svensk skattebefrielse av biogas som drivmedel t.o.m. utgången av år 2020 (Europeiska kommissionen, 2015b). Skattebefrielse eller skattelättnad av andra biodrivmedel har godkänts t.o.m. utgången av år 2018 (Europeiska kommissionen, 2015a).

Den 17 mars 2017 presenterade regeringen ett förslag om ett reduktionspliktssystem för biodrivmedel. Reduktionsplikten innebär en skyldighet för bränsledistributörer att minska utsläppen från bensen och diesel genom inblandning av biodrivmedel. I det lagförslag som remitteras fastställs reduktionsnivåer för åren 2018-2020. För bensen föreslås nivån vara 2,6 % till år 2018 och öka till 4,2 % till år 2020. Motsvarande för diesel föreslås vara 19,3 % år 2018 och öka till 21 % år 2020 (Regeringskansliet, 2017).

I Trafikverkets rapport *Styrmedel och åtgärder för att minska transportsystemets utsläpp av växthusgaser* – med fokus på transportinfrastrukturen (Trafikverket, 2016a) presenteras en rad förslag till styrmedel som finns för att minska andelen fossila bränslen, få en ökad energieffektivitet samt ett mer transportsnålt samhälle. I rapporten lyfts framförallt skattenedsättning och kvotplikt fram som de två huvudsakliga alternativen till minskning av fossila bränslen.

Utsläppskrav för NO_x och avgaspartiklar

EU har succesivt skärpt kraven för hur mycket NO_x ett dieselfordon tillåts släppa ut. År 2000 var maxgränsen 500 mg/km och år 2014 var den 80 mg/km för personbilar. I dagsläget krävs endast ett laborietest för att visa att utsläppskraven klaras, men de verkliga utsläppen har visat sig vara betydligt högre (Carslaw et al., 2011). Successivt, med början under år 2017, införs även krav på personbilar och lätta lastbilar i form av RDE, real driving emissions, vilket innebär att fordonens utsläpp mäts under verklig körning (inte bara i s.k. körcykler i laboratorium) (*DieselNet* (december 2016). Hämtad 12 april 2017 från: <https://www.dieselnets.com/standards/eu/ld.php>).

Sedan år 2011 har utsläppen från tunga fordon minskat kraftigt, troligtvis till stor del på grund av att en ny EU-lag trädde i kraft som reflekterar verklig körning (EU/582/2011). För tunga fordon och bussar

gäller, utöver laborietester av motorerna, även mobila testprocesser sedan 2013 vilket gör att slumpmässigt utvalda fordon kan bli testade under verklig körning.

Från och med september 2014 är rådande standard Euro 6 för både bensin- och dieselmotorer i personbilar och lätta lastbilar. För tunga fordon och bussar gäller Euro VI sedan januari 2014. Det finns även ytterligare en klass, Enhanced Environmental friendly Vehicle (EEV), som är definitionen på den hittills strängaste miljönormen. Till skillnad från Euro-normerna finns det inget lagkrav om eller när fordonen skall uppfylla EEV-normen (*DieselNet* (dec 2016). Hämtad 20 mars 2017 från: <https://www.dieselnet.com/standards/eu/ld.php#stds>).

EUs utsläppskrav för NOx och avgaspartiklar för personbilar visas i Tabell 1. Utsläppsklasserna regleras i Sverige genom avgasreningslagen (SFS, 2011:318) för fordon som registreras första gången från den 1 maj 2011. Klassningen är kopplad till EU-bestämmelserna om avgasutsläpp.

Tabell 1. Gällande utsläppskrav för personbilar enligt EU. Källa: *DieselNet* (dec 2016). Hämtad 31 mars 2017 från: <https://www.dieselnet.com/standards/eu/ld.php#stds>.

Euroklass	NOx (mg/km)		PMavgas (mg/km)	
	Diesel	Bensin	Diesel	Bensin
3	500	150	50	
4	250	80	25	
5/5a	180	60	5	
5b	180		5	5*
6	80	60	5	5*
6C**	80	60	5	5*

* endast för fordon med direktinsprutning (DI)

** Euro 6C har samma gränsvärden som Euro 6, men skärpt körcykel som bättre avspeglar verklig körning

Framtiden

Prognos av fordonsflottans utveckling

Trafikverkets basprognos

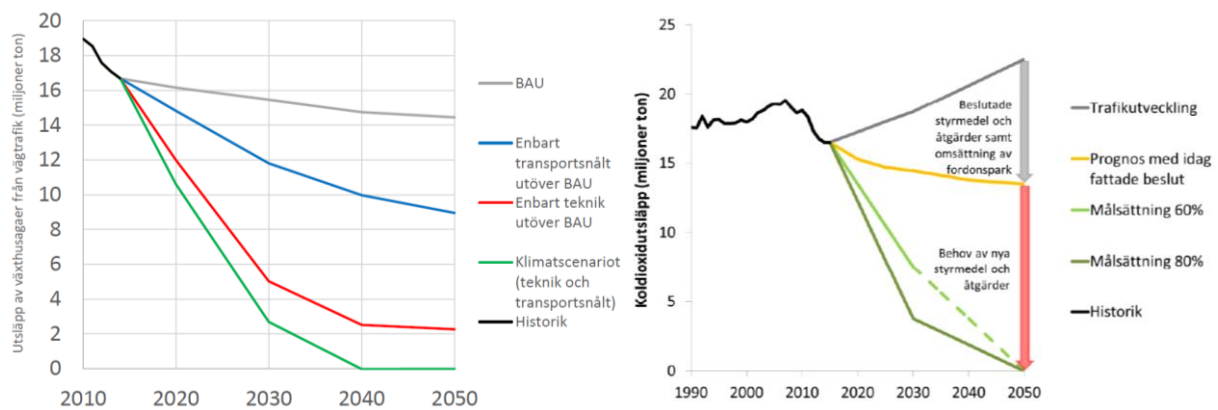
Trafikverkets prognos Business as usual för år 2035 (BAU 2035) är ur fossilfrihetssynpunkt dystert och pekar på att vi fortsätter att driva våra fordon med fossila bränslen där elektricitet och fossilfria alternativ växer mycket långsamt. Basprognosen bygger på dagens rese- och transportmönster där man har gjort antaganden om framtida infrastrukturåtgärder, trafik samt ekonomisk utveckling. I basprognosen förväntas en relativt stor arbetsökning för vägtransporter medan kollektivtrafik, gång- och cykelpendling ökar måttligt (Trafikverket, 2016a).

I BAU 2035 finns en betydande andel diesel och bensen fortfarande kvar. Dock räknar man med att teknikutvecklingen för fordonen går framåt samt att styrmedel och åtgärder genomförs som gör att fordonen tvingas att anpassas till hårdare krav. Detta innebär att skillnaden mellan BAU och ett fossilfritt scenario kommer att minska allt mer.

Trafikverkets klimatscenario

Trafikverket tog fram sitt första klimatscenario år 2010 med tolkningen att en fossiloberoende fordonsflotta innebär att trafikens användning av fossil energi och därmed de direkta koldioxidutsläppen måste minska med 80 procent till år 2030 jämfört med år 2010. Klimatscenariot har sedan uppdaterats och presenterades senast i rapporten ”Styrmedel och åtgärder för att minska transportsystemets utsläpp av växthusgaser – med fokus på transportinfrastrukturen” (Trafikverket, 2016a).

Genom att använda ett s.k. scenariokors med två osäkerhetsparametrar (teknisk utveckling av fordon och drivmedel samt transporttillväxt) visade Trafikverket att endast Klimatscenariot leder till möjligheten att nå målen om en fossiloberoende fordonsflotta enligt Trafikverkets (och FFF-utredningens) tolkning samt nollutsläpp till år 2050, illustrerat i Figur 8 (vänster). Även teknikscenariot når långt, men inte hela vägen fram. Figur 8 (höger) illustrerar tydligt behovet av nya, tuffare styrmedel och åtgärder för att nå målsättningarna för år 2030 och år 2050.



Figur 8. (vänster) Direkta utsläpp av växthusgaser från vägtrafiken i tre olika scenarier framtagna av Trafikverket. I figuren visas också en trendframskrivning med dagens fordon och drivmedel men med en trafikutveckling enligt basprognosen (BAU). **(höger)** Vägtrafikens användning av fossila bränslen. Den svarta linjen visar den historiska utvecklingen fram till idag av vägtrafikens användning av fossil energi. Den grå linjen visar hur användningen av fossil energi skulle utvecklas om dagens fordon och drivmedel användes även i framtiden med den transportprognos som Trafikverket tagit fram. Gul linje visar utvecklingen med idag fattade beslut om styrmedel och åtgärder. Den gröna linjen leder till uppfyllande av målsättningen med Utredningen om fossilfri fordonstrafik förslag till etappmål för år 2030 och regering och riksdags mål om ett klimatneutralt Sverige 2050. Bilder och text från Trafikverkets rapport "Styrmedel och åtgärder för att minska transportsystemets utsläpp av växthusgaser – med fokus på transportinfrastrukturen (Trafikverket, 2016a).

Klimatscenario använder sig av backcasting, där man utgår från klimatmålen och undersöker vilka åtgärder som behöver vidtas för att kunna nå dem. Man ser potentialer inom fyra olika områden, transportsnålt samhälle, effektivare fordon och framförande, byte till förnybar energi (eldrivna personbilar och tunga fordon samt byte från fossila drivmedel till biodrivmedel) och energieffektiv infrastrukturhållning. Ett viktigt antagande i klimatscenario är att EU-kraven driver på utvecklingen av elektrifieringen så att ett utbud skapas på marknaden av energieffektiva och eldrivna fordon. Därefter är förhoppningen att svenska styrmedel ska ta vid och ha ytterligare effekt på valet av fordon. Vidare antar klimatscenario att de standardiserade testmetoderna utvecklas så att de speglar verkliga förhållanden för förbrukning och utsläpp. Den svenska biodrivmedelsproduktionen och hur mycket som kommer importeras och exporteras är osäkert. Klimatscenario antar att det successivt efter år 2030 kommer finnas ökade möjligheter till att exportera biodrivmedel. Storleken på den egna produktionen bygger på FFF-utredningen som gjorde bedömningen att 25-30 TWh skulle kunna produceras i Sverige år 2030 av vilket 20 TWh skulle kunna vara tillgängligt för vägtrafiken.

Klimatscenario fastställer tre sätt att öka andelen förnybar energi inom transportsektorn:

- Biobränslen i befintliga motorer
- Biobränslen i därtill anpassade motorer
- El eller vätgas producerad utifrån förnybar energi

Man ser stora potentialer för eldrivna personbilar och lätta lastbilar, 20 % till år 2030 och 60 % till år 2050, samt eldrivna stadsbussar och distributionslastbilar, 83 % till år 2030 och 100 % år 2050.

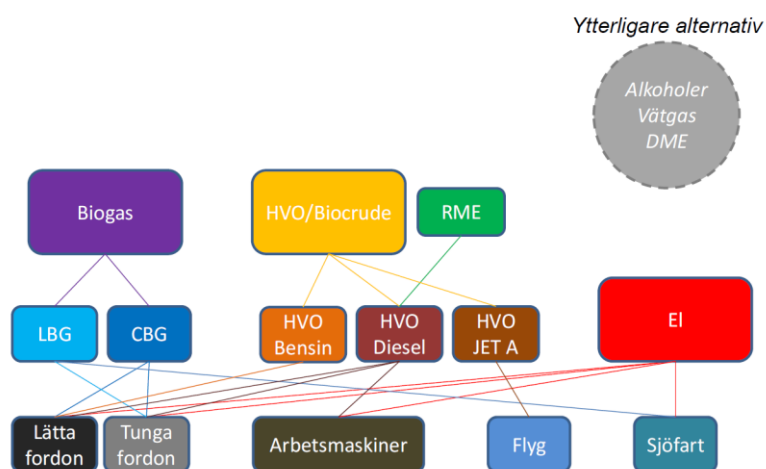
Biodrivmedel och elektrifiering

En svår fråga är hur man ska prioritera mellan olika biodrivmedel och hur snabbt elektrifieringen kommer att gå. Flertalet aspekter kommer vara bidragande till sammansättningen av den framtida fordonsflottan. Klimatscenario har ett tufft mål där de fossila drivmedlen till stor del ska ersättas med

el och biodrivmedel på mindre än 15 år. För att omställningen ska bli effektiv krävs att alla inblandade aktörer samlas kring ett mindre antal alternativ och inte spretar åt för många olika håll. Dessa alternativ måste redan idag vara relativt långt utvecklade vilket gör att det mesta talar för att redan mer eller mindre etablerade bränslen kommer vara de som utvecklas snabbast. Bränslen som kan låginblandas i dagens bränslen eller direkt fungera i befintliga förbränningsmotorer kommer ha lättare att växa på marknaden jämfört med bränslen som kräver stora motormodifikationer eller helt nya motorer. I de fall de fossilfria drivmedlen inte kan användas i redan etablerade distributionsnät, eller där helt nya motorer och fordon måste utvecklas, är en internationell marknad en förutsättning. EU har i sitt infrastrukturdirektiv för drivmedel (Europeiska kommissionen, 2014) lyft upp framförallt metan i gasform eller flytande form, el och på sikt även vätgas. Alla medlemsländer är skyldiga att ta fram en handlingsplan för utbyggnad av infrastruktur för dessa bränslen.

Genom att titta på utvecklingen för de olika alternativa drivmedel som finns på marknaden kan man få en relativt bra bild för hur i alla fall den närmsta framtiden kan komma att se ut. Precis som alla framtidsprognoser och hypotetiska scenarion finns det många osäkerhetsfaktorer, men resultaten kan ändå ge en bra bild över hur det skulle se ut ifall dessa antaganden faller mer eller mindre in. Framför allt ger det en bild över vilka scenarion som kan vara att föredra framför andra. Denna utredning har antagit Trafikverkets basprognos samt klimatscenario för år 2035 som utgångspunkter för ett referensscenario och fossilfria scenarion.

Tänkbara alternativ till fossila drivmedel illustreras i Figur 9. Även andra alternativt såsom alkoholer (metanol och etanol), vätgas och DME är möjliga inom en snar framtid, men kommer troligtvis inte hinna bli betydande andelar av marknaden fram till år 2035.



Figur 9. Tänkbara alternativ för biodrivmedel och el för olika fordonsslag. Bild från Trafikverket (2016a).

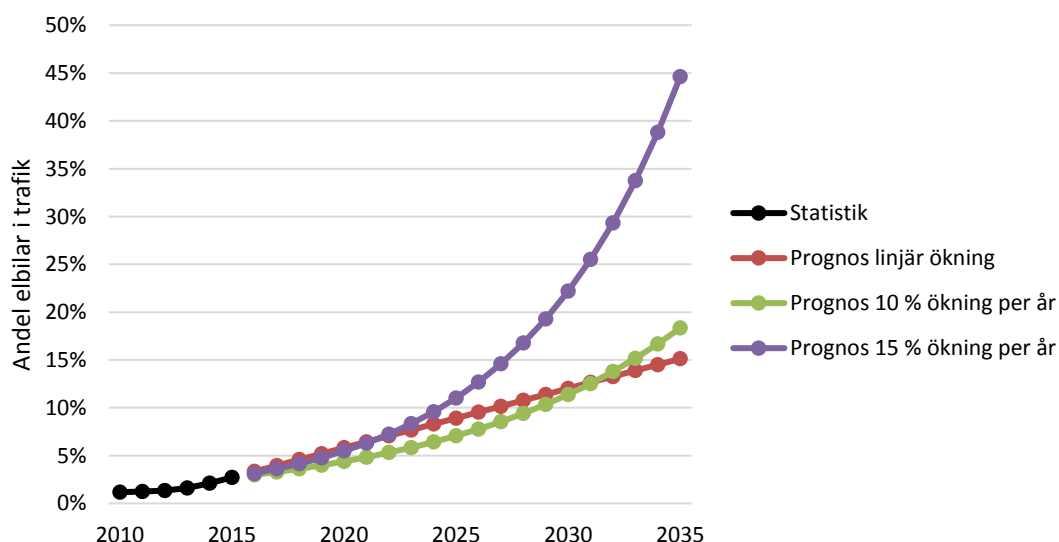
Troligt är att diesel i hög utsträckning kommer ersättas av biodiesel eftersom en vanlig dieselmotor kan köras med biodiesel utan några modifikationer. Många studier rapporterar dock högre utsläpp av NO_x för biodiesel jämfört med fossil diesel. Orsaken till detta är inte helt känt, men syreinhålllet i bränslet kan vara en av huvudorsakerna. Partiklar fungerar som effektiva värmeradiatorer eftersom de mestadels oxideras av syret i bränslet, vilket kan leda till att temperaturen inuti cylindern ökar och därmed resulterar i högre utsläpp av NO_x (Graboski och McCormick, 1998). Lin et al. (2009) anger högre förbränningstemperatur och förbränningstryck som de mest troliga orsakerna.

Partikelutsläppen verkar dock inte vara högre för biodiesel jämfört med traditionell diesel. Biodiesel har oftast lägre kolinnehåll än fossil diesel vilket leder till att det bildas färre partiklar under

förbränningsprocessen. Fettsyrasammansättningen i biodiesel påverkar också formationen av partikelemissionerna. Framför allt har palm- och palmkärnolja kortare fettsyror vilket förbättrar tändningskvaliteten och är därför extra bra ur partikelminskningssynpunkt. Högre syrehalt i biodiesel jämfört med traditionell diesel ger en mer fullständig förbränning och främjar oxidationen av sot. Lägre svavelhalt och färre aromatiska föreningar bidrar till ytterligare minskning av partiklar (Lin et al., 2009).

En knäckfråga för den framtida fossilfria fordonsflottan är hur stor andel som kan elektrifieras fram till år 2035. Förutom bussarna som är avtalsbundna till och med år 2022-2024 och där mycket hänger på SLs beslut, är det framför allt personbilarna som troligtvis kommer att elektrifieras i snabbast takt. Därefter kommer de lätta lastbilarna att följa, men vara en bit efter tidsmässigt. Enligt Trafikverket (2016a) väntas genombrottet för batteribilar och laddhybrider ske först om 5-10 år. På sikt finns goda möjligheter att elektrifiera även de tyngsta fordonen. Inköpspriset kommer vara högre, men detta kompenseras av den lägre bränsleförbrukningen. Redan idag bedöms laddhybridbussar och även helt eldrivna bussar som lönsamma.

Om man utgår från statistiska data från SCB över antalet elbilar (här definierat som el/elhybrid/laddhybrid) i trafik samt nyregistrerade elbilar kan man göra hypotetiska utvecklingskurvor för hur elektrifieringen av personbilsflottan skulle se ut vid olika tillväxttakt. År 2015 var det 2,7 % elbilar där majoriteten var hybrider. Endast 7 % av dessa var rena elbilar, vilket motsvarar 0,2 % av alla personbilar i länet. Dock tror man att elektrifieringen av fordonsflottan ska ta fart och att utvecklingstakten kommer vara hög samtidigt som det kommer att krävas en stor andel rena elbilar i framtidens fordonspark om vi ska nå de högt uppsatta målen om fossilfrihet. Utvecklingen de senaste fem åren har varit i det närmaste linjär varvid man får ganska lika andelar elbilar i trafik år 2035 om man gör en prognos för linjär ökning och en prognos där elbilsandelen ökar med 10 % per år. Vi kan dock förvänta oss att elbilar får ett större genombrott de kommande åren varvid en ökning med 15 % per år skulle vara realistisk (och troligtvis nödvändig för att nå målet att koldioxidutsläppen måste minska med 70 % till år 2030 jämfört med år 2010), åtminstone fram till och med år 2035, sedan blir utvecklingskurvan allt för brant för att anses trovärdig. 15 % ökning per år innebär att 44,6 % av personbilsflottan kommer vara elektrifierad år 2035. Detta illustreras i Figur 10.



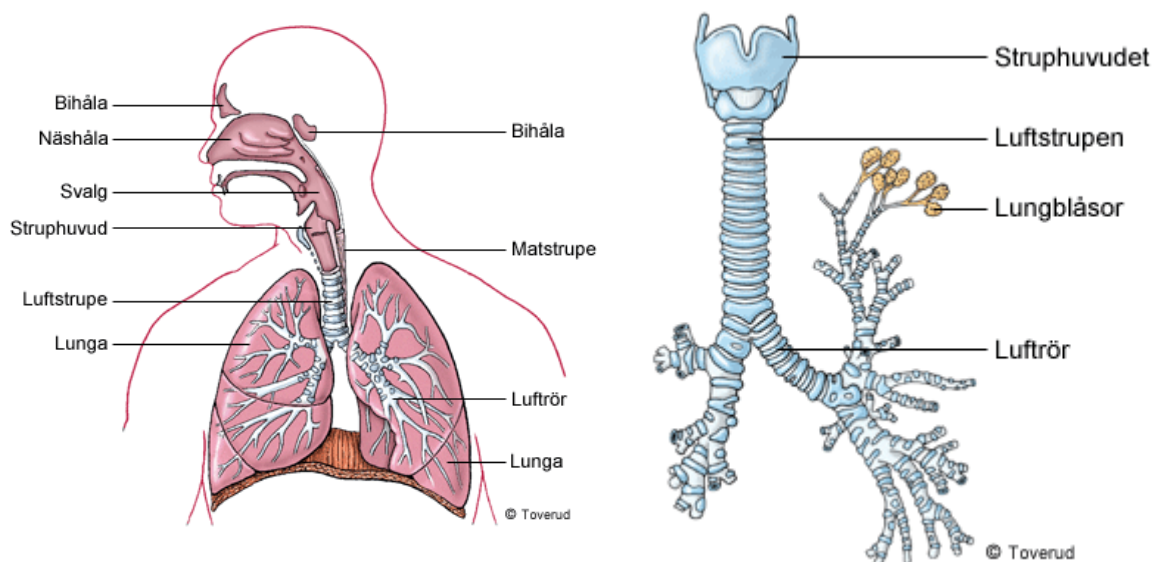
Figur 10. Statistik åren 2010-2015 av andelen elbilar (el/elhybrid/laddhybrid) i trafik i Stockholms län samt hypotetisk utveckling vid olika ökningstakt av andelen elbilar i trafik för åren 2016-2035 (SCB, 2017b).

Hälsa och samhällsekonomi

Hälsoeffekter av luftföroreningar

Luftföroreningar är ett viktigt folkhälsoproblem och kan ge upphov till en rad olika typer av effekter på människors hälsa, allt från att starta sjukdomsprocesser som leder till kroniska sjukdomar hos från början helt friska personer, till att snabbt försämra tillståndet hos redan sjuka personer. Individer med luftvägs- och hjärtrelaterade sjukdomar är mest känsliga för luftföroreningar. Även foster och barn är extra sårbara eftersom deras organ fortfarande är under utveckling (Socialstyrelsen, 2005). Ökade antal astmaanfall och försämringar i kronisk obstruktiv lungsjukdom (KOL) såväl som hjärtsvikt, hjärtarytmier och hjärtinfarkt har visat sig förknippade med ökade nivåer av partiklar (Jerrett et al., 2005). Senare tids forskning har visat att även låga halter av luftföroreningar kräver åtgärder för att minska luftvägs- och hjärtkärlsjukdomar. De minsta partiklarna, framför allt förbränningsgenererade partiklar som är mindre än 2,5 mikrometer i diameter (PM_{2.5}), anses mest skadliga (WHO, 2013a). Dessa partiklar kan ta sig långt ned i luftvägarna där de orsakar irritation och inflammation. Det finns även stor risk att de via lungorna kan ta sig in i den systemiska cirkulationen och påverka blodkärlsväggarna och blodets egenskaper.

Bidraget till partikelhalten i luften skiljer sig beroende på källa. Storleken och den kemiska sammansättningen hos partiklarna varierar beroende på den dominerande källan. Hälsoeffekterna skiljer sig också åt beroende på vilka partiklar som avses. Hur stor del av de partiklar vi andas in som fastnar i luftvägarna, illustrerade i Figur 11, beror på partikelstorleken och vattenlösligheten. De minsta (ultrafina) partiklarna deponeras övervägande långt ner i luftvägarna (lungblåsorna/alveolerna) medan de större partiklarna till stor del fastnar i de övre luftvägarna (näsa, bihålor och svalg). Partiklarnas egenskaper och var de deponeras i luftvägarna avgör kroppens förmåga att ta hand om partiklarna och hur lång tid det tar innan de försvinner ut ur kroppen. Detta antas vara viktiga faktorer för vilka hälsoeffekter partikelexponeringen kan komma att få, men stödet kommer främst från experimentell forskning.



Figur 11. Översikt av människans andningsorgan. Från sjukvårdsrådgivningens hemsida, hämtad 2017-03-20. De övre luftvägarna består av bihåla, näsa och svalg. De nedre luftvägarna består av struphuvudet, luftstrupen, de båda huvudluftrören och de mer finmaskiga luftrören (bronkerna). Längst ner finns de tunnväggiga lungblåsorna (alveolerna) där gasutbytet mellan luften och blodet sker.

Vår kropp har olika sätt att rena luftvägarna, bl.a. har både övre och nedre luftvägarna epitelceller som är slemproducerande. Där fastnar en stor del av partiklarna och kan sedan föras bort genom att celler med flimmerhår föser slemmet uppåt till svalget. Slemmagret kan även lösa upp lättlösliga komponenter i partiklarna. Om man är frisk och inte röker rensas partiklarna bort på ungefär ett dygn från de nedre luftvägarna. De partiklar som når ända ner till lungblåsorna är mycket svårare att bli av med eftersom det inte finns några flimmerhår där. Istället finns det en typ av vita blodkroppar som kallas för alveolarmakrofager som omsluter partikeln och löser upp den. Sedan förs makrofagen bort genom att vandra uppåt i luftvägarna eller in i lungvävnaden och förs bort av lymfsystemet. Vissa makrofager är permanent fasta i lungorna vilket betyder att partiklar som tas om hand av dessa makrofager kommer att bli kvar i lungorna om de är tillräckligt svårlösliga.

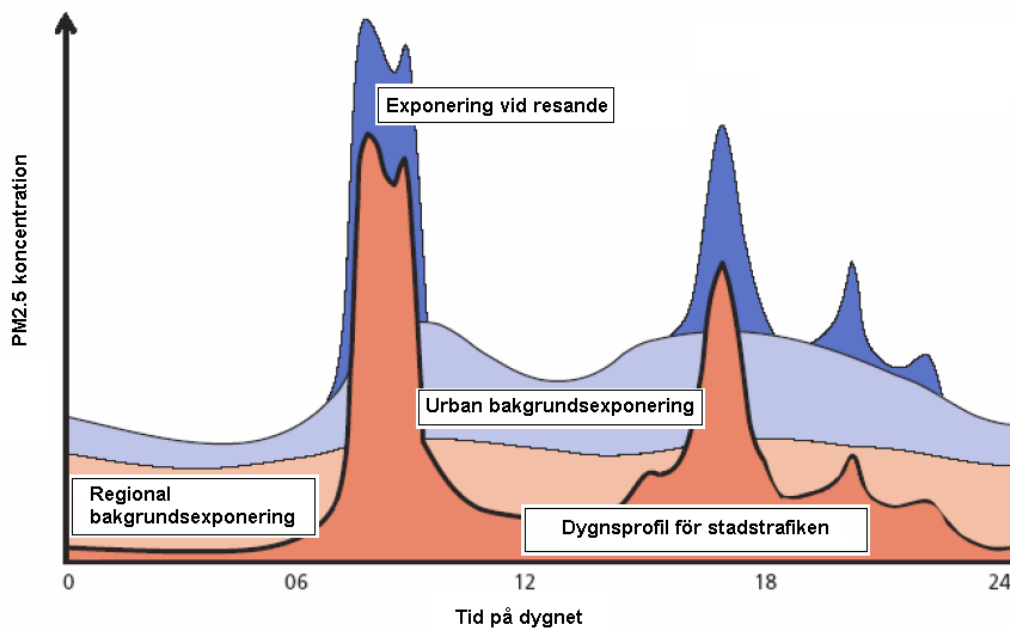
I städer domineras omgivningsluften av i princip tre olika storleksintervall av partiklar där källan varierar:

- ultrafina partiklar som främst kommer från bensen och dieselfordon ($< 0,1 \mu\text{m}$). Även annan förbränning, framför allt vedeldning, kan vara en lokal källa.
- långdistanstransporterade partiklar ($0,1 - 1 \mu\text{m}$).
- grova partiklar, främst från slitage av vägbanan ($1 - 10 \mu\text{m}$). Slitage av bromsar och däck kan också bidra.

De ultrafina avgaspartiklarna kan delas in i två klasser. Partiklar större än 30-50 nm (bildas p.g.a. ofullständig förbränning) utgör den största massan och kan till stor del reduceras om fordonen utrustas med partikelfilter. Partiklar mindre än 30-50 nm är mestadels volatila, vilket innebär att de lätt förångas och övergår i gasform. I dagens motorer utgör dessa partiklar mer än 90 % av det totala antalet avgaspartiklar. Det är denna partikelfraktion som har störst potential att ta sig ner i lungblåsorna, lösas upp i kroppsvätskorna och ta sig ut i blodcirkulationssystemet.

Vägtrafiken är också största källan för kväveoxider som släpps ut via avgaserna. NO_x är summan av NO och NO₂. I omgivningsluften oxideras NO och bildar NO₂ som kan skapa irritation i andningsorganen. Exponering för höga NO₂-halter ger ökade problem för astmatiker och tycks kunna ge upphov till ökad risk att utveckla sjukdomar i andningsorganen, t.ex. astma och KOL. Även samband mellan exponering av NO₂ och ökad dödlighet har konstaterats av flertalet studier i en aktuell översikt (Faustini et al., 2014).

Partikelhalterna kan variera kraftigt mellan olika miljöer, vilket kan ses i Figur 12. På natten är det den regionala bakgrundsluften som stadens befolkning mestadels exponeras för. För Sveriges del är detta långdistanstransporterade partiklar. Dagtid är exponeringen kraftigt förhöjd i samband med resa till och från arbete samt från urban bakgrundsexponering. Dygnsprofilen för stadstrafiken är kraftigt orsakande till den ökade exponeringen vid resa.



Figur 12. Schematisk variation i bidragen till halterna av PM2.5 i en stad (Sanderson et al., 2005).

Humanstudier har visat att dieslavgaser kan orsaka akuta inflammatoriska reaktioner i lungceller hos helt friska personer redan efter en timmes exponering av dessa partiklar (Lundbäck, 2009; Stenfors et al. 2005). Skillnaden mellan partikelexponering och exponering för gasformiga luftföroreningar är att en enskild partikel inte bara består av ett ämne, utan kan innehålla en rad olika ämnen och därigenom ge upphov till flera olika hälsoeffekter beroende på sammansättning, storlek och form. I Världshälsoorganisationens (WHO) rapport ”Health risks of air pollution in Europe – HRAPIE” (WHO, 2013b), görs bl.a. en sammanfattning om kunskapsläget kring partiklars hälsoeffekter.

Många epidemiologiska studier har kopplat samman långtidsexponering för avgaser och hälsoeffekter som hjärt- och kärlsjukdomar eller bristande lungfunktionsutveckling hos barn. Det är dock svårt att säga vilken källa eller typ av partiklar som är av störst betydelse för effekterna av långtidsexponering. Studier för Stockholmsregionen (LVF, 2007) har visat på samband mellan trafikavgaser och

- lungcancer
- ökat antal sjukhusintag på grund av luftvägssjukdom
- hälsoproblem hos personer med hjärt-, kärl- och lungsjukdomar i samband med dagar när luftföroreningshalterna är förhöjda
- ökad risk för påverkan på luftvägarna hos barn,
- ökad risk för utveckling av barnallergi
- ökad risk för utveckling av astma hos vuxna
- försämrad utveckling av lungfunktionen hos barn
- ökad risk för luftvägssjukdom och allergi bland förskolebarn, som utsatts för luftföroreningar från trafiken under första levnadsåret.
- ökat antal dödsfall per dygn
- ökad risk för låg födelsevikt

Hälsokonsekvensbedömningar

Beräkningar av luftföroreningars hälsopåverkan bygger på epidemiologiska studier som har gett exponerings- och responssamband för olika grupper i en befolkning. En expertgrupp tillsatt av WHO har relativt nyligen analyserat kunskapsläget kring några viktiga luftföroreningar inom ett projekt kallat Review of evidence on health aspects of air pollution, REVIHAAP, (WHO, 2013a). Bedömningarna inom REVIHAAP har sedan utgjort grunden för rekommendationerna beträffande antaganden vid hälsokonsekvensberäkningar presenterade i rapporten från ett näraliggande WHO-projekt (Health risks of air pollution in Europe – HRAPIE (WHO, 2013b). En viktig slutsats från REVIHAAP och HRAPIE är att partiklar från olika källor med olika sammansättning sannolikt har olika toxicitet och hälsoeffekter, men att det inte publicerats tillräckligt med epidemiologiska belegg för att rekommendera källspecifika exponerings-responssamband. Dock presenteras belegg för att små förbränningsgenererade sotpartiklar främst mätt som BC (sotpartiklar) tycks ha stor betydelse för partiklarnas samband med dödlighet och hjärt-kärleffekter (WHO, 2013a).

En äldre studie från Los Angeles i vars analys man beräknade halten av partiklar för varje postnummerområde, erhöll en relativ riskökning på 17 % per $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Jerrett et al, 2005). Många tidigare studier har använt exponerings-responssamband för PM_{2.5} vid beräkningar av luftföroreningars hälsopåverkan (Mueller et al., 2015). För PM_{2.5} har en relativ riskökning på 6 % per $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ använts, vilket har baserats på studier där urbana bakgrundshalter (sekundära, icke-lokala, partiklar) till stor del påverkat exponeringshalten (Hoek et al., 2013). Resultaten visar att vid hälsokonsekvensberäkningar blir den relativa risken baserad på studier med mätningar i urban bakgrund med stort bidrag från sekundära partiklar till PM_{2.5} alldeles för låg om den antas gälla för avgaspartiklar. En meta-analys för black carbon (BC) med studier av olika karaktär resulterade i ett exponerings-responssamband på ca 6 % per $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$, cirka 10 gånger högre än typiskt för PM_{2.5} i bakgrundsluft. Ett angreppssätt är att anta att majoriteten av avgaspartiklarna är BC och därmed använda en relativ riskökning på 60 % per $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Från REVIHAAP och HRAPIE har det även redovisats att de vetenskapliga beleggen har ökat för att NO₂ i sig skulle kunna ligga bakom sambanden mellan långtidsexponering av NO₂ och dödlighet (WHO, 2013a). Tidigare har NO_x och även NO₂ i första hand setts som indikatorer på avgaser, med avgaspartiklar som mer trolig orsak till hälsoeffekterna. En litteraturöversikt av Faustini et al. (2014) fann att den största effekten på total dödlighet kunde observeras i Europa för både NO₂ och PM_{2.5}. I Europa konstaterades en ökning med 7 % per $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ av den totala dödligheten för både NO₂ och fina partiklar, och att effekterna i princip tycks oberoende av varandra.

Det stora europeiska ESCAPE-projektet inkluderade 22 kohorter med en gemensam modell för exponeringsmodellering, varav 5 kohorter från Sverige i sin studie av luftföroreningar och total mortalitet (Beelen et al, 2014). Studien bygger på kontraster i exponering inom respektive stad, d.v.s. drivna av lokala källor. I studiens meta-analys (sammanvägning) fann man för PM_{2.5} en ökad mortalitet på 14 % per $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$, för NO_x 1 % per $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ och för NO₂ en ökad mortalitet på 2 % per $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$. I en analys med PM_{2.5} och NO₂ simultant ändrades inte resultatet för NO₂ medan för PM_{2.5} blev effekten 12 % per $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Denna stora europeiska studie inkluderande data från svenska kohorter som bedöms ha hög relevans som underlag för hälsokonsekvensberäkningar. Flera tidigare svenska hälsokonsekvensberäkningar gällande bilavgaser, bl.a. avseende Stockholm, har årsmedelhalten av NO_x använts som bästa indikator på avgaseffekter i frånvaro av tillräcklig kunskap om data om avgaspartiklar. Som lämpligt exponerings-responssamband har relationen i en studie av 16 000 män i åldern 40-49 år bosatta i Oslo använts, där halten beräknats med en spridningsmodell med fin geografisk upplösning (Nafstad et al, 2004), vilket liknat förfarandet i konsekvensberäkningarna. Studien fann 8 % ökning av totaldödligheten (exklusive våldsam död) per $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$. En svensk studie fann för män i

Göteborg i åldern 48-52 år vid uppföljningens start att totaldödligheten ökade med 6 % per 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Stockfelt et al., 2015), vilket är ganska likt resultaten i Nafstad et al. (2004). Om även de som var äldre vid uppföljningen start inkluderades blev effekten av NO_x bara 2 % per 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, d.v.s. betydligt mer likt resultatet i ESCAPE.

Samhällsekonomisk kostnad till följd av hälsoeffekter

För att göra en kostnadsbedömning och ekonomisk värdering av de hälsoeffekter som beräknas uppkomma p.g.a. exponering av luftföroreningar krävs tre parametrar:

- **Identifiering** av alla konsekvenser av luftföroreningarnas hälsoeffekter där det finns evidens som visar säkra exponeringssamband.
- **Mätning** för att påvisa evidens av storleken på effektsambandet från utsläpp till uppkommen hälsoeffekt. Denna typ av effektsamband krävs för alla inkluderade hälsoeffekter för att man ska kunna summera dessa till en totaleffekt av en luftföroreningskälla.
- **Värdering** där respektive hälsoeffekt ges ett monetärt värde. Dessa summeras sedan ihop till en total ekonomisk värdering.

Det totala ekonomiska värdet av hälsoeffekterna beräknas från skadekostnadsansatsen genom att summera de tre huvuddelarna:

- **direkta behandlingskostnader** (både för mortalitet och sjukdom),
- **produktionsbortfall** (ekonomisk värdering av de produktionsförluster som uppkommer p.g.a. förtida död eller sjuklighet) samt
- **det ekonomiska värdet av minskad mortalitet och sjukdom** (ofta uttryckt som betalningsviljan för att minska risken för mortalitet och sjukdom), vilket baseras på betalningsviljeansatsen.

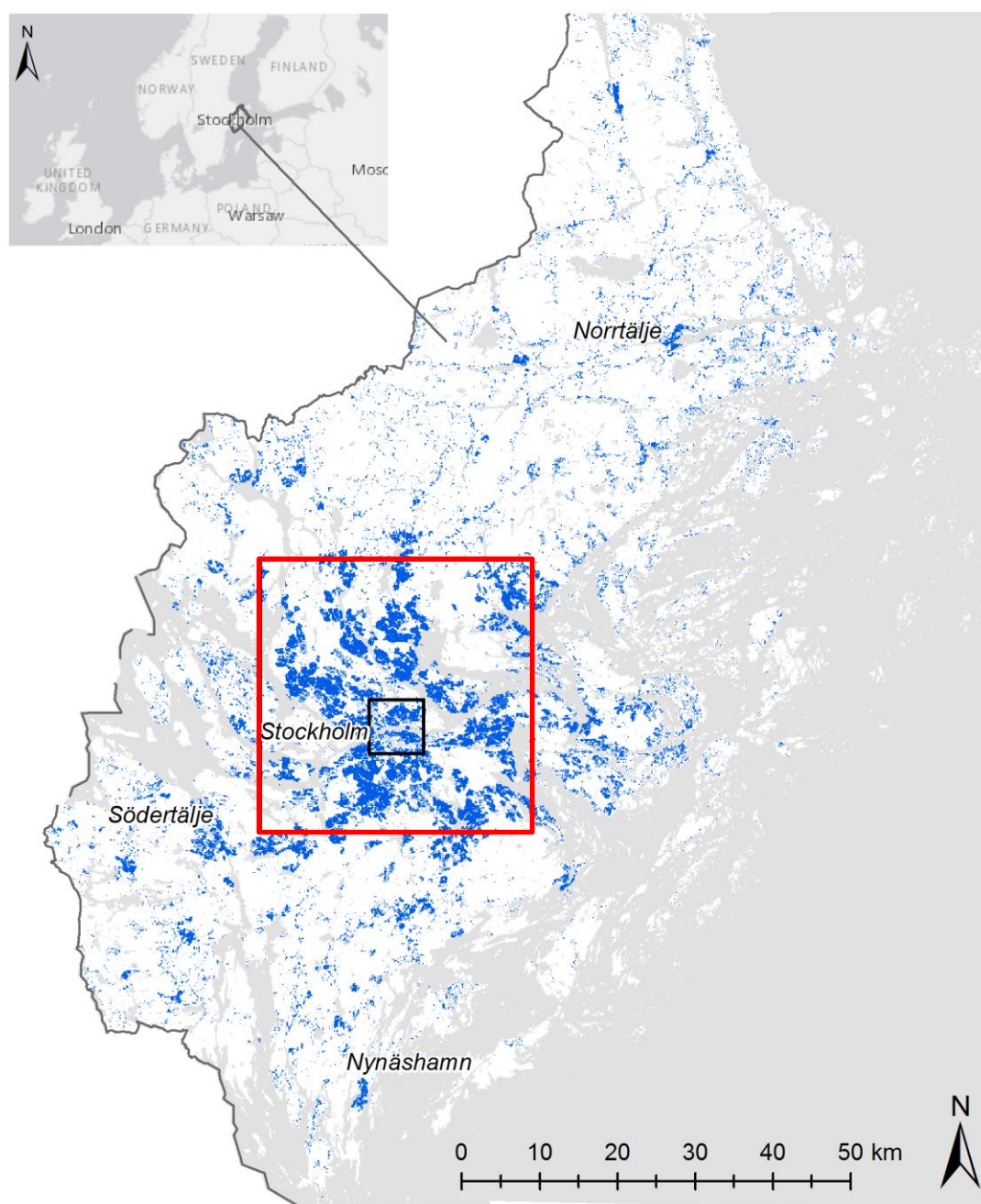
Majoriteten av de totala ekonomiska kostnaderna av hälsoeffekterna av luftföroreningar antas vara mortalitet (förtida död) (Trafikverket, 2016b). Ofta baseras värdet av förtida död på värdet av ett statistiskt liv (VSL). Förenklat kan man säga att VSL representerar samhällets betalningsvilja för att förhindra ett dödsfall. Praxis vid utvärderingar av åtgärder inom infrastrukturen är att använda ”liv” för att värdera effekter av förtida död. I hälso- och sjukvården värderas istället hälsoeffekter i ”levnadsår”.

Metod

Beräkningsområde

Projektet omfattar analys av Stockholms län. Beräkningsområdet (Storstockholm) utgörs av ett kvadratisk område med storleken 35 km x 35 km, röd ruta i Figur 13, och beräkningsrutor med en upplösning av 100 m x 100 m. Beräkningsområdet motsvarar till stor del Stockholms län sett till invånarantalet (78 %) även om ytan för hela länet är betydligt större. Eftersom beräkningarna befolkningsviktas, och majoriteten av Stockholms läns befolkning bor inom beräkningsområdet, görs antagandet att skillnaden är väldigt liten.

Antal invånare Storstockholm: 1 717 151 personer.



Figur 13. Beräkningsområdets storlek och geografiska lokalisering, markerat med röd ruta.

Beräkningsunderlag

Emissionsdatabas

För beräkningarna används emissionsfaktorer som finns i HBEFA 3.2 (The Handbook of Emission Factors for Road Transport) som är en internationell emissionsdatabas för Europa. Emissionsfaktorerna i HBEFA beräknas utifrån fyra olika trafikflödesklasser; free flow, heavy, saturated och stop and go. För Stockholms län gäller den fördelning som presenteras i tabell 2. Emissionsfaktorer för kallstart samt avdunstning finns i HBEFA för alla fordonstyper. Implementeringen av olika euroklasser (pre-Euro till Euro 6) är uppdelad i underkategorier för att på bästa möjliga sätt reflektera verkliga förhållanden.

Tabell 2. Fördelning mellan trafikflödesklasser i Stockholms län.

	Free flow		Heavy		Saturated		Stop and go	
	30-70 km/h	80-120 km/h	30-70 km/h	80-120 km/h	30-70 km/h	80-120 km/h	30-70 km/h	80-120 km/h
Personbil	15,7 %	89,4 %	52,4 %	9,6 %	28,1 %	1,0 %	3,9 %	0,1 %
Lätt lastbil	15,6 %	88,7 %	52,1 %	9,8 %	28,3 %	1,4 %	4,0 %	0,1 %
Tung lastbil	15,8 %	90,4 %	52,6 %	9,1 %	27,8 %	0,5 %	3,9 %	0,05 %
Buss	15,4 %	88,9 %	51,7 %	9,7 %	28,8 %	1,3 %	4,1 %	0,1 %

HBEFA-modellen är anpassad för beräkningar på nationell nivå. För beräkningar av mer specifika områdesindelningar krävs trafikdata för aktuellt område samt aktuell trafiksammansättning (antal bilar av olika typ, drivsystem, årsmodell och euroklass) som gäller för just det område man önskar göra beräkningar för. För Storstockholms vägtrafik baseras antalet fordonstyper, vissa drivmedel och fordonsandelarna på portaldata från trängselskattesystemet och vägtrafikregistret för att ge en så lik bild av verkligheten som möjligt. Östra Sveriges Luftvårdsförbunds emissionsdatabas (EDB) används (LVF, 2016) för att simulera emissionsscenario och beräkna nuvarande utsläpp från olika sektorer och bidragande källor inom dessa.

Olika scenarion för fordonsflottan år 2035

Fossil fordonsflotta år 2035 (BAU 2035)

BAU 2035 är enligt Trafikverkets prognoser för fordonsflottans utseende år 2035 när vi fortsätter att bruka de traditionella fossila bränslena på det sätt som vi gör idag enligt ”business as usual”. Underlaget bygger på Trafikverkets rapport ”Prognos för personresor 2030 – Trafikverkets basprognos 2015” (Trafikverket, 2015) och uppgifter om emissionsfaktorer som finns i HBEFA för år 2035, anpassade för beräkningsområde Storstockholm. Denna fordonsflotta utgör referensscenariot och ligger till grund för de relativa jämförelser som görs mot de fossilfria scenariona. För scenarioberäkningarna hålls det totala trafikarbetet konstant mellan år 2015 och år 2035.

Beräkningsåret 2035 har valts eftersom det är det mest avlägsna året med uppdaterade emissionsfaktorer i HBEFA. I fordonsflottan för BAU ingår drivmedlen bensin, diesel, etanol och gas och fordonstyperna buss (diesel, etanol, gas), personbilar (diesel, etanol, gas, bensin), lätta lastbilar (diesel, bensin) samt tunga lastbilar (diesel).

I tabell 3 ges emissionsfaktorer både för BAU 2035 samt för BAU 2015 (nuläge år 2015). Detta är för att visa på den förbättring som prognostiseras för de befintliga drivmedlen i HBEFA. De sänkta emissionsfaktorerna beror således på teknikutveckling, effektivisering och förbättrad efterbehandling av fordonens utsläpp.

Tyvärr finns inte etanolbussar med i HBEFA efter år 2020 vilket påverkar hela bussflottan i BAU 2035. Emissionsfaktorer för diesel- och etanolbussar har istället antagits vara enligt uppgifter om utsläpp och trafikarbete för hela riket, tillhandahållet direkt av Trafikverket, enligt ett internt protokoll som tas fram genom beräkningar med HBEFA 3.2 med basår 2015 som underlag och kompletterande implementering av nya bränslen som saknas i HBEFA 3.2. Enligt uppgifter ska emissionsfaktorer för etanolbussar finnas i HBEFA 4.1 som kommer under andra halvan av år 2018 (personlig kommentar Mohammad-Reza Yahya, IVL, 18 april 2017). På grund av att emissionsfaktorn för gasbussar ansågs felaktig gjordes istället antagandet att det inte föreligger någon skillnad mellan emissionsfaktorn för gasbussar och dieselbussar för både NOx och PMavgas. Kontakt med Thomas Åkerblom vid Scania gav uppskattade emissionsfaktorer baserade på Scantias certifierade värden för deras 9 liters diesel- och gasmotorer för EUVI. Dessa motorer är typiska för våra stadsbussar och anses därför representativa i denna fråga. Värdena kommer från WHTC cykeln som representerar stads, intercity och landsvägskörning. NOx och PMavgas är enligt detta helt likvärdiga mellan diesel och gas och en faktor på 1,0 kan därmed antas. Detta stöds även av AVL MTCs tester (både chassidynamometer och PEMS) som redovisas i Transportstyrelsens rapport ”Swedish In-Service Testing Program on emissions from heavy-duty vehicles” (Transportstyrelsen, 2015), där man kunde se att det inte förelåg någon större skillnad för NOx och avgaspartikelemissioner mellan diesel- och gasbussar.

Tabell 3. Emissionsfaktorer för NOx och PMavgas i BAU 2035 och BAU 2015, för beräkningsområde Storstockholm.

Fordonstyp	Drivmedel	NOx (g/fkm)		PMavgas (mg/fkm)	
		2015	2035	2015	2035
Buss	Diesel	5,24	0,33*	76,9	4,96*
Buss	Etanol	2,95	0,37*	14,5	5,80*
Buss	Fordonsgas	3,03	0,33**	17,0	4,96**
Lastbil	Diesel	5,38	0,52	77,3	8,13
Lätt lastbil	Bensin	0,29	0,05	3,97	2,11
Lätt lastbil	Diesel	0,71	0,13	24,0	1,59
Personbil	Bensin	0,15	0,03	1,72	1,47
Personbil	Diesel	0,54	0,12	9,37	2,64
Personbil	Etanol	0,06	0,03	0,94	1,57
Personbil	Fordonsgas	0,07	0,05	1,23	1,45

* Emissionsfaktorerna för bussar är Trafikverkets emissionsfaktorer för hela riket.

** Baseras på förhållandet mellan diesel och gas enligt experter på området, vilket innebär ett antagande att det inte föreligger någon skillnad mellan emissionsfaktorn för gasbussar och dieselbussar.

De drivmedel som finns i HBEFA är inte 100 % fossilbaserade utan består av viss inblandning av biobränslen eller är hybridfordon där fordonen har motorer för två olika drivmedel, enligt Tabell 4. Totalt sett, med hänsyn till trafikarbetet för olika fordonstyper med olika bränslen, är fordonsflottan till 80 % fossilbränslebaserad i BAU 2035. Detta kan jämföras med BAU 2015 som är 84 % fossilbränslebaserad.

Ökad andel elfordon finns med i scenariot men inte beskrivet i modellen eftersom den anses så pass liten. Istället är trafikarbetet minskat i motsvarande grad. I den senaste prognosen från år 2015 räknade Trafikverket med en andel eldrift för nya personbilar på 1 % fram till och med år 2025 som sedan ökar

till drygt 2 % till år 2035. Sannolikt kommer detta att höjas i kommande prognoser (personlig kommentar Håkan Johansson, Trafikverket, 2016-05-17). Ett sätt att ta hänsyn till andelen el i BAU 2035 är att anta prognosticerad andel elfordon av exempelvis bensinpersonbilar och därmed anta nollutsläpp för denna andel. Eftersom detta skulle få en ytterst marginell påverkan på den totala befolkningsviktade exponeringshalten (minskning med 1 %) gjordes bedömningen att behålla BAU 2035 oförändrad.

Tabell 4. Fordonstyper och drivmedelsutseende i BAU 2035.

Fordonstyp	Drivmedelsbenämning	Inblandning
Buss	Diesel	8,0 % FAME
		13,2 % HVO
Buss	Etanol	100 % etanol
Buss	Fordonsgas	68,1 % biogas
		31,9 % CNG
Tung lastbil	Diesel	8,0 % FAME
		13,2 % HVO
Lätt lastbil	Bensin	5,5 % etanol
Lätt lastbil	Diesel	8,0 % FAME
		13,2 % HVO
Personbil	Bensin	5,5 % etanol
Personbil	Diesel	8,0 % FAME
		13,2 % HVO
Personbil	Etanol	23,9 % etanol
		76,1 % bensin
Personbil	Fordonsgas	68,1 % biogas
		31,9 % CNG

Fossilfri fordonsflotta år 2035 (FFF 2035)

I denna utredning kommer definitionen för fossilfri fordonsflotta att vara nollanvändning av fossila drivmedel för vägtrafiken inom Storstockholm och därmed nollutsläpp av fossilt kol i slutskedet av drivmedlets livscykel. Det rör sig därmed inte om klimatneutralitet, som är målet för år 2045 (nollutsläpp sett till hela livscykeln), men inte heller om regeringens definition för fossilfrihet år 2030 (vägtrafikens användning av fossil energi och därmed de direkta koldioxidutsläppen ska minska med minst 80 % till år 2030 jämfört med år 2010). Denna definition möjliggör direkt jämförelse mellan en fordonsflotta enligt scenario BAU 2035 (inkluderad fossila drivmedel och därmed de utsläpp som följer av dessa) och en fordonsflotta som enbart består av fossilfria drivmedel (där utsläppen av fossilt kol är noll, men andra ämnen fortsätter att emitteras).

Ingen hänsyn till skillnaden gällande fordonsflottans tillväxt för de olika scenarierna tas, d.v.s. totala trafikarbetet är detsamma för alla beräkningsscenarier samt för BAU 2015 (nuläget år 2015). Däremot förändras fördelningen av trafikarbetet inom den totala fordonsflottan beroende på andelen av respektive bränsle. Beteendeförändringar, som t.ex. mer kollektivt resande och cykling, åtgärder som påverkar trafikarbetet, t.ex. höjd trängselskatt, miljözoner, höjda parkeringsavgifter, bonus-malus o.s.v., samt konjunktur, prisutveckling m.m., jämfört referensscenariot, tas inte i beaktande. Utsläpp under andra delar av drivmedlets livscykel (s.k. ”well-to-wheels”) tas inte med i beräkningarna, vilket innebär att

absoluta nivåer av beräknade emissioner och exponeringshalter endast avser utsläppsförändringar vid slutanvändningen av fordon i trafik. Fokus ligger istället på skillnaden i befolkningens exponering och vad den innebär för skillnader i hälsopåverkan och samhällsekonomisk kostnad alternativt besparing som kan bli resultatet vid övergången till en fossilfri fordonsflotta i Stockholm. Som påpekats tidigare utgörs BAU 2035 av 20 % biobränslen vilket kan jämföras med 16 % för BAU 2015. Även om ingen hänsyn tas i skillnad gällande fordonsflottans tillväxt mellan de två BAU-scenarierna så sker det en omfördelning inom den totala fordonsflottan, t.ex. ses en stor ökning av trafikarbetet för biogasbilar (från 1,9 % till 7,2 % av den totala personbilsflottan). Den antagna inblandningen av biobränslen i de fossila bränslena antas vara oförändrad i enlighet med Trafikverkets prognos.

Eftersom framtiden är oviss gjordes valet att titta på några olika sammansättningar av FFF 2035, för att om möjligt skilja ut mer eller mindre fördelaktiga alternativ för att uppnå bäst resultat sett ur ett hälso- och samhällsekonomiskt perspektiv. Fem olika FFF-scenarion har studerats, presenterade i Tabell 5-9, där de första fyra är tänkta att täcka in de mest ”optimistiska” scenariona. Valen baseras på det mest troliga fossilfria alternativet som helt kan ersätta ett traditionellt fossilt drivmedel. De bränslen som redan är fossilfria behålls om de finns i det valda scenariot, annars ersätts de med en annan trolig fossilfri ersättare. Vad gäller biodiesel finns flera alternativ; FAME eller HVO, se Appendix. El som drivmedel avser rena elbilar med nollemissioner.

Det s.k. expertscenariot har tagits fram genom en enkät som besvarades av experter vid Trafikverket och Miljöbilar i Stockholm. De övergripande åsikterna presenteras i Appendix där även enkäten finns till förfogande under Bilaga 1.

FFF 2035 biodiesel och el

Detta scenario inkluderar enbart biodiesel och el. Biodiesel är en mycket tänkbar ersättare till diesel medan etanol- och bensindrivna fordon kan tänkas elektrifieras helt.

Tabell 5. Fossilfritt scenario där biodiesel och el ersätter de bränslen som finns i BAU 2035.

Fordonstyp	Drivmedel BAU 2035	Drivmedel FFF 2035	Andel inom resp. fordonskategori (%)
Buss	Diesel	Biodiesel	61,0
Buss	Etanol	El	14,0
Buss	Fordonsgas	Biodiesel	25,0
Lastbil	Diesel	Biodiesel	100,0
Lätt lastbil	Bensin	El	3,5
Lätt lastbil	Diesel	Biodiesel	96,5
Personbil	Bensin	El	32,4
Personbil	Diesel	Biodiesel	57,6
Personbil	Etanol	El	2,8
Personbil	Fordonsgas	Biodiesel	7,2

FFF 2035 biodiesel, el och biogas

Detta scenario inkluderar, förutom biodiesel och el, även biogas. Skillnaden mellan detta scenario och det första scenariot är att de fordon som redan drivs med fordonsgas i BAU 2035 fortsätter att drivas med gas (biogas).

Tabell 6. Fossilfritt scenario där biodiesel, el och biogas ersätter diesel, etanol och bensin i BAU 2035.

Fordonstyp	Drivmedel BAU 2035	Drivmedel FFF 2035	Andel inom resp. fordonskategori (%)
Buss	Diesel	Biodiesel	61,0
Buss	Etanol	El	14,0
Buss	Fordonsgas	Biogas	25,0
Lastbil	Diesel	Biodiesel	100,0
Lätt lastbil	Bensin	El	3,5
Lätt lastbil	Diesel	Biodiesel	96,5
Personbil	Bensin	El	32,4
Personbil	Diesel	Biodiesel	57,6
Personbil	Etanol	El	2,8
Personbil	Fordonsgas	Biogas	7,2

FFF 2035 biodiesel och biogas

Detta scenario inkluderar enbart biodiesel och biogas. Biodiesel är fortsatt en mycket tänkbar ersättare till diesel medan biogas ersätter etanol och bensin.

Tabell 7. Fossilfritt scenario där biodiesel och biogas ersätter diesel, etanol och bensin i BAU 2035.

Fordonstyp	Drivmedel BAU 2035	Drivmedel FFF 2035	Andel inom resp. fordonskategori (%)
Buss	Diesel	Biodiesel	61,0
Buss	Etanol	Biogas	14,0
Buss	Fordonsgas	Biogas	25,0
Lastbil	Diesel	Biodiesel	100,0
Lätt lastbil	Bensin	Biogas	3,5
Lätt lastbil	Diesel	Biodiesel	96,5
Personbil	Bensin	Biogas	32,4
Personbil	Diesel	Biodiesel	57,6
Personbil	Etanol	Biogas	2,8
Personbil	Fordonsgas	Biogas	7,2

FFF 2035 el och biogas

Detta scenario inkluderar enbart el och biogas. Biogas ersätter diesel medan etanol- och bensindrivna fordon elektrifieras.

Tabell 8. Fossilfritt scenario där el och biogas ersätter diesel, etanol och bensin i BAU 2035.

Fordonstyp	Drivmedel BAU 2035	Drivmedel FFF 2035	Andel inom resp. fordonskategori (%)
Buss	Diesel	Biogas	61,0
Buss	Etanol	El	14,0
Buss	Fordonsgas	Biogas	25,0
Lastbil	Diesel	Biogas	100,0
Lätt lastbil	Bensin	El	3,5
Lätt lastbil	Diesel	Biogas	96,5
Personbil	Bensin	El	32,4
Personbil	Diesel	Biogas	57,6
Personbil	Etanol	El	2,8
Personbil	Fordonsgas	Biogas	7,2

FFF 2035 expert

I expertscenariot ersätts ett drivmedel av flera fossilfria alternativ. Valen utgår från Trafikverkets klimatscenario samt expertutlåtanden från Karolina Ekman, Jonas Ericson och Eva Sunnerstedt vid Miljöbilar i Stockholm (Miljöförvaltningen, Stockholms stad) samt Martin Juneholm, Håkan Johansson, Magnus Lindgren och Peter Smeds vid Trafikverket i Stockholm. I Bilaga 2 finns en överblick av dessa.

Expertscenariot antar att andelen elbussar uppgår till 15 %, vilket är ett försiktigt antagande eftersom Trafikverkets klimatscenario antar att andelen är drygt 80 % år 2030. Detta gjordes på grund av att nuvarande innerstadsavtal för bussar löper till år 2022-2024, och kan först efter detta omförhandlas. Med en omsättningstakt på ca 10 år kommer det troligtvis ta ett tag att fasa ut gamla bussar och ersätta dessa med elbussar. Miljöbilar i Stockholms stad gör bedömningen att ca 25 % av SLs bussflotta är eldriven år 2035. Enligt Trafikverkets klimatscenario antas distributionslastbilar vara helt eldrivna år 2025 samt att personbilar och lätta lastbilar är 20 % eldrivna till år 2030 och 40 % till år 2040 (Trafikverket, 2016a). Med distributionslastbilar avses lastbilar tyngre än 3,5 ton som kör korta sträckor för t.ex. leveranser till och från butiker och restauranger. Detta är i enlighet med EU-kommissionens mål om att all citylogistik i princip ska vara koldioxidfri år 2030 (Europeiska kommissionen, 2011).

Expertscenariot har en andel på 54 % el för lätta lastbilar. Antagandet om en hypotetisk utvecklingskurva för elbilar i trafik på 15 % per år gav att 45 % av personbilsflottan skulle vara elektrifierad år 2035. Expertscenariot antar 43 %.

Tabell 9. Fossilfritt scenario enligt ett antal *experters bedömning* där biodiesel, etanol, el och biogas ersätter diesel och bensin i BAU 2035.

Fordonstyp	Drivmedel BAU 2035	Drivmedel FFF 2035	Andel inom resp. fordonskategori (%)
Buss	Diesel	El	15,0
Buss	Diesel	Etanol	15,0
Buss	Diesel	Biodiesel	31,0
Buss	Etanol	Etanol	14,0
Buss	Fordonsgas	Biogas	25,0
Lastbil	Diesel	El	3,0
Lastbil	Diesel	Etanol	7,0
Lastbil	Diesel	Biodiesel	90,0
Lätt lastbil	Bensin	El	3,5
Lätt lastbil	Diesel	El	50,0
Lätt lastbil	Diesel	Biodiesel	46,5
Personbil	Bensin	El	20,0
Personbil	Bensin	Biogas	12,4
Personbil	Diesel	El	20,0
Personbil	Diesel	Biodiesel	37,6
Personbil	Etanol	El	2,8
Personbil	Fordonsgas	Biogas	7,2

Val av emissionsfaktorer för fossilfria drivmedel år 2035

Emissionsfaktorer för de fossilfria alternativen relativt de traditionella fossila bränslena baseras på sökningar i teknisk och vetenskaplig litteratur. Dessa redovisas Tabell 10. I Appendix finns litteraturfakta som de valda emissionsfaktorerna grundas på, tillsammans med kommentarer hur dessa valdes. Detta möjliggör beräkningar av skillnader i befolkningsviktade exponeringshalter mellan BAU 2035 och de olika scenarierna för FFF 2035, vilka sedan används för hälso- och samhällsekonomiska beräkningar. För elfordon är emissionsfaktorn satt till 0 g/fkm (d.v.s. ett antagande om rena elbilar). I de fall där det inte funnits några studier att tillgå har HBEFA BAU 2035 för Storstockholm använts.

I vissa fall blir emissionsfaktorn olika för samma fordon och bränsle i FFF 2035. Detta gäller bl.a. för biogasbussar och emissionsfaktorn för PMavgas. Denna blir 1,3 mg/fkm när man konverterar från etanol till biogas, men 5,0 mg/fkm vid ett byte från diesel till biogas. Detta beror på antagandet att biogasbussar släpper ut 9 % mindre PMavgas än etanolbussar men samtidigt antas diesel- och biogasbussar ha samma emissionsfaktor för PMavgas. Olika studier och olika genomförda tester på skiftande fordon under skiftande förhållanden ger resultat som ibland kan vara mycket svåra att jämföra och applicera. Detta får därför ses som ett intervall där emissionsfaktorn ligger någonstans mellan dessa värden och där båda tas med i beräkningarna.

När man byter mellan traditionella och förnybara drivmedel, kommer kemiska och fysikaliska skillnader hos bränslet att påverka emissionernas karaktär. Effekterna beror även på teknologin, efterbehandlingsmetoder och vilken typ av motor fordonet har. Det är viktigt att komma ihåg att

konverteringskvoterna mellan dagens fossila bränslen och de fossilfria bränslena gäller för studier gjorda på dagens fordon. Till år 2035 kommer sannolikt ny efterreningsteknik och annan teknisk utveckling göra att eventuella kvarvarande utsläpp från diesel- och bensinmotorer är ännu lägre och därmed kan skillnaden vara mindre mellan de olika bränslena.

Tabell 10. Emissionsfaktorer FFF 2035.

Fordonstyp	Tidigare drivmedel	Nytt drivmedel	NOx nytt drivmedel (g/fkm)	Skillnad (%)	PMavgas nytt drivmedel (mg/fkm)	Skillnad (%)
Buss	Diesel	Biodiesel	0,331	0	3,47	– 30
Buss	Diesel	Biogas	0,331	0	4,96	0
Buss	Diesel	Etanol	0,344	+4	5,41	+9
Buss	Etanol	Biogas	0,359	– 4	1,33	– 9
Buss	Fordonsgas	Biodiesel	0,331	0	3,47	– 30
Lastbil	Diesel	Biodiesel	0,522	0	5,69	– 30
Lastbil	Diesel	Biogas	0,522	0	8,13	0
Lastbil	Diesel	Etanol	0,543	+4	8,86	+9
Lätt lastbil	Bensin	Biogas	0,074	+50	2,11	0
Lätt lastbil	Diesel	Biodiesel	0,148	+15	0,63	– 60
Lätt lastbil	Diesel	Biogas	0,049	– 62	0,52	– 67
Personbil	Bensin	Biogas	0,044	+50	1,47	0
Personbil	Diesel	Biodiesel	0,142	+15	1,06	– 60
Personbil	Diesel	Biogas	0,047	– 62	0,87	– 67
Personbil	Etanol	Biogas	0,047	+58	1,46	– 7
Personbil	Fordonsgas	Biodiesel	0,142	+203	1,76	+21

Halter och exponeringsberäkningar

Haltberäkningar har genomförts med en Gaussiskt spridningsmodell integrerad i Airvirosystemet (*AIRVIRO* (19 februari 2010). Hämtad 25 september 2016 från: <http://www.smhi.se/airviro/modules/dispersion/dispersion-1.6846>). En vindmodell har använts för att generera ett representativt vindfält över beräkningsområdet.

Halten av luftföroreningar kan variera mellan olika år beroende på variationer i meteorologiska faktorer och intransport av långväga luftföroreningar. Som indata till vindmodellen används en klimatologi baserad på meteorologiska mätdata under en flerårsperiod (1993-2010). De meteorologiska mätningarna har hämtats från en 50 meter hög mast i Högdalen i Stockholm och inkluderar horisontell och vertikal vindhastighet, vindriktning, temperatur, temperaturdifferensen mellan tre olika nivåer samt solinstrålning. Vindmodellen tar även hänsyn till variationerna i lokala topografiska förhållanden.

Den Gaussiska spridningsmodellen ger den geografiska fördelningen av luftföroreningshalter två meter ovan öppen mark. I områden med tätbebyggelse representerar beräkningarna halter två meter ovan taknivå. Ingen hänsyn har tagits till gaturumseffekter. Upplösningen i beräkningarna är 100 m x 100 m.

Populationsviktade exponeringshalter

För att ge mer vikt åt de områden där flest människor bor har haltberäkningarna befolkningsviktats utifrån den geografiska fördelningen av Storstockholms population. Populationsviktade exponeringshalter för NO_x och PM_{avgas}, C_j , beräknas genom att multiplicera den beräknade koncentrationen med antal invånare inom varje 100 m x 100 m gridruta, p_i , summera alla produkter, $C_j \cdot p_i$, och sedan dividera med den totala populationen, P :

$$C_j = \frac{1}{P} \left[\sum_i^N C_{j,i} p_i \right]$$

N är lika med 122 500 (det totala antalet gridrutor för hela Storstockholms area på 35 km x 35 km). Populationsdata för 2014 för en upplösning på 100 m x 100 m (precis samma gridrutor som för spridningsberäkningen) har erhållits från Statistiska Centralbyrån där data syftar till hembostadsadresser och den totala populationen är 1 717 151.

Hälsoberäkningar

Generellt finns det fyra komponenter som man måste veta för att genomföra hälsoeffektberäkningar för luftföroreningar: en uppskattning av effekten vid en viss haltökning (relativ risk per förändring av koncentration, s.k. exponering-responssamband), grundfrekvensen (baseline) av dödsfall per åldersår (årlig dödlighet till följd av naturliga orsaker), antalet individer i en befolkning som påverkas samt förändringen i exponeringen på grund av förändringen i utsläpp mellan scenarierna.

I denna studie beräknas endast påverkan på mortaliteten (förtida död) eftersom den står för majoriteten av den hälsopåverkan som följer av luftföroreningsexponeringen. Antal förtida dödsfall per år, ΔN , beräknas genom att multiplicera differensen i populationsviktad exponeringshalt mellan BAU 2015 och BAU 2035 samt de olika scenarierna för FFF 2035 med exponerings-responssambandet, baseline för dödsfall per åldersår samt antalet individer i gruppen 30 år och äldre bosatta i Storstockholm enligt

$$\Delta N = \Delta C \times RR \times BLM \times P$$

ΔC = koncentrationsskillnad befolkningsviktad exponering ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) mellan BAU 2015 och BAU 2035 samt de olika FFF-scenariona

RR = exponerings-responssamband (relativ risk per viss förändring av koncentration)

BLM = baseline för dödsfall per åldersår av naturliga orsaker, d.v.s. ej luftföroreningsrelaterat

P = totala antalet individer i gruppen 30 år och äldre bosatta i Storstockholm

I enlighet med exponerings-responssambanden (se nedan) har exponeringsberäkningarna utförts för den vuxna befolkningen 30 år och äldre bosatta i Storstockholm, vilket är 1 066 231 personer år 2014. En grundfrekvens (baseline) av dödsfall per åldersår på 1065 per 100 000 individer har hämtats från Socialstyrelsen för Stockholms län 2013 och applicerats på populationen (Socialstyrelsen, 2013). Exponerings-responssambandet antas lika för alla åldrar i populationen (30 år och äldre).

Förslorade levnadsår per dödsfall, YLL , har beräknats utifrån förhållandet 2013 genom att multiplicera antalet dödsfall, N , med den förväntade livslängden vid åldern när dödsfallet inträffade, L . För Stockholms län är L som medelvärde 10,4 år/fall vilket bygger på fördelningen av åldern bland dödsfallen i gruppen 30 år och äldre i Stockholm 2013 och de förväntade antal år man i genomsnitt hade kvar att leva om man inte dött till följd av luftföroreningar. YLL beräknas enligt

$$YLL = N \times 10,4$$

Val av exponering-responssamband

I flera tidigare svenska hälsokonsekvensberäkningar gällande bilavgaser, bl.a. avseende Stockholm, har årsmedelhalten av NO_x använts som bästa indikator på avgaseffekter i frånvaro av tillräcklig kunskap om data om avgaspartiklar. Exponerings-responssambandet från en studie av 16 000 män i Oslo har ansetts lämpligast att använda (Nafstad et al, 2004), där exponeringsmodelleringen liknade förfarandet i denna konsekvensberäkning. Studien fann 8 % ökning av totaldödligheten (exklusive våldsam död) per 10 µg/m³. Det 95-procentiga konfidensintervallet var 6 % - 11 %.

I en svensk studie av Stockfelt et al. (2015) avseende män i åldern 48-52 år vid studiens start 1973, ökade dödligheten med 6 % (med ett 95-procentigt konfidensintervall på 3 % - 9 %) per 10 µg/m³ NO_x, vilket alltså är något lägre än motsvarande siffra som erhöles i Oslo-studien, men eftersom konfidensintervallen överlappar så är skillnaden inte statistiskt säkerställd.

För att belysa den osäkerhet som finns om olika komponenters unika effekter är det angeläget att utöver NO_x även använda avgaspartiklar som indikator på effekterna av skillnaderna i avgashalter. Som samband mellan partiklar och dödlighet har ibland en studie från Los Angeles använts, i vars analys man beräknade halten av PM_{2.5} för varje postnummerområde, och erhöles en relativ riskökning på 17 % per 10 µg/m³ med ett 95-procentigt konfidensintervall på 5 % - 30 % (Jerrett et al, 2005).

Tidigare forskning betonar att den relativa risk per haltökning som studier beräknat utifrån halten av PM_{2.5} troligen blir för låg för avgaspartiklar eftersom de bara utgjort en del av uppmätt halt av PM_{2.5} men antas mer toxiska än resten. Ett extremt antagande vore att alla avgaspartiklar är sotpartiklar (black carbon, BC). För BC finns nämligen flera epidemiologiska studier och utifrån dessa har den relativa riskökningen uppskattats till 60 % per 10 µg/m³ (Hoek et al, 2014).

Vi har för denna studie kommit till slutsatsen att det vore bäst att använda riskkoefficienter för NO_x respektive partiklar som kommer från samma miljöer och befolkningar, och har därför valt att använda de sammanviktade resultaten från den stora och nyligen genomförda europeiska ESCAPE-studien (Beelen et al, 2014). Enligt den studien ökade mortaliteten med 14 % (med ett 95-procentigt konfidensintervall på 4 % - 26 %) per 10 µg/m³ för partiklar och 1 % (med ett 95-procentigt konfidensintervall på 0 % - 2 %) per 10 µg/m³ för NO_x.

Samhällsekonomisk beräkning

Den årliga monetära samhällsnyttan/samhällskostnaden av färre/mer förtida dödsfall per år har beräknats i enlighet med tidigare svenska konsekvensanalyser (Gustafsson et al., 2014; Sjöberg et al., 2009) baserade på värdet av ett statistiskt liv (VSL). Detta begrepp används ofta vid dödsolyckor i trafiken när åldern inte anses ha någon betydelse, d.v.s. värdet är oberoende av antalet förlorade levnadsår. Men för värdering av förtida dödsfall orsakade av långtidsexponering för luftföroreningar beaktas antalet förlorade levnadsår.

Gustafsson et al. (2014) beräknar de årliga socio-ekonomiska kostnaderna av långtidsexponering av luftföroreningar från New Energy Externalities Developments for Sustainability (NEEDS, 2007) som är en uppföljning av ExternE (External Costs of Energy) och som består av en serie av projekt som startade redan i början av 90-talet och pågick fram till 2005. Under denna period utvecklades en metod för att beräkna miljörelaterade kostnader, det s.k. ”ExternE-Methodology” (*ExternE – External Costs of Energy* (2014). Hämtad 2 februari 2017 från: http://www.externe.info/externe_d7).

Tabell 11 visar den årliga socio-ekonomiska kostnaden för långtidsexponering av luftföroreningar som antas i Gustafsson et al. (2014). De antagna värdena är för Sverige år 2010. Värdet av ett statistiskt liv (VSL) ansätts till 5,48 miljoner kronor per förtida dödsfall och gäller för 11 års förkortad livslängd

orsakade av långtidsexponering för luftföroreningar. Det betyder att värdet av ett förlorat levnadsår (VOLY) blir 498 181 kr.

Tabell 11. Årliga socio-ekonomiska kostnader på grund av långtidsexponering för luftföroreningar enligt Gustafsson et al. (2014).

Dödlighet	Värde	Enhet
Värde av ett statistiskt liv (VSL) med 11 års förkortad livslängd	5 480 000	SEK ₂₀₁₀ /fall
Värde av ett förlorat levnadsår (VOLY)	498 181	SEK ₂₀₁₀ /år

I denna rapport beräknas nyttan/kostnaden av förtida dödsfall på grund av luftföroreningsexponering genom att multipliceras antalet förtida dödsfall per år med VSL. Detta är en enkel skattning av den samhällsekonomiska kostnaden/vinsten p.g.a. luftföroreningars hälsopåverkan eftersom den inte tar hänsyn till nyttan/kostnaden för olika sjukdomsfall. Som framgår av Gustafsson et al. (2014), utgör nyttan/kostnaden för förtida dödsfall den absolut största delen av den socio-ekonomiska värderingen för hälsoeffekterna. För beräkningarna i detta projekt används samma värde som i Gustafsson et al. (2014), d.v.s. 2010 års penningvärde. För en mer detaljerad kostnadsvärdering skulle penningvärdet för år 2035 vara att föredra men i denna förenklade analys valde vi att applicera samma värde för VSL år 2010 som år 2035. Sannolikt kommer antalet förlorade levnadsår per dödsfall på grund av långtidsexponering för luftföroreningar inte att vara samma år 2035 som år 2010.

Osäkerheter

Vilka bränslen kommer dominera, hur ser den procentuella fördelningen ut mellan dem och hur skiljer det sig mellan de olika fordonstyperna? Att besvara dessa frågor är förknippat med osäkerheter eftersom de studier och tester som gjorts inom området varierar stort både i utförande, valet av fordon samt resultat. Att använda sig av olika scenarier är ett sätt att hantera osäkerheter för hur den framtida utvecklingen kommer att se ut.

I Trafikverkets rapport ”Styrmedel och åtgärder för att minska transportsystemets utsläpp av växthusgaser – med fokus på transportinfrastrukturen” (Trafikverket, 2016a) under avsnitt 7.2.2 diskuteras relativt utförligt om de osäkerheter som uppkommer när man gör antaganden om samhällets utveckling. De fokuserar på osäkerheter kring hur långt man kommer att nå vad gäller utvecklingen mot ett mer transportsnålt samhälle, hur fort fordonens energieffektivisering kommer gå och hur övergången till förnybara biodrivmedel samt elektrifiering kommer att se ut.

FFF-utredningen ”Fossilfrihet på väg – Del 1 och 2” (SOU, 2013) diskuterar bl.a. utvecklingen av städerna, den ekonomiska utvecklingen, utvecklingen inom skogsnäring och skogsindustri (som påverkar råvaruproduktionen av bl.a. biodrivmedel), energipriserna (framför allt oljepriset och priset på diesel och gas), elpriser och utvecklingen av elfordon, fordonsflottans utveckling och tillväxt, om vi nått en peak car och om färre tar körkort. Man betonar att osäkerheten, framför allt på längre sikt, beträffande främst befolkningstillväxt och ekonomisk utveckling måste beaktas. Man konstaterar avslutningsvis att framtiden är mycket svårbedömd. De osäkerheter som finns leder till slutsatsen att styrmedel måste utformas så att de har förutsättningar att fungera väl under ganska skiftande omständigheter. Det gäller att inte sikta för lågt för att man är rädd att misslyckas och tyvärr är genomförandetiderna av nya åtgärder oftast allt för långa.

Kommande underrubriker listar de största osäkerhetsmomenten för denna studie.

Antaganden för BAU och FFF år 2035

BAU 2035 bygger på Trafikverkets scenario för en utveckling där vi fortsätter i samma mönster som tidigare. Andelen fossilfritt ökar med blygsamma 4 % för hela fordonsflottan totalt och man antar inte att fordonsflottan elektrifieras. Detta går helt emot regeringens mål att Sverige år 2030 ska ha en fossiloberoende fordonsflotta och visionen att transportsektorn år 2045 ska vara helt klimatneutral. Detta skapar naturligtvis osäkerheter när antaganden och mål går stick i stäv.

Tidigare studier för hur emissionsfaktorn ändras mellan olika bränslen skiljer sig mycket i både utförande och resultat, vilket gör valet av emissionskvoter för de fossilfria alternativa bränslena jämfört de fossila bränslena svårt och osäkert. Genom att använda flera möjliga scenarion för FFF 2035 har vi försökt täcka in de mest extrema scenariona och skapa en form av ytterramar där sanningen om möjligt ligger någonstans mellan dessa. Expertscenariot kompletterar dessa för att ge en bild på vad man i dagsläget tror är det mest realistiska att utgå ifrån. Trots osäkerheterna kan detta tillvägagångssätt ändå ses som en bra indikator.

Utvecklingen av alternativa bränslen kommer att drivas av råvarutillgång, framställningsmöjligheter, import och export, utbyggnad av infrastrukturen för respektive bränsle, tankställen osv. Desto mer elektrifiering vi kan genomföra desto mindre betydelse kommer de enskilda fossilfria bränslena att få. En sammanställning av möjliga alternativa drivmedel ges i Tabell 12.

Tabell 12. Överblick av möjliga alternativa fossilfria drivmedel att ersätta diesel och bensin med.

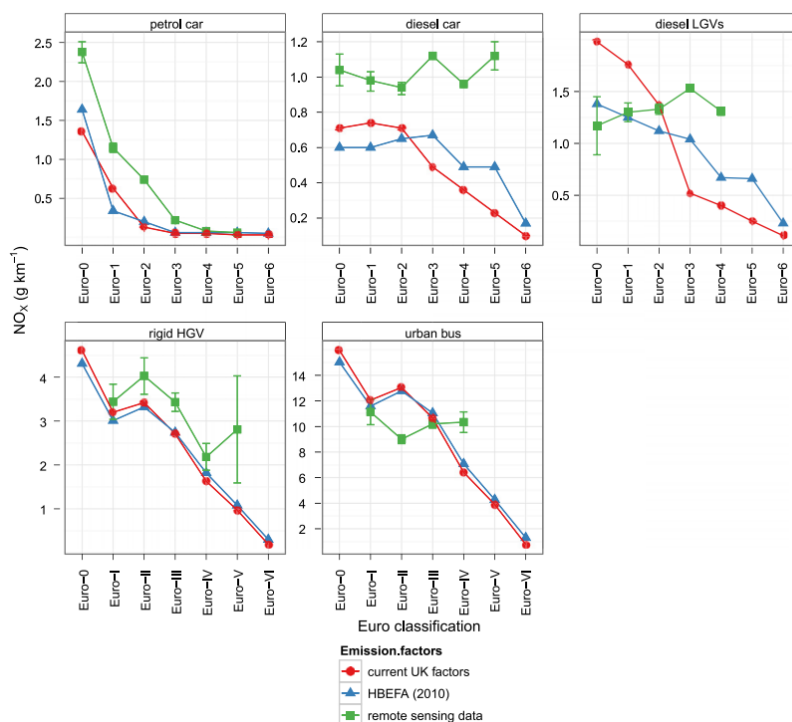
Fossilfritt drivmedel	Metanol	Etanol	DME (dimetyleter)	Biogas (metan)	Vätgas (bränsleceller)	Elektricitet	HVO (hydrerad vegetabilisk olja)	FAME (fatty acid methyl ester)
Råvara	Förgasning av biomassa, koldioxid.	Jäsning av jordbruksprodukter, framför allt spannmål, majs och sockerrör.	Förgasning av biomassa eller framställning ur syntesgas som i sin tur framställs ur t.ex. naturgas (fossil-DME), svartlut eller skogsprodukter (bioDME).	Rörning och termisk förgasning av biomassa (slaggprodukter från reningsverk, organiskt hushålls- och industriavfall, slakteriavfall, gödsel).	Biomassa, sol, vind (förnybart), naturgas (fossilt).	T.ex. sol-, vind- och vattenkraft (förnybart) eller kolkraft (fossilt).	FAME som processats. Sverige: råttolja från Preem och slakteri- produkter och animaliska fetter från Neste i Finland.	Vegetabiliska eller animaliska oljor, t.ex. solrosolja, palmolja, fiskolja, spillolja, rapsolja (RME).
Motortyp	Ottomotorer och bränsleceller.	Ottomotorer och dieselmotorer (tunga fordon, ED95). Kan användas i bränsleflexibla fordon (E85).	Diesel-motorer.	Ottomotorer och specialbyggda dieselmotorer. Bi-fuel tillsammans med bensin.	Bränsleceller och förbränningsmotorer.	Elmotorer (elfordon) och elmotor/ förbränningsmotor (hybrid/ laddhybrid).	Förbränningsmotorer och bränsleceller.	Dieselmotorer.
Plus +	Kan lågiblandas i bensin. Hög energieffektivitet. Hög oktantal. Kan lagras distribueras och hanteras vid normalt lufttryck.	Kan lågiblandas utan att motorn påverkas.	Gasform men kan lagras i flytande form.	Hög nationell produktion (>90 % idag). Kan blandas upp till 100 %. Skattebefriad till utgången av år 2020.	Längre räckvidd än för elmotorer. Noll emissioner.	Noll emissioner.	Kan ersätta diesel till 100 %.	Kan blandas med fossil diesel upp till 100 % i tunga fordon. Lågiblandning utan modifikation av motorn.
Minus –	Ingen marknad eller produktion i Sverige ännu.	Lågt energiutbyte. Sverige saknar jordbruksarealer för hög produktion. Begränsad användning av livsmedelsbaserad e biodrivmedel från år 2020.	Kräver större modifikation av motorn. Både tekniken för framställningen och motorerna behöver utvecklas.		Det saknas infrastruktur och tankställen. Kan inte lagras, distribueras och hanteras vid normalt lufttryck.	Kort räckvidd, ca 5-6 mil. Batteriers livstid osäker. Dyrt idag.	Palmolje- framställning bidrar till skövling av tropiska skogar och klimatförändringar.	Merparten importerar. Palmolje- framställning bidrar till skövling av tropiska skogar och klimatförändringar.

Osäkerheter för spridningsberäkningar

Osäkerheter för beräknade utsläpp och exponering är en del av den totala osäkerheten för spridningsberäkningarna och det är svårt att separera fel som härrör från fordonens utsläpp och själva modelleringen. Spridningsberäknade haltkoncentrationer har tidigare jämförts med mätningar av NO₂ och funnits överensstämma väl med uppmätta halter (LVF, 2006). Denna studie fokuserar på den relativa skillnaden mellan olika scenarion. I detta fall beror inte beräkningsfelen på olika meteorologiska förutsättningar eftersom dessa hålls konstanta. Andra utsläpp förutom vägtrafiken kommer inte att påverka slutsatserna, utan den övervägande osäkerheten med denna metod härrör från den antagna förändringen av fordonsflottan.

Verkliga utsläpp av NO_x jämfört med laboriemätningar

En viktig faktor är osäkerheten vad gäller utsläppen från fordon i verklig trafik. Flera mätningar visar att utsläppen i verklig trafik är högre än de som mäts upp i laboratorier. De emissionsfaktorer som används i denna studie för BAU 2015 och BAU 2035 är från HBEFA 3.2 där emissionsfaktorerna baseras på verkliga körcykler som anses representativa för lokal trafik. Skillnaden mellan laboriemätningar och verklig körning har visat sig skilja mest för dieselfordon. Figur 14 från Carslaw et al. (2011) jämför tre olika sätt att uppskatta emissionsfaktorer. Blå linje visar emissionsfaktorer från HBEFA 3.1 och grön linje är emissionsfaktorer som baseras på remote sensing. Man ser tydligt hur laboriemätningarna och mätningarna från verklig körning har helt olika utveckling för senare års euroklasser. Om emissionsfaktorerna för NO_x antas vara enligt laboriemätningar så kommer med största sannolikhet utsläppen från fordonsflottan att underskattas. Detta ger ett allt för lågt haltbidrag med underskattade hälsoeffekter som följd.



Figur 14. Jämförelse av olika sätt att uppskatta emissionsfaktorer. Källa: Carslaw et al. (2011).

Resultat

Nedan presenteras förändringen i befolkningens exponering, hälsoeffekter och en värdering av hälsoeffekterna avseende dels BAU 2035 relativt BAU 2015, dels FFF scenarierna relativt BAU 2035. Avsikten är att besvara följande frågor:

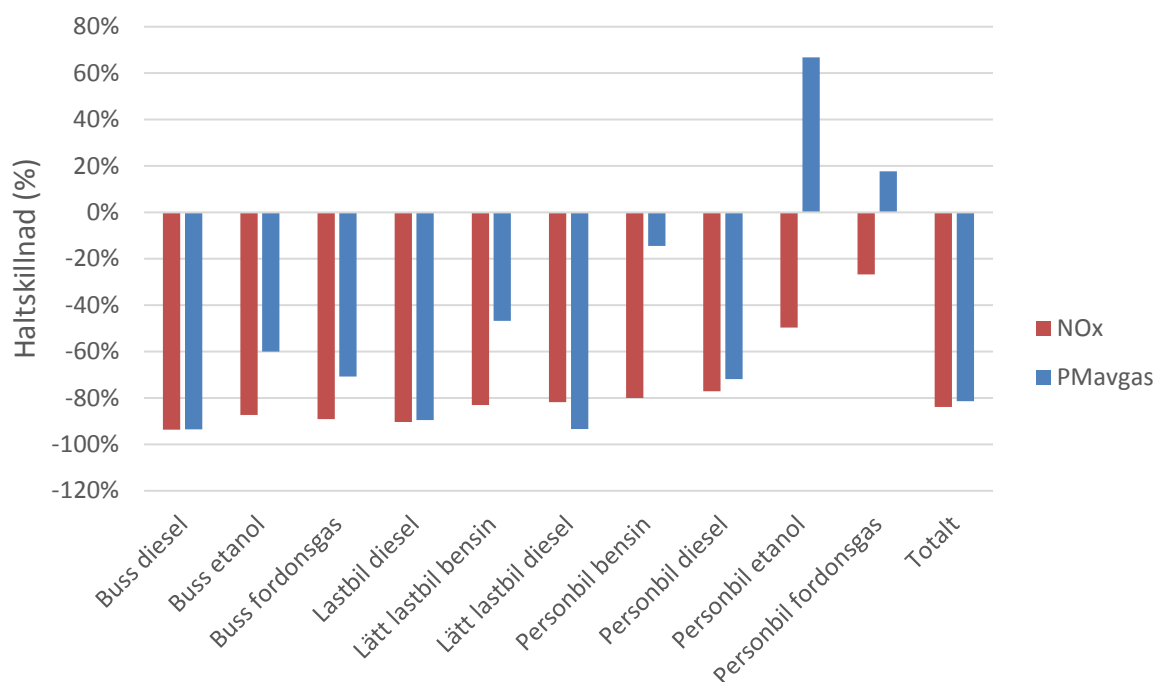
1. BAU 2035 relativt BAU 2015 – Hur långt kan vi nå med enbart teknikutveckling, hårdare utsläppskrav, styrmedel osv., men samtidigt fortsätta att använda fossila drivmedel på samma sätt som vi gör idag? Denna jämförelse ger en bild över den förändring som prognosticeras exklusive en övergång till fossilfria drivmedel.
2. FFF relativt BAU 2035 – Kan vi nå ännu längre genom en övergång till en helt fossilfri fordonsflotta? Vad innebär detta för befolkningens hälsa och vilka kostnader eller besparingar skulle detta kunna ge?

Exponering av trafikavgaser

Den procentuella befolkningsviktade exponeringsskillnaden mellan BAU 2015 och BAU 2035 från respektive fordonskategori, ges i figur 15. Totalt ses en stor haltninskning för både NO_x och PMavgas. Undantag är personbilar som drivs med etanol och fordonsgas där exponeringen av PMavgas ökar från BAU 2015 till BAU 2035. Detta beror på att i BAU 2035 blir etanol- och gasbilar äldre i personbilsflottan jämfört med BAU 2015¹ och äldre bilar har högre emissionsfaktorer för PMavgas eftersom motor- och efterreningssystem föråldras och blir mindre effektivt (personlig kommentar Mohammad-Reza Yahya, IVL, 24 april 2017). Ökningen i exponeringen för PMavgas är ca 0,5 % per år. För personbilar är dock diesel och bensin i princip helt dominerande vilket gör att etanol- och gasbilar endast bidrar med en väldigt liten del till det totala bidraget, något som ses tydligt i Figur 16.

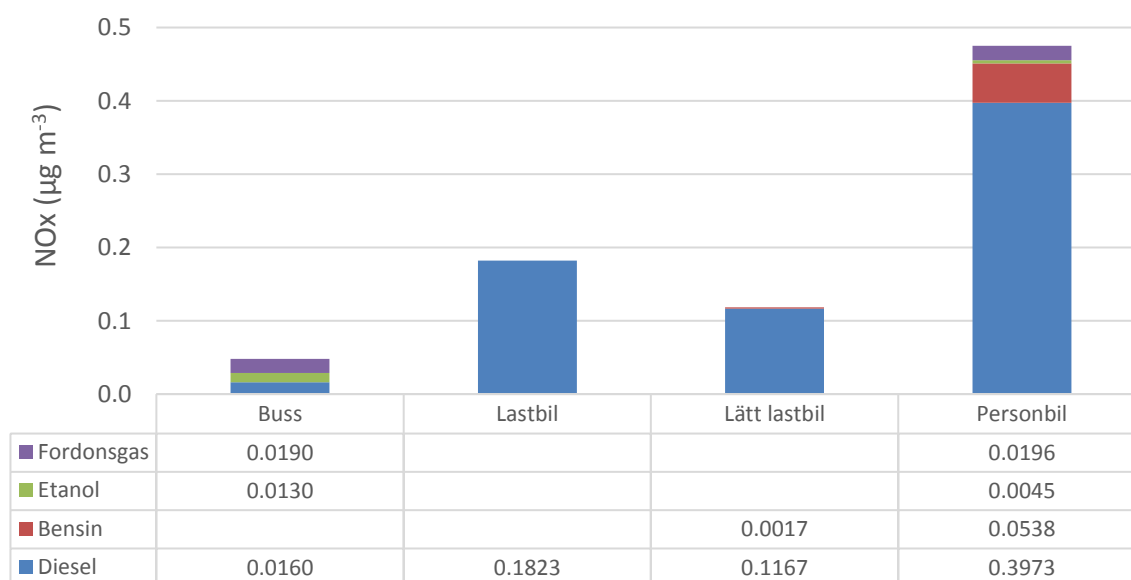
Resultatet för fordonsflottan som helhet i enlighet med BAU tack vare teknikutveckling, styrmedel och anpassning till hårdare utsläppskrav är kraftigt minskade halter mellan år 2015 och år 2035 på totalt 84 % och 81 % för NO_x respektive PMavgas. I detta inkluderas inte några bränslebyten, förutom den interna förändring som sker inom respektive fordonskategori (bl.a. att andelen gasbilar ökar). Man kan därmed konstatera att man med teknikutveckling, antagna styrmedel och hårdare utsläppskrav kommer långt när det gäller att minska utsläppen av NO_x och PMavgas från trafiken år 2035. Detta gäller givetvis under förutsättning att de emissionsfaktorer som ligger till grund för utsläppsberäkningarna stämmer (se vidare under Diskussion).

¹ År 2035 minskar andelen etanolbilar från 4,88 % till 0,56 % och andelen gasbilar ökar från 0,92 % till 1,31 %.



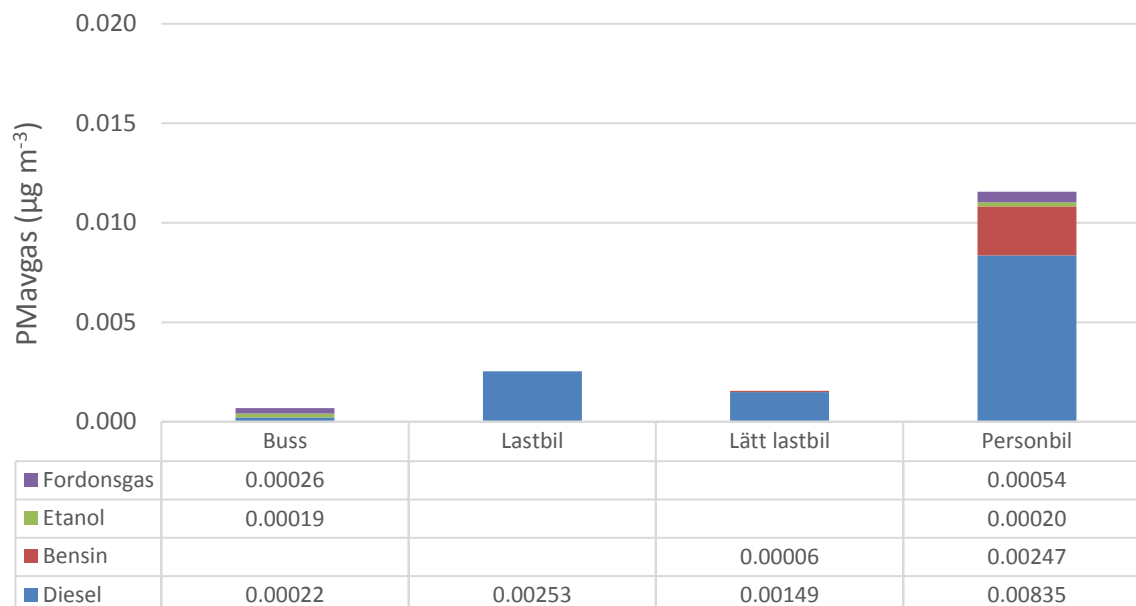
Figur 15. Skillnad i befolkningsviktad exponeringshalt för NOx och PMavgas (%) mellan BAU 2015 och BAU 2035 för respektive fordonskategori och bränsle.

Figur 16 visar befolkningsviktad exponeringshalt för NOx ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) med utsläpp enligt BAU 2035. Diesel bidrar till huvuddelen av halterna (100 % för lastbil, 99 % för lätt lastbil och 84 % för personbil). Det är endast för bussar som diesel inte är dominerande utan bidrar till ungefär lika stor del som fordonsgas och etanol. För personbilarna bidrar bensin fortfarande med en betydande del till halterna (11 %). Den totala befolkningsviktade halten för NOx är $0,824 \mu\text{g}/\text{m}^3$ där utsläpp av diesel, bensin, etanol och fordonsgas bidrar med 86 %, 7 %, 2 % respektive 5 %.



Figur 16. Befolkningsviktad exponeringshalt ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) för NOx BAU 2035 för hela befolkningen, uppdelat för de olika fordonslagen samt hur mycket vardera bränslet bidrar till den totala halten inom varje fordonsslag.

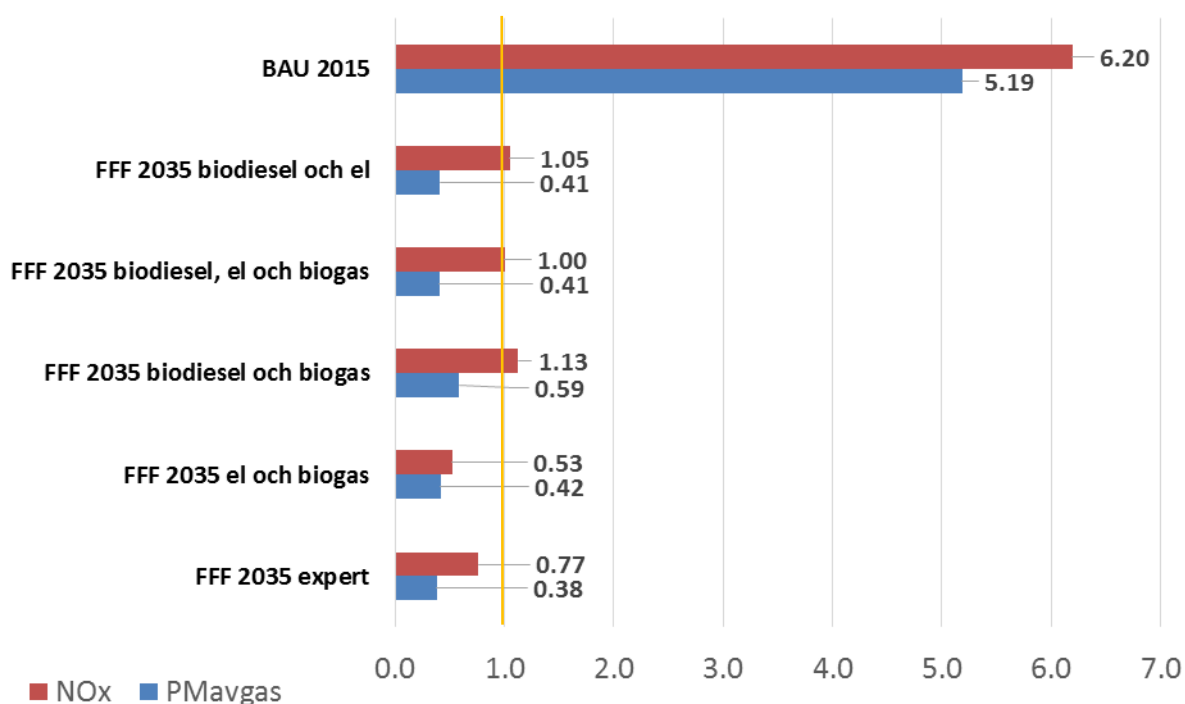
Den totala befolkningsviktade halten för PMavgas med BAU 2035 är 0,0163 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ där utsläpp av diesel, bensen, etanol och fordonsgas bidrar med 77 %, 15 %, 2 % respektive 5 %. Precis som för NOx bidrar diesel till övervägande delen av halterna (100 % för lastbil, 96 % för lätt lastbil och 72 % för personbil). För personbilarna bidrar bensen fortfarande med en betydande del till halterna (21 %). Resultaten visas i Figur 17.



Figur 17. Befolkningsviktad exponeringshalt ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) för PMavgas för BAU 2035 för hela befolkningen, uppdelat för de olika fordonsslagen samt hur mycket vardera bränslet bidrar till den totala halten inom varje fordonsslag.

Befolkningsviktade exponeringshalter för de olika fossilfria (FFF) scenarierna samt BAU 2015 relativt BAU 2035 för befolkningsgruppen 30 år och äldre visas i Figur 18. Ett värde under 1 (markerat med gul linje) innebär således en haltningsminskning relativt BAU 2035 medan en halt över 1 istället innebär en haltökning. En stor skillnad ses mellan BAU 2015 och BAU 2035 där BAU 2015 ger halter som är 5-6 gånger högre än BAU 2035. Skillnaden mellan BAU 2035 och de fossilfria scenarierna är betydligt mindre, men även om man redan åstadkommit betydande haltningsminskningar enbart genom de antaganden som gäller för BAU 2035 jämfört med BAU 2015 så ser man ändå att det finns utrymme för ytterligare sänkningar genom införande av biobränslen och elektricitet.

Alla fossilfria scenarion innebär en haltsänkning av PMavgas relativt BAU 2035 på mellan 41-62 %, medan det för NOx skiftar beroende på valt scenario. Det minst fördelaktiga scenariot är FFF 2035 biodiesel och biogas som ger en ökning av NOx på 13 % och en minskning av PMavgas på 41 %. Det scenario som ger de största haltningsminskningarna är FFF 2035 el och biogas där NOx minskar med 47 % och PMavgas med 58 %. Det generella mönstret är att de scenarion där fordonsflottan innehåller en betydande andel biodiesel innebär att NOx-halterna är högre för en fossilfri fordonsflotta jämfört med BAU 2035. I expertscenariot finns en andel biodiesel kvar men de andra biobränslena har fått mer betydande roller. Detta scenario skulle innebära sänkta halter med 23 % och 62 % för NOx respektive PMavgas.



Figur 18. Befolkningsviktad exponeringshalt för NOx och PMavgas för de fossilfria scenariona samt BAU 2015, relativt BAU 2035. Gul linje markerar ett förhållande 1:1 relativt BAU 2035.

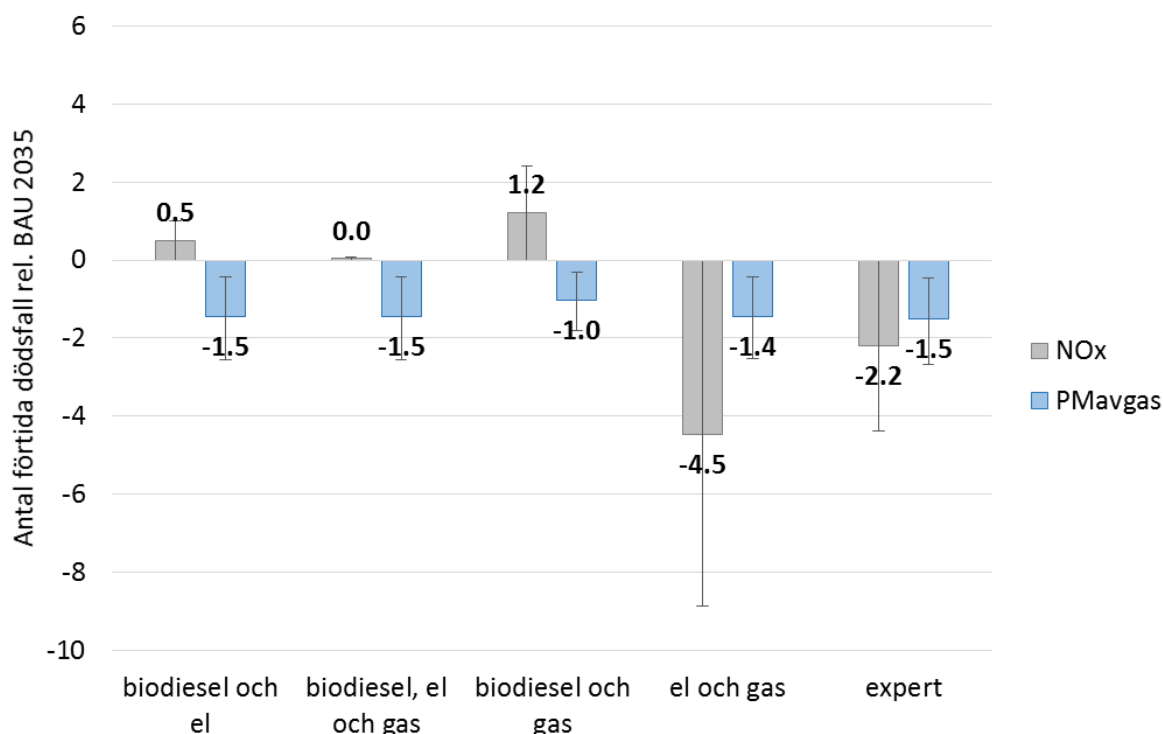
Hälsopåverkan

För att utvärdera vad de befolkningsviktade haltskillnaderna innebär för hälsoeffekter har hälsoberäkningar med NOx och PMavgas som indikator för luftföroreningars påverkan på dödlighet genomförts.

Minskningen i exponering enligt BAU 2035 jämfört med BAU 2015 beräknas innebära 49 färre förtida dödsfall per år för Storstockholm med NOx som indikator. Motsvarande siffra med PMavgas som indikator är 10. Detta motsvarar 511 respektive 108 färre förlorade levnadsår per år. Denna hälsovinst tillskrivs minskade utsläpp tack vare förväntad teknikutveckling, styrmedel och hårdare krav på utsläpp med de bränslen som förväntas finnas på marknaden enligt BAU 2035.

Man kan även se att genom införandet av fossilfria bränslen kan ytterligare hälsovinster nås. Figur 19 visar resultatet av hälsoberäkningar för luftföroreningars påverkan på dödlighet för befolkningsgruppen 30 år och äldre där antalet förtida dödsfall för de olika FFF-scenariona redovisas jämfört med BAU 2035. Relativa risker är för NOx 1,01 (95 % konfidensintervall på 0 - 2 %) per 10 µg/m³ ökad exponering och för PMavgas 1,14 (95 % konfidensintervall på 4 - 26 %) per 10 µg/m³ ökad exponering. Osäkerhetsintervallet för förtida dödsfall är beräknat utifrån det 95 %-iga konfidensintervallet för exponerings-responssambandet.

För scenariot med el och biogas, och med NOx som indikator, erhålls ytterligare 4,5 färre förtida dödsfall per år och för expertscenariot 2,2 färre förtida dödsfall per år jämfört med BAU 2035. Motsvarande siffra med PMavgas som indikator är 1,4 respektive 1,5. Men det finns även scenarion som pekar mot en sämre utveckling än för BAU 2035. Scenarierna som inkluderar biodiesel ger mellan 0-1,2 fler förtida dödsfall per år jämfört med BAU 2035 med NOx som indikator (dock fortfarande en stor minskning relativt BAU 2015). Med PMavgas som indikator erhålls en hälsovinst i samtliga fossilfria scenarion.



Figur 19. Resultat av hälsoberäkningar med NOx respektive PMavgas som indikator för luftföroreningars påverkan på dödlighet för befolkningsgruppen 30 år och äldre. Förtida dödsfall för de olika FFF-scenariona redovisas jämfört med BAU 2035. Relativa risker är för NOx 1,01 (95 % konfidensintervall på 0-2 %) per 10 µg/m³ ökad exponering och för PMavgas 1,14 (95 % konfidensintervall på 4-26 %) per 10 µg/m³ ökad exponering. Osäkerhetsintervallet för förtida dödsfall är beräknat utifrån det 95 %-iga konfidensintervallet för exponerings-responssambandet.

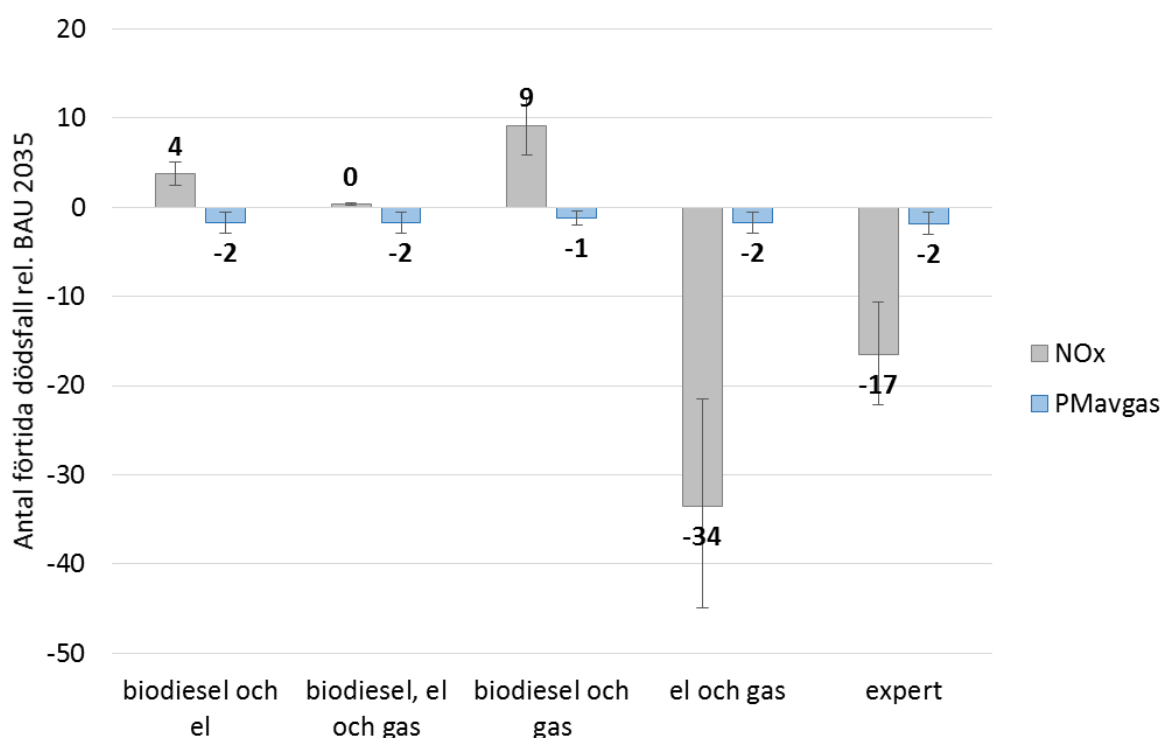
Både NOx och PMavgas är indikatorer för hälsoeffekter associerade med vägtrafikens avgasutsläpp. Många tidigare studier har dock använt NO₂ som indikator, men eftersom kvoten NO₂/NOx ökat de senaste åren (Carslaw, 2005) framstår NOx som en över tid bättre indikator att använda för avgaser (Johansson et al., 2017). Anledningen till detta är enligt Johansson et al. (2017) att relationen mellan NOx och NO₂ inte är linjär. NO₂ beror starkt av halten ozon (O₃) i luften. Vid låga koncentrationer av NOx finns ett överskott av O₃ som oxiderar en stor del av NO till NO₂ och vid höga NOx koncentrationer förbrukas en stor del av O₃ vilket betyder att en mindre andel av NO oxideras till NO₂. Sammantaget innebär detta att koncentrationen av NO₂ inte är linjärt proportionell mot trafikens avgasutsläpp vilket gör NO₂ mindre lämplig som indikator för avgasutsläpp.

När NOx används som indikator är det viktigt att betona att vi kan få försämrad luftkvalitet och negativa hälsoeffekter vid en övergång till en fossilfri fordonsflotta. De fossilfria scenarier som innefattar biodiesel ger upp till 1,2 fler förtida dödsfall med NOx som indikator. Det mest ofördelaktiga scenariot är med biodiesel och biogas. Slutsatsen är att en fossilfri fordonsflotta inte bör innehålla en betydande andel biodiesel eftersom det finns stora osäkerheter huruvida biodiesel kan innebära höga utsläpp av NOx och efterreningen kan öka andelen NO₂ av NOx i utsläppen.

Att använda PMavgas som avgasindikator visar på mindre hälsoeffekter av förbättrad luftkvalitet jämfört med att använda NOx. En tänkbar förklaring till detta kan vara osäkerheter i emissionsfaktorerna för PMavgas. Om dessa är för låga kommer hälsoeffekterna underskattas. Alla fossilfria scenarier visar på sänkta halter av avgaspartiklar och därmed hälsovinster.

Jämförelse med tidigare studier

Flertalet tidigare studier har däremot använt ett högre exponerings-responssamband för NO_x och avgaspartiklar enligt Nafstad et al. (2004) och Jerret et al. (2005). Nafstad et al. (2004) fann 8 % ökning av totaldödligheten (exklusive våldsam död) per 10 µg/m³ NO_x. Det 95-procentiga konfidensintervallet var 6 % - 11 %. Jerrett et al. (2005) erhöll en relativ riskökning på 17 % per 10 µg/m³ för partiklar. Det 95-procentiga konfidensintervallet var 5 % - 30 %. Med dessa exponerings-responssamband erhålles de hälsoutfall som redovisas i Figur 20. Beräkningarna nedan görs enbart i syfte att sätta denna studies resultat i förhållanden till tidigare liknande studier, där andra exponerings-responssamband använts. Vi anser dock att de exponerings-responssamband som används i denna studie avspeglar dagens verklighet bättre eftersom de grundas på nyare forskning presenterad i den senaste och betydligt mer omfattande studien som publicerats med resultat från det stora europeiska ESCAPE-projektet (Beelen et al, 2014).



Figur 20. Resultat av hälsoberäkningar med NO_x respektive PMavgas som indikator för luftföroreningars påverkan på dödlighet för befolkningsgruppen 30 år och äldre. Förtida dödsfall för de olika FFF-scenariona redovisas jämfört med BAU 2035. Relativa risker är för NO_x 1,08 (95 % konfidensintervall på 5-11 %) per 10 µg/m³ ökad exponering och för PMavgas 1,17 (95 % konfidensintervall på 5-30 %) per 10 µg/m³ ökad exponering. Osäkerhetsintervallet för förtida dödsfall är beräknat utifrån det 95 %-iga konfidensintervallet för exponerings-responssambandet.

De beräknade resultaten med NO_x som indikator för vägtrafikens hälsoeffekter visar att ett fossilfritt scenario enligt el och biogas resulterar i fler vunna levnadsår än effekterna vid införandet av trängselskatt i Stockholm (Johansson et al., 2009). Ett av motiven vid införandet av trängselskatt var att förbättra luftkvaliteten och vägtrafikens negativa hälsopåverkan. En exponeringsmodellering liknade förfarandet i denna konsekvensberäkning gav 27 färre förtida dödsfall per år, vilket kan jämföras med el och biogas scenariot som gav 34 färre förtida dödsfall per år när samma exponering-responssamband används. Expertscenariot ger 17 färre förtida dödsfall per år jämfört med BAU 2035.

I ett forskningsprojekt i Stockholm analyserades hur många som pendlar med bil till och från arbetet och har ett cykelavstånd på maximalt 30 minuter. Man använde detaljerade data om individers

bilinnehav, ålder, kön, bostadsadress, arbetsplats, färdmedel samt färdväg mellan bostad och arbete samt även en modell som tar hänsyn till den potentiella fysiska kapaciteten hos dessa bilpendlare. Resultatet var att hela 111 000 biltrafikanter hade möjligheten att cykla på mindre än 30 min till arbetet, vilket motsvarar 32 % av alla bilpendlare i Stockholms län. Om dessa skulle byta till cykelpendling skulle utsläppen minska och därmed befolkningens exponering, vilket beräknades resultera i 63 färre förtida dödsfall per år när NO_x användes som indikator (Johansson et al., 2017). Detta motsvarar dubbla hälsovinster mot att ställa om till en fossilfri fordonsflotta när samma exponerings-responssamband används. Sammantaget visar detta väl hur flera faktorer tillsammans kan samverka och ge betydande hälsoeffekter.

Samhällsekonomisk värdering

Den samhällsekonomiska värderingen av hälsoeffekterna orsakade av förändring i långtidsexponering för luftföroreningar görs enligt samma metod som i Gustafsson et al. (2014). Som påpekats i metodavsnittet inkluderas endast påverkan på dödligheten, som dock utgör den absolut största delen av den socio-ekonomiska värderingen för hälsoeffekterna. Tabell 13 visar den årliga socio-ekonomiska kostnaden av förtida dödsfall i åldersgruppen 30 år och äldre när NO_x används som indikator för luftföroreningars hälsoeffekter.

FFF 2035 el och biogas skulle innebära en årlig samhällsbesparing på 24,5 miljoner kronor. Även expertscenariot är gynnsamt med en årlig besparing på drygt 12 miljoner kronor. De FFF-scenarion som innefattar en högre andel biodiesel leder till en ökad kostnad på upp till 6,7 miljoner kronor per år. Jämfört med BAU 2015 ger alla FFF-scenarion, samt BAU 2035, en årlig monetär samhällsnytta på mellan 260 till 300 miljoner kronor per år.

Tabell 13. Årlig socio-ekonomisk kostnad av förtida dödsfall i åldersgruppen 30 år och äldre bosatta i Storstockholm orsakad av förändrad långtidsexponering för luftföroreningar med NO_x som indikator för luftföroreningars hälsopåverkan. Negativa värden betyder minskade kostnader. Alla värden avser 2010 års penningvärde. Antal förtida dödsfall är avrundade till heltal för presentation i tabellen men kostnaden beräknas på det exakta värdet vilket gör att den totala kostnaden kan variera trots till synes samma antal förtida dödsfall.

Scenario	Antal förtida dödsfall jämfört med BAU 2015 (antal/år)	Total kostnad för förtida dödsfall (miljoner SEK ₂₀₁₀ /år) jämfört med BAU 2015	Antal förtida dödsfall jämfört med BAU 2035 (antal/år)	Total kostnad för förtida dödsfall (miljoner SEK ₂₀₁₀ /år) jämfört med BAU 2035
BAU 2035	-49	-269		
FFF 2035 biodiesel och el	-49	-266	+0,5	2,8
FFF 2035 biodiesel, el och biogas	-49	-269	+0,1	0,2
FFF 2035 biodiesel och biogas	-48	-263	+1,2	6,7
FFF 2035 el och biogas	-54	-294	-4,5	-24,5
FFF 2035 expert	-51	-281	-2,2	-12,1

Tabell 14 visar den årliga socio-ekonomiska kostnaden av förtida dödsfall i åldersgruppen 30 år och äldre när avgaspartiklar istället används som indikator för luftföroreningars hälsoeffekter. Alla fossilfria scenarion skulle innebära en årlig samhällsbesparing på mellan 5 och 8 miljoner kronor. Jämfört med BAU 2015 ger alla FFF-scenarion, samt BAU 2035, en årlig monetär samhällsnytta på mellan 50 till 70 miljoner kronor per år.

Tabell 14. Årlig socio-ekonomisk kostnad av förtida dödsfall i åldersgruppen 30 år och äldre bosatta i Storstockholm orsakad av förändrad långtidsexponering för luftföroreningar med avgaspartiklar som indikator för luftföroreningars hälsopåverkan. Negativa värden betyder minskade kostnader. Alla värden avser 2010 års penningvärde. Antal förtida dödsfall är avrundade till heltal för presentation i tabellen men kostnaden beräknas på det exakta värdet vilket gör att den totala kostnaden kan variera trots till synes samma antal förtida dödsfall.

Scenario	Antal förtida dödsfall jämfört med BAU 2015 (antal/år)	Total kostnad för förtida dödsfall (miljoner SEK ₂₀₁₀ /år) jämfört med BAU 2015	Antal förtida dödsfall jämfört med BAU 2035 (antal/år)	Total kostnad för förtida dödsfall (miljoner SEK ₂₀₁₀ /år) jämfört med BAU 2035
BAU 2035	-10	-57		
FFF 2035 biodiesel och el	-12	-65	-1,5	-8,0
FFF 2035 biodiesel, el och biogas	-12	-65	-1,5	-8,0
FFF 2035 biodiesel och biogas	-11	-62	-1,0	-5,6
FFF 2035 el och biogas	-12	-65	-1,5	-8,0
FFF 2035 expert	-12	-65	-1,5	-8,3

Diskussion

Framtidens fordon och bränslen

Många faktorer påverkar den framtida fordonsflottans sammansättning. I denna utredning har fokus legat på den fossilfria fordonsparkens bränsleutsläpp och övriga faktorer har hållits konstanta. För att bidra till både globala och lokala mål behövs fordon som har låga utsläpp av alla avgaskkomponenter som påverkar hälsa och klimat. Konsumenternas val av drivmedel kommer baseras på pris och tillgång. Utvecklingen av de fossilfria drivmedelsalternativen kommer att styras av råvarutillgång, utbyggnad av infrastrukturen och framför allt politiska beslut som gynnar fossilfrihet jämfört med fossila bränslen. Hur snabbt omställningen sker är beroende av politiska beslut och styrmedel. Allt pekar mot att det går för långsamt om vi ska nå målen år 2030 och år 2045. Marknaden står redo, alternativen finns, producenterna vill satsa. I EUs infrastrukturdirektiv (Europeiska kommissionen, 2014) ingår vätgas, el och fordonsgas som tre alternativa drivmedel för vilket tankningsmöjligheter förväntas byggas upp inom den närmaste 10-årsperioden för alla EUs medlemsländer. Elektrifiering av fordonsflottan ses av de flesta som lösningen för den dåliga luft som många städer idag har problem med dagligen. Men hur fort kommer elektrifieringen att gå? När kommer priserna sjunka och infrastrukturen byggas ut tillräckligt så att det riktiga genombrottet kan komma? Det är även viktigt vad konsumenten väljer att tanka för drivmedel om man köper en bil med flexifuel-tank, som kan köras på olika bränslen, och vilken inblandning som drivmedelsförsäljarna väljer att ha i de traditionella fossila bränslena. Låginblandning är ett snabbt sätt att öka andelen fossilfritt i fordonsflottan utan någon omställning av varken motorer eller infrastruktur.

Tidigare studier för hur emissionsfaktorn ändras mellan olika bränslen skiljer sig mycket i utförande och resultat. Detta gör valet av emissionskvoter för de fossilfria alternativa bränslena jämfört de fossila bränslena svårt och osäkert. Därför blir antagandet om andelen elfordon mycket viktigt. I hur stor grad fordonsflottan kan elektrifieras kommer att påverka mest, medan valet mellan olika fossilfria bränslen skiljer mindre. Även om elektrifiering har störst inverkan på förbättrad luftkvalitet så är det osannolikt att hela fordonsflottan ska kunna bli eldriven på 20 år. Denna studie visar att de fossilfria bränslena kan bidra till minskade emissioner av luftföroreningar och därmed förbättrad hälsa. Utsläppen av både NO_x och avgaspartiklar ser ut att minska för de flesta fossilfria alternativen jämfört med diesel och bensin. Biodiesel verkar vara det enda fossilfria bränsle som eventuellt kommer innebära negativa effekter vid övergången till fossilfrihet, beroende på råvara. Ju högre andel elektrifiering, desto mindre betydelse kommer de enskilda fossilfria bränslena att få. Den kritiska faktorn för elbilar är batterikapacitet och kostnad, medan tillgång till elenergi och infrastruktur för laddning anses mindre kritisk (Trafikverket, 2016a). Denna studie innefattar inget antagande om bränsleceller. Det är dock mycket troligt att bränslecellsbilar, som drivs med vätgas och erbjuder en längre räckvidd jämfört med rena elbilar, kommer växa på marknaden. Flera länder, däribland Tyskland och Storbritannien har planer på att bygga upp en infrastruktur för vätgastankning av bränslecellsfordon och EU-kommissionen strategi för alternativa drivmedel lyfter fram vätgas som ett viktigt alternativ. En förutsättning för en lokalt växande marknad är att den internationella marknaden och infrastrukturen finns.

Mot bakgrund av ovanstående finns en risk att konsekvensanalyser baserade på BAU 2035 kommer att överskatta effekter på luftkvalitet och hälsa eftersom BAU 2035 bygger på Trafikverkets scenario för en utveckling där vi fortsätter i samma mönster som tidigare. Andelen fossilfritt ökar med endast 4 % till år 2035 och man antar endast en ytterst marginell elektrifieringsökning av fordonsflottan. Samtidigt går detta helt emot regeringens mål att Sverige år 2030 ska ha en fossiloberoende fordonsflotta och visionen att transportsektorn (och energisektorn) år 2045 ska vara helt klimatneutral.

Idag vet man att emissionsfaktorerna i HBEFA 3.2 är underskattade för dieselfordon vilket gör att utsläppen från fossil diesel underskattas. Om man tittar i Tabell 3, som visar emissionsfaktorer för NO_x och PM_{avgas} för år 2015 och år 2035, ser man en enorm förbättring med kraftigt sänkta emissionsfaktorer för de flesta bränslen till år 2035. Efter detta har den senaste versionen HBEFA 3.3 kommit med höjda NO_x emissionsfaktorer för diesel personbilar, vilka mer ska likna de i verklig körning. Detta innebär att skillnaden mellan BAU och FFF, utan eller med låg andel biodiesel, ökar och därmed erhålles en större koncentrationsskillnad och tillika hälsoeffekt vid övergång till en fossilfri fordonsflotta. De FFF-scenarion som baseras på andra bränslen än biodiesel kommer därmed att innebära ytterligare sänkta halter av NO_x och färre förtida dödsfall än vad beräkningarna i denna rapport visar.

Utsläppen från framtidens fordonsflotta

Tidigare studier för hur emissionsfaktorn ändras mellan olika bränslen skiljer sig mycket, både vad man kommit fram till och hur studierna har genomförts, vilket försvårar jämförelser av resultat. Detta gör att utsläppen för de fossilfria alternativa bränslena är osäkrare jämfört de fossila bränslena. Därför blir antagandet om andelen elfordon mycket viktigt. I hur stor grad fordonsflottan kan elektrifieras har större betydelse jämfört med valet mellan olika fossilfria bränslen.

Resultaten i detta projekt visar att betydande positiva effekter kan uppnås genom antagna styrmedel och åtgärder i BAU 2035, trots försiktiga antaganden om fordonsflottans utveckling. Mer troligt är att BAU 2035 kommer att innehålla en större andel förnybart och en betydande andel elfordon. Detta är även något som Trafikverket själva tror på och troligtvis kommer att implementera vid framtagandet av nästa basprognos. Med en renare fordonsflotta för BAU 2035 blir skillnaden mot en helt fossilfri fordonsflotta mindre och så även hälsoeffekterna.

En viktig osäkerhetsfaktor är att det skiljer mycket i utsläpp mellan laboriemätningar och utsläpp i verklig körning. Detta gäller även med HBEFA's verkliga körcykler. Skillnaden har visat sig vara störst för dieselfordon och skillnaden har ökat allt mer för nyare euroklasser. Även om problemet nu kommit upp i ljuset ordentligt efter volkswagenskandalen så kvarstår frågan hur stor skillnaden verkligen är och hur stor den kommer att vara längre fram. För låga emissionsfaktorer för NO_x från dieselfordon innebär att utsläppen från fordonsflottan underskattas, vilket leder till för lågt haltbidrag med underskattade hälsoeffekter som följd. Skillnaden kommer vara som störst så länge diesel utgör en stor del av fordonsflottan och avta när dieselandelen minskar. Om detta gäller för diesel är det sannolikt detsamma för biodiesel, vilket gör att problemet inte kommer att försvinna bara för att diesel fasas ut.

EUs system har hittills inte reglerat verkliga utsläpp, vilket i praktiken inneburit att skillnaden i utsläpp mellan laborietester och verklig körning har varit stort och lett till verkliga utsläpp som är mycket högre än gränsvärdena. Sverige har vid flertalet tillfällen uppmanat EU-kommissionen att skynda på arbetet med en testprocedur som kallas RDE, real driving emissions. Den innebär att fordonens utsläpp mäts under verklig körning (inte bara i s.k. körcykler i laboratorium). Efter avslöjandet med fusk med mjukvara för att påverka utsläppsvärden för vissa dieselmotorer har fler och fler EU-länder efterfrågat hårdare krav kring utsläppstesterna och det finns nu ett mer enat stöd för att anpassa testprocedurerna så att körning på väg under verkliga förhållanden ger en sann bild över utsläppens storlek och att gränsvärdena anpassas efter detta (*Regeringskansliet* (3 oktober 2014 - 25 maj 2016). Hämtad 24 april 2017 från: <http://www.regeringen.se/artiklar/2015/10/nya-testmetoder-for-bilars-avgasutslapp>).

Sedan år 2011 har utsläppen från tunga fordon minskat kraftigt, troligtvis på grund av en ny EU-lag som trädde i kraft som reglerar utsläppen i verklig körning (EU/582/2011). Officiella EU-test för personbilar är idag begränsade till laborietester av prototypfordon. För tunga fordon och bussar gäller dock mobila testprocesser sedan år 2013 vilket gör att slumpmässigt utvalda fordon kan bli testade under

verklig körning. Från år 2017 införs successivt nya krav på personbilar och lätta lastbilar i form av RDE, ett steg i rätt riktning mot lägre utsläpp i verklig körning även för personbilar (*DieselNet* (oktober 2016). Hämtad 12 april 2017 från: <https://www.dieselnet.com/standards/eu/ld.php>).

Något som framkommit i detta projekt är den kunskapslucka som verkar finnas gällande emissionsfaktorer för gasfordon relativt de fossila bränslena. Detta är något som bör efterfrågas eftersom biogas är på frammarsch på den svenska marknaden, framför allt för tyngre fordon och bussar. Just nu genomförs i Göteborg Energis anläggning GoBiGas ett testprojekt där man producerar metan (biogas) genom förgasning av restprodukter från skogen (*Göteborg Energi*. Hämtad 3 mars 2017 från: <https://gobigas.goteborgenergi.se>). Förhoppningen är att utveckla projektet och bygga en fullskaleanläggning. Det finns idag både en europeisk och en stor global marknad för fordon som kan köras på biogas vilket gör det lättare för den lokala marknaden att växa. Som nämnts tidigare ingår fordonsgas i EUs infrastrukturdirektiv.

Hälsoeffekter

Den stora skillnad som man ser för hälsoberäkningarna beroende på vilken indikator och vilken riskkoefficient man väljer att använda för att beräkna avgasernas hälsoeffekter betonar den osäkerhet och brist på underlag som ännu finns. Detta väcker givetvis frågan vilken indikator och studie som är bäst lämpad att basera konsekvensberäkningarna på. Man får för en del av de fossilfria scenarierna med NO_x som indikator en ökad dödlighet jämfört med BAU av olika storlek beroende vilken NO_x-studie man tror mest på. Under senare år har allt fler studier pekat på att NO₂ i sig (som ämne) ligger bakom effekter på mortaliteten, d.v.s. inte bara är en indikator (Faustini et al, 2014).

Med partiklar som avgasindikator erhålls enbart hälsovinster vid de fossilfria scenarierna, men det finns indikationer på att partiklar från biodiesel är mer skadliga än partiklar från fossil diesel (Mehus et al, 2015), vilket gör resultatet än mer komplicerat. Men det finns också andra studier där man inte ser någon skillnad eller t.o.m. mindre toxicitet hos biodieselgenererade partiklar jämfört med ordinär diesel (Steinera et al., 2013). Resultaten kan påverkas av att man använt olika typer av biodiesel, olika motorer eller olika körförhållanden. Andra föroreningar där man funnit högre utsläpp vid förbränning av biodiesel jämfört med vanlig diesel är formaldehyd, acetaldehyd och akrolein, vilket anses bero på högre syreinhåll i de biodiesel man studerat (Steinera et al., 2013). Det högre syreinhållet leder också till lägre utsläpp från biodiesel av partiklar och polycykliska aromatiska kolväten (PAH) på grund av mer fullständig förbränning. Det finns alltså motiv för fortsatt forskning och analys av vilken betydelse och effekt som skall tillskrivas olika komponenter.

En diesel har högre direktutsläpp av NO₂ jämfört med en bensinbil. En dieselmotor släpper mestadels ut NO men efterreningssystemen, t.ex. oxidationskatalysatorer och partikelfilter, kan öka andelen NO₂ i avgaserna och leda till lokalt förhöjda koncentrationer av NO₂. Med annan efterreningsteknik kan andelen NO₂ öka ytterligare. Högre andel NO₂ innebär troligtvis större hälsorisker med NO_x-emissioner, framför allt i trånga gaturum där de fotokemiska processerna har mindre betydelse för bildning av NO₂, jämfört med direktutsläppen av NO₂ från trafikavgaserna. Många tidigare studier har använt NO₂ som indikator, men eftersom relationen mellan NO_x och NO₂ inte är linjär och kvoten NO₂/NO_x ökat de senaste åren framstår NO_x som en bättre indikator att använda. Även sotpartiklar (BC, black carbon) anses vara en bra indikator eftersom sotpartiklar är direkt proportionellt mot avgaspartiklar och till skillnad mot PM_{avgas} även mätbart i omgivningsluften. Tyvärr är BC förknippat med betydligt större osäkerheter för beräkning av fordonsutsläpp jämfört med NO_x.

Vid beräkning av hälsoeffekterna står mortalitet (förtida död) för majoriteten av den hälsopåverkan som följer av luftföroreningar. Även sjuklighet kan beräknas men bidrar marginellt till de totala hälsoeffekterna. Förbättrad luftkvalitet med minskade halter av luftföroreningar kommer förutom att

minska förtida död och sjuklighet även innebära en stor förbättring för de som redan lider av olika luftvägssjukdomar såsom astma och KOL, vilket är en viktig humanitär samhällsvinst. Framför allt astmasymtom kan försämrast avsevärt vid tillfällen med höga luftföroreningshalter vilket gör att dessa människor behöver stanna inomhus eller hålla sig ifrån platser med höga halter.

Slutsatser

I diskussionerna hur vi ska nå fram till långsiktigt hållbara transporter har stort fokus sedan länge legat på koldioxidreducering medan hälsovådliga avgassubstanser inte har prioriterats. Trots detta har vi länge haft en nationell kvävedioxidnorm (NO₂) till skydd för människors hälsa som inte klarats och man vet att trafikens utsläpp står för en mycket stor del av bidraget till halten NO₂ i omgivningsluften. Relationen mellan små avgaspartiklar och negativa hälsoeffekter är väl beskrivet i epidemiologiska studier.

I denna studie har fokus legat på kombinationen av olika fossilfria drivmedel istället för att enbart titta på ett bränsle. Utifrån detta har vi försökt att hitta den mest optimala bränslemixen för att uppnå både klimat- och hälsovinster vid övergången till en fossilfri fordonsflotta. Vi har beräknat utsläpp, exponeringshalter, hälsoeffekter och samhällsekonomisk kostnad för olika fossilfria fordonsflottor i Stockholms län år 2035. Studien visar att halterna av partiklar, som kommer från fordonsparkens utsläpp, vid en övergång till en fossilfri fordonsflotta kommer att minska mellan 41-62 %, jämfört med BAU 2035, oavsett flottans sammansättning. Mest gynnsamt scenario erhöles för en fordonsflotta med en blandad fossilfri bränslemix, som ett antal experter ansett mest realistisk. Detta skulle leda till förbättrad hälsa och minskade hälsorelaterade samhällsekonomiska kostnader för den fossilfria fordonsflottan jämfört med den fossila fordonsflottan i Trafikverkets referensscenario BAU 2035. Även kväveoxider (NO_x) kommer att minska med 33-47 % vid övergången till en fossilfri fordonsflotta för de scenarion där biodiesel inte utgör en allt för stor del av den totala flottan. För NO_x var el- och biogasscenariot i detta fall mest gynnsamt. Om biodiesel får en utmärkande roll kan de önskvärda hälsoeffekterna med fossilfrihet bli marginella och i vissa fall till och med leda till ökade halter av NO_x med 5-13 %.

Med NO_x som indikator för luftföroreningars påverkan på dödlighet fann vi att el- och biogasscenariot resulterade i 4,5 färre förtida dödsfall per år jämfört med BAU 2035. Även expertsценariot var gynnsamt med 2,2 färre förtida dödsfall per år. Motsvarande siffror för avgaspartiklar som indikator var 1,0-1,5 färre förtida dödsfall per år för BAU 2035 jämfört med alla studerade fossilfria scenarion år 2035.

Den största hälsovinsten erhöles dock mellan BAU år 2015 och BAU 2035 (vid konstant total trafikmängd), där BAU 2035 resulterade i 49 respektive 10 minskade förtida dödsfall per år för NO_x respektive avgaspartiklar som indikator för hälsoeffekter p.g.a. trafikens utsläpp, vilket visar på den stora hälsovinst som förväntas genom teknikutveckling, styrmedel och hårdare utsläppskrav. Detta projekt visar dock på att det finns utrymme kvar för ytterligare sänkta halter vid en övergång till fossilfria bränslealternativ och därigenom ytterligare hälsovinster. Den minskade samhällsekonomiska kostnaden (tack vare färre förtida dödsfall), med NO_x som indikator för vägtrafikens hälsoeffekter, för el- och biogasscenariot jämfört med BAU 2035 beräknades uppgå till drygt 20 miljoner kronor per år. Jämfört med BAU 2015 ger alla FFF-scenarion, inklusive BAU 2035, en årlig minskad samhällsekonomisk kostnad på mellan 260 till 300 miljoner kronor (om man enbart beaktar kostnader associerade med förtida dödsfall). Motsvarande siffror med avgaspartiklar som indikator är mellan 5 och 8 miljoner kronor per år för de fossilfria scenariona jämfört med BAU 2035 och mellan 50 och 70 miljoner kronor per år jämfört med BAU 2015.

Förbättrad luftkvalitet med minskade halter av luftföroreningar kommer förutom att minska förtida död och sjuklighet även innebära en stor förbättring för de som redan lider av olika luftvägssjukdomar såsom astma och KOL, vilket är en viktig humanitär samhällsvinst.

Projektet kan konstatera att bränslemixen har relativt stor påverkan på halterna av partiklar och kväveoxider men att det framför allt är teknikutveckling och styrmedel som leder till den största effekten

på halterna och därmed hälsoeffekterna. En mycket viktig och avgörande faktor för haltminskningen och hälsoutfallet är hur stor andel av trafikarbetet som kommer utföras av elfordon och hur snabbt dessa kommer växa på marknaden.

Det är även viktigt vilken indikator och vilken riskkoefficient man väljer att använda för att beräkna avgasernas hälsoeffekter. Med NO_x som indikator fås för en del av de fossilfria scenarierna jämfört med BAU en ökad dödlighet av olika storlek beroende vilken NO_x-studie man tror mest på. Vi har för denna studie kommit till slutsatsen att det är bäst att använda riskkoefficienter för NO_x respektive partiklar som kommer från samma miljöer och befolkningar, och därför valdes de sammanviktade resultaten från den stora och nyligen genomförda europeiska ESCAPE-studien (Beelen et al, 2014).

Med partiklar som avgasindikator erhålls enbart hälsovinster vid de fossilfria scenarierna, men det finns indikationer på att partiklar från biodiesel är mer skadliga än partiklar från fossil diesel. Det finns alltså motiv för fortsatt forskning och analys av vilken betydelse och effekt som skall tillskrivas olika komponenter.

Referenser

Aatola, H., Larmi, M., Sarjovaara, T. and Mikkonen, S. (2008). Hydrotreated Vegetable Oil (HVO) as a Renewable Diesel Fuel: Trade-off between NO_x, particulate emission, and fuel consumption of a heavy duty engine. ResearchGate, 2008. DOI: 10.4271/2008-01-2500.

Ayala, A., Kado, N. Y., Okamoto, R. A., Holmén, B. A., Kuzmicky, P. A., Kobayashi, R. and Stiglitz, K. E. (2002). Diesel and CNG Heavy-duty Transit Bus Emissions over Multiple Driving Schedules: Regulated Pollutants and Project Overview. Air Resources Board, California Environmental Protection Agency, April 2002.

Beelen R, Raaschou-Nielsen O, Stafoggia M, Andersen ZJ, Weinmayr G, Hoffmann B, Wolf K, Samoli E, Fischer P, Nieuwenhuijsen M, Vineis P, Xun WW, Katsouyanni K, Dimakopoulou K, Oudin A, Forsberg B, Modig L, Havulinna AS, Lanki T, Turunen A, Oftedal B, Nystad W, Nafstad P, De Faire U, Pedersen NL, Östenson CG, Fratiglioni L, Penell J, Korek M, Pershagen G, Eriksen KT, Overvad K, Ellermann T, Eeftens M, Peeters PH, Meliefste K, Wang M, Bueno-de-Mesquita B, Sugiri D, Krämer U, Heinrich J, de Hoogh K, Key T, Peters A, Hampel R, Concin H, Nagel G, Ineichen A, Schaffner E, Probst-Hensch N, Künzli N, Schindler C, Schikowski T, Adam M, Phuleria H, Vilier A, Clavel-Chapelon F, Declercq C, Gironi S, Krogh V, Tsai MY, Ricceri F, Sacerdote C, Galassi C, Migliore E, Ranzi A, Cesaroni G, Badaloni C, Forastiere F, Tamayo I, Amiano P, Dorronsoro M, Katsoulis M, Trichopoulou A, Brunekreef B, Hoek G. (2014). Effects of long-term exposure to air pollution on natural-cause mortality: an analysis of 22 European cohorts within the multicentre ESCAPE project. Lancet, Mar 1;383 (9919):785-95.

Carlaw, D.C. (2005). Evidence of an increasing NO₂/NO_x emissions ratio from road traffic emissions. Atmospheric Environment 39, 4793–4802.

Carlaw, D. C., Beevers, S. D., Tate, J. E., Westmoreland, E. J. and Williams, M. L. (2011). Recent evidence concerning higher NO_x emissions from passenger cars and light duty vehicles. Atmospheric Environment 45, 7053-7063.

Ecotrafic (2013). Methanol blending in gasoline – some Swedish Experiences, Report No. 136050.

Energimyndigheten (2015). Drivmedel i Sverige 2014 – Mängder, komponenter och ursprung rapporterade i enlighet med drivmedelslagen, ER 2015:20, ISSN 1403-1892.

Energimyndigheten (2016). Marknaderna för biodrivmedel 2016 (ER 2016:29).

Energiutskottet (2013). Biodrivmedel – nu och i framtiden. Rapport från Energiutskottet april 2013.

Erkkilä, K., Nylund, N.-O., Hulkkonen, T., Tilli, A., Mikkonen, S., Saikkonen, P., Mäkinen, R. and Amberla, A. (2011). Emission performance of paraffinic HVO diesel fuel in heavy duty vehicles. Conference Paper, SAE International, Technical Paper, ResearchGate, DOI: 10.4271/2011-01-1966.

Europiska kommissionen (2011) VITBOK. Färdplan för ett gemensamt europeiskt transportområde – ett konkurrenskraftigt och resurseffektivt transportsystem, KOM (2011) 144 slutlig.

Europiska kommissionen (2014). EUs infrastrukturdirektiv för drivmedel (2014/94/EU); Directive 2014/94/EU of the European parliament and of the council: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A32014L0094>

Europeiska kommissionen (2015a). Statligt stöd SA. 43301 (2015/N) – Sverige – Skattebefrielser och skattenedsättningar för flytande biodrivmedel. Bryssel den 14.12.2015 C(2015) 9344 final.

Europeiska kommissionen (2015b). Statligt stöd SA. 43302 (2015/N) – Sverige – Skattebefrielser för biogas som används som motorbränsle. Bryssel den 14.12.2015 C(2015) 9345 final.

Europeiska kommissionen (2015c). 2015/1513. EUROPAPARLAMENTETS OCH RÅDETS DIREKTIV (EU) 2015/1513 av den 9 september 2015 om ändring av direktiv 98/70/EG om kvaliteten på bensen och dieselbränslen och om ändring av direktiv 2009/28/EG om främjande av användningen av energi från förnybara energikällor.

Europeiska unionen (2008). EUROPAPARLAMENTETS OCH RÅDETS DIREKTIV 2008/50/EG av den 21 maj 2008 om luftkvalitet och renare luft i Europa. Europeiska unionens officiella tidning L 152/1 11.6.2008.

Faustini, A., Rapp, R. and Forastiere, F. (2014). Nitrogen dioxide and mortality: review and meta-analysis of long-term studies. *European Respiratory Journal*, DOI: 10.1183/09031936.00114713, February 20, 2014.

Graboski, M. S., McCormick, R. L. (1998). Combustion of fat and vegetable oil derived fuels in diesel engines. *Progress in Energy and Combustion Science* 24 (2), 125–164.

Gustafsson, M., Forsberg, B., Orru, H., Åström, S., Tekie, H. and Sjöberg, K. (2014). Quantification of population exposure to NO₂, PM_{2.5} and PM₁₀ and estimated health impacts in Sweden 2010. Swedish Environmental Research Institute (IVL), IVL-report B 2197. Göteborg, Sverige.

Hallquist, A. M., Jerksjö, M., Fallgren, H., Westerlund, J. and Sjödin, A. (2013). Particle and gaseous emissions from individual diesel and CNG buses. *Atmospheric Chemistry and Physics* 13, 5337-5350.

HBEFA (2014). HBEFA 3.2 (The Handbook of Emission Faktors for Road Transport).

Hoek, G., Krishnan, R. M., Beelen, R., Peters, A., Ostro, B. and Brunekreef, B (2013). Long term air pollution exposure and cardio respiratory mortality: a review. *Environmental Health*, 12:43.

Jerrett, M., Burnett, R. T., Ma, R., Arden Pope III, C., Krewski, D., Newbold, K. B., Thurston, G., Shi, Y., Finkelsrein, N., Calle, E. E. and Thun, M. J. (2005). Spatial Analysis of Air Pollution and Mortality in Los Angeles. *Epidemiology* Vol. 16 (6), November 2005.

Johansson, C., Burman, L., Forsberg, B. (2009). The effects of congestions tax on air quality and health. *Atmospheric Environment* 43, 4843-4854.

Johansson, C., Lövenheim, B., Schantz, P., Whahlgren, L., Almström, P., Markstedt, A., Strömgren, M., Forsberg, B. and Nilsson Sommar, J. (2017). Impacts on air pollution and health by changing commuting from car to bicycle. *Science of the Total Environment* 584-585, 55-63.

Lin, B-F., Huang, J-H., Huang, D-Y. (2009). Experimental study of the effects of vegetable oil methyl ester on DI diesel engine performance characteristics and pollutant emissions. *Fuel* 88:1779-85.

Lundbäck, M. (2009). Cardiovascular effects of exposure to diesel exhaust - mechanistic and interventional studies. Department of Public Health and Clinical Medicine, Respiratory Medicine and Allergy, Umeå University, Sweden, No 1317 ISBN No 978-91-7264-868-5 ISSN 0346-6612.

LVF (2006). EXPOSURE – Comparison Between Measurements and Calculations Based on Exposure Modelling. Östra Sveriges Luftvårdsförbund, LVF-rapport 2006:12.

LVF (2007). Hälsoeffekter av partiklar – Tilläggsprogram 2006. Östra Sveriges Luftvårdsförbund, LVF-rapport 2007:14.

LVF (2016). Luftföroreningar i Östra Sveriges Luftvårdsförbund. Utsläppsdata för år 2013. Östra Sveriges Luftvårdsförbund, LVF-rapport 2016:22.

Mehus, A. A., Reed, R. J., Lee, V. S., Littau, S. R., Hu, C., Lutz, E. A. and Burgess, J. L. (2015). Comparison of Acute Health Effects from Exposures to Diesel and Biodiesel Fuel Emissions. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*, 57(7):705-12.

Miljöbilar (2016). Miljöfordon i Stockholm – sammanställning av statistik för år 2015, Miljöbilar, årsrapport 2016, Miljöförvaltningen Stockholms stad.

Miljöförvaltningen (2012). Stockholms åtgärdsplan för klimat och energi 2012-2015, Miljöförvaltningen, Stockholms stad.

Mueller, N., Rojas-Rueda, D., Cole-Hunter, T., de Nazelle, A., Dons, E., Gerike, R., Götschi, T., Int Panis, L., Kahlmeier, S., Nieuwenhuijsen, M. (2015). Health impact assessment of active transportation: a systematic review. *Preventive Medicine* 76, 103-114.

Nafstad, P., Lund Håheim, L., Wisloeff, T., Gram, G., Oftedal, B., Holme, I., Hjermann, I. and Leren, P. (2004). Urban air pollution and mortality in a cohort of Norwegian men. *Environmental Health Perspectives* 112, 610-615.

Naturvårdsverket (2017). Naturvårdsverkets yttrande av Remiss av Transportstyrelsens rapport Miljözoner för lätta fordon, NV-08712-16, 2017-03-19.

NEEDS (2007). New Energy Externalities Developments for Sustainability (NEEDS) project. Final report on the monetary valuation of mortality and morbidity risk from air pollution. Delivery no 6.7-RS 1b.

Nylund, N. O., Erkkilä, K., Lappi, M. and Ikonen, M. (2004). Transit bus emission study: Comparison of emissions from diesel and natural gas buses. Research report PRO3/P5150/04, VTT, October 2004.

Regeringskansliet (2008a). Regeringens propositioner Mål för framtidens resor och transporter (prop. 2008/09:93).

Regeringskansliet (2008b). En sammanhållen klimat- och energipolitik - Klimat (prop. 2008/09:162).

Regeringskansliet (2016). Ett klimatpolitiskt ramverk för Sverige (prop. 2016/17:146).

Regeringskansliet (2017). Remiss av promemorian Reduktionsplikt för minskning av växthusgasutsläpp från bensin och dieselbränsle. Miljö- och energidepartementet, Finansdepartementet, M2017/00723/R, 2017-03-17.

RUFS (2010). Regional utvecklingsplan för Stockholmsregionen (RUFS 2010), R 2010:5, Tillväxt- och regionplaneförvaltningen, Stockholms läns landsting.

Sanderson, E., Briggs, D., Jantunen, M., Forsberg, B., Svartengren, M., Šrám, R., Gulliver, J. and Janssen, N. (2005). Human exposure to transport-related air pollution. Health effects of transport related air pollution, ISBN 92 890 1373 7.

SCB (2017a). Fordonsstatistik nyregistrerade personbilar i Stockholms län, SCB, Trafikanalys. http://www.statistikdatabasen.scb.se/pxweb/sv/ssd/START_TK_TK1001_TK1001A/PersBilarDrivMedel/?rxid=b3f390c1-435b-423b-b1dd-bcd1e39b0018

SCB (2017b). Fordonsstatistik personbilar i trafik i Stockholms län, SCB, Trafikanalys. http://www.statistikdatabasen.scb.se/pxweb/sv/ssd/START_TK_TK1001_TK1001A/PersBilarA/?rxid=53ae625e-87c2-48dc-80fd-50e7c8a6efb9

2030-sekretariatet (2016). Nulägesbeskrivning: Fossiloberoende fordonsflotta – underlagsmaterial
<http://2030-sekretariatet.se/nulage2016/>

SFS (2010). Förordning om miljökvalitetsnormer för utomhusluft, Luftkvalitetsförordning (2010:477). Miljödepartementet 2010, SFS 2010:477.

SFS (2011). Svensk författningssamling (SFS) nr 2011:318 Avgasreningslagen.

Sharp, Christopher A., Howell, Steve A. and Jobe, J. (2000). The effect of biodiesel fuels on transient emissions from modern diesel engines, Part I. Regulated emissions and performance. SAE International Technical Paper, DOI: 10.4271/2000-01-1967.

Shi, X., Pang, X., Mu, Y., He, H., Shuai, S., Wang, J., Chen, H. and Li, R. (2006). Emission reduction potential of using ethanol-biodiesel-diesel fuel blend on a heavy-duty diesel engine. Atmospheric Environment 40, 2567-2574.

Sjöberg, K., Hager-Eugensson, M., Forsberg, B., Åström, S., Hellsten, S., Larsson, K., Björk, A. och Blomgren, H. (2009). Quantification of population exposure to PM_{2.5} and PM₁₀ in Sweden 2005. Swedish Environmental Research Institute (IVL), IVL-report B 1792. Göteborg, Sverige.

SLB (2017). SLB-analys årsrapport Luften i Stockholm år 2016, rapport 1:2017 (2017).

SLL (2011). Miljöutmaning 2016 – Miljöpolitiskt program för Stockholms läns landsting, Stockholms läns landsting (SLL), 2011.

SLL (2016). Stockholms läns landstings miljöprogram 2017-2021, LS 2015-0092.

Socialstyrelsen (2005). Miljöhälsorapport 2005. Socialstyrelsen, ISBN 91-7202-931-X. Edita Norstedts tryckeri.

Socialstyrelsen (2013). Socialstyrelsen, SE-106 30 Stockholm, Sweden.
<http://www.socialstyrelsen.se/statistics/statisticaldatabase/causeofdeath>

SOU (2013). Statens offentliga utredningar (SOU): Fossilfrihet på väg – Del 1 och 2, SOU 2013:84, Stockholm, 2013.

SOU (2016a). Statens offentliga utredningar (SOU): Ett klimatpolitiskt ramverk för Sverige - Delbetänkande av Miljömålsberedningen, SOU 2016:21, Stockholm, 2016.

SOU (2016b). Statens offentliga utredningar (SOU): Ett bonus-malus-system för nya lätta fordon, SOU 2016:33, Stockholm, 2016.

Steinera, S., Czerwinski, J., Comteb, P., Popovichevac, O., Kireevac, E., Müllerd, L., Heebe, N., Mayerf, A., Finka, A. and Rothen-Rutishausera, B. (2013). Comparison of the toxicity of diesel exhaust produced by bio- and fossil diesel combustion in human lung cells in vitro. Atmospheric Environment 81, 380-388, December 2013.

Stenfors, N., Nordenhall, C., Salvi, S. S., Mudway, I., Söderberg, M., Blomberg, A. (2004). Different airway inflammatory responses in asthmatic and healthy humans exposed to diesel. European Respiratory Journal, Vol. 23 (1) 82-86, January 2004.

Stockfelt, L., Andersson, E.M., Molnár, P., Rosengren, A., Wilhelmsen, L., Sällsten, G. and Barregård, L. (2015). Long term effects of residential NO_x exposure on total and cause-specific mortality and incidence of myocardial infarction in a Swedish cohort. Environmental Research 142, 197-206.

- Stockholms stad (2016). Fossilbränslefritt Stockholm 2040. Stadsledningskontoret, Dnr:134-174/2015.
- Trafikanalys (2016). Statistik över fordonsflottans utveckling – delredovisning av regeringsuppdrag, rapport 2016:13.
- Trafikverket (2017). Förändrad trängselskatt i Stockholm 1 januari 2016 - påverkan på trafikflöden och framkomlighet våren 2016. WSP Analys & Strategi, TRV-rapport 2017:031, ISBN 978-91-7725-047-0.
- Trafikverket (2016a). Styrmedel och åtgärder för att minska transportsystemets utsläpp av växthusgaser – med fokus på transportinfrastrukturen, rapport 2016:043.
- Trafikverket (2016b). Effektkedjor och skadekostnader som underlag för revidering av ASEK-värden för luftföroreningar, Trafikverket 2016-10-31.
- Trafikverket (2015). Prognos för personresor 2030 - Trafikverkets basprognos 2015, rapport 2015:059.
- Trafikverket (2014). Trafikverkets Kunskapsunderlag och klimatscenario för energieffektivisering och begränsad klimatpåverkan, rapport 2014:137.
- Transportstyrelsen (2014). Swedish In-Service Testing Program on emissions from heavy-duty vehicles. AVL MTC AB, Haninge, Sverige.
- Transportstyrelsen (2017). Miljözoner för lätta fordon – Redovisning av regeringsuppdrag, Transportstyrelsen Dnr TSV 2015-4545.
- Tsolakis, A., Megaritis, A., Wyszynski, M.L. and Theinnoi, K. (2007). Engine performance and emissions of a diesel engine operating on diesel–RME (rapeseed methyl ester) blends with EGR (exhaust gas recirculation). *Energy* 32, 2072-2080.
- Xie, S., Hu, J., Bao, X., Li, Z., Wang, H. and Zhang, K. (2011). Real-world emissions characteristics of natural gas-gasoline bi-fuel vehicles. *Acta Scientiae Circumstantiae*, Volume 31, issue 11, 2347-2353.
- Verhaeven, E., Pelkmans, L., Govaerts, L. and Lamers, R. (2005). Results of demonstration and evaluation projects of biodiesel from rapeseed and used frying oil on light and heavy duty vehicles. SAE International, Technical Paper, DOI: 10.4271/2005-01-2201.
- Wang, Y., Zhou, L. and Hewu, W. (2006). Diesel emission improvements by the use of oxygenated DME/diesel blend fuels. *Atmospheric Environment* 40, 2313-2320.
- WHO (2013a). Review of evidence on health aspects of air pollution – REVIHAAP Project Technical Report. Copenhagen, Denmark.
- WHO (2013b). Health risks of air pollution in Europe – HRAPIE. Recommendations for concentration-response functions for cost-benefit analysis of particulate matter, ozone and nitrogen dioxide. Copenhagen, Denmark.
- Wu, F., Wang, J., Chen, W. and Shuai, S. (2009). A study on emission performance of a diesel engine fueled with five typical methyl ester biodiesels. *Atmospheric Environment* 43, 1481-1485.
- Wyatt, V. T., Hess, M. A., Dunn, R. O., Foglia, T. A., Haas, N. J. and Marmer, W. N. (2005). Fuel Properties and Nitrogen Oxide Emission Levels of Biodiesel Produced from Animal Fats. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, Volume 82, Issue 8, 585-591, DOI: 10.1007/s11746-005-1113-2.

Appendix och Bilagor

A1. Fördelning av Euroklasser för gasdrivna bussar och personbilar i HBEFA år 2000-2035.
Uppgifter via mail från Mohammad-Reza Yahya, IVL, 18 april 2017.

År	Fordonskategori	Andel	Fordonskategori	Andel
2000	UBus CNG Euro-II	100,00%	PC CNG/P bifuel Euro-3	100,00%
2001	UBus CNG Euro-II	100,00%	PC CNG/P bifuel Euro-3	100,00%
2002	UBus CNG Euro-III	100,00%	PC CNG/P bifuel Euro-3	7,50%
2002	UBus CNG Euro-III		PC CNG/P bifuel Euro-3	92,50%
2003	UBus CNG Euro-III	100,00%	PC CNG/P bifuel Euro-4	100,00%
2004	UBus CNG Euro-III	56,16%	PC CNG/P bifuel Euro-4	100,00%
2004	UBus CNG Euro-IV	43,84%	PC CNG/P bifuel Euro-4	
2005	UBus CNG Euro-III	45,71%	PC CNG/P bifuel Euro-4	100,00%
2005	UBus CNG Euro-IV	54,29%	PC CNG/P bifuel Euro-4	100,00%
2006	UBus CNG Euro-IV	100,00%	PC CNG/P bifuel Euro-4	100,00%
2007	UBus CNG Euro-IV	85,53%	PC CNG/P bifuel Euro-4	100,00%
2007	UBus CNG Euro-V	14,47%	PC CNG/P bifuel Euro-4	100,00%
2008	UBus CNG Euro-IV	9,09%	PC CNG/P bifuel Euro-4	100,00%
2008	UBus CNG Euro-V	90,91%	PC CNG/P bifuel Euro-5	
2009	UBus CNG Euro-V	100,00%	PC CNG/P bifuel Euro-5	100,00%
2010	UBus CNG Euro-V	100,00%	PC CNG/P bifuel Euro-5	97,00%
2010	UBus CNG Euro-V			3,00%
2011	UBus CNG Euro-V	100,00%	PC CNG/P bifuel Euro-5	100,00%

2012	UBus CNG Euro-V	100,00%	PC CNG/P bifuel Euro-5	100,00%
2013	UBus CNG Euro-V	100,00%	PC CNG/P bifuel Euro-5	100,00%
2014	UBus CNG Euro-EEV	100,00%	PC CNG/P bifuel Euro-6	100,00%
2015	UBus CNG Euro-EEV	100,00%	PC CNG/P bifuel Euro-6	50,00%
2015	UBus CNG Euro-EEV			50,00%
2016	UBus CNG Euro-EEV	100,00%	PC CNG/P bifuel Euro-6	100,00%
2017	UBus CNG Euro-EEV	100,00%	PC CNG/P bifuel Euro-6	100,00%
2018	UBus CNG Euro-EEV	100,00%	PC CNG/P bifuel Euro-6	100,00%
2019	UBus CNG Euro-EEV	100,00%	PC CNG/P bifuel Euro-6	100,00%
2020	UBus CNG Euro-EEV	100,00%	PC CNG/P bifuel Euro-6	100,00%
2021	UBus CNG Euro-EEV	100,00%	PC CNG/P bifuel Euro-6	100,00%
2022	UBus CNG Euro-EEV	100,00%	PC CNG/P bifuel Euro-6	100,00%
2023	UBus CNG Euro-EEV	100,00%	PC CNG/P bifuel Euro-6	100,00%
2024	UBus CNG Euro-EEV	100,00%	PC CNG/P bifuel Euro-6	100,00%
2025	UBus CNG Euro-EEV	100,00%	PC CNG/P bifuel Euro-6	100,00%
2026	UBus CNG Euro-EEV	100,00%	PC CNG/P bifuel Euro-6	100,00%
2027	UBus CNG Euro-EEV	100,00%	PC CNG/P bifuel Euro-6	100,00%
2028	UBus CNG Euro-EEV	100,00%	PC CNG/P bifuel Euro-6	100,00%
2029	UBus CNG Euro-EEV	100,00%	PC CNG/P bifuel Euro-6	100,00%
2030	UBus CNG Euro-EEV	100,00%	PC CNG/P bifuel Euro-6	100,00%
2031	UBus CNG Euro-EEV	100,00%	PC CNG/P bifuel Euro-6	100,00%

2032	UBus CNG Euro-EEV	100,00%	PC CNG/P bifuel Euro-6	100,00%
2033	UBus CNG Euro-EEV	100,00%	PC CNG/P bifuel Euro-6	100,00%
2034	UBus CNG Euro-EEV	100,00%	PC CNG/P bifuel Euro-6	100,00%
2035	UBus CNG Euro-EEV	100,00%	PC CNG/P bifuel Euro-6	100,00%

A2. Kommentarer till val av emissionsfaktorer till FFF 2035.

Buss diesel till biodiesel

Antagande att biodieseln till största del kommer att vara i form av HVO och en mindre del FAME. För NOx går vi på Erkkilä et al. (2011) som visar på en liten minskning. FAME visar dock på en liten ökning för tunga och lätta fordon vilket gör att det troligen inte föreligger någon större skillnad i emissioner av NOx mellan diesel och biodiesel för bussar. För avgaspartiklar har en minskning på 30 % baserat på Erkkilä et al. (2011) valts.

Buss diesel till biogas

Det har varit svårt att hitta nyare studier som jämför diesel- och gasfordon och de äldre testerna skiljer sig mycket åt. Dessutom är flertalet genomförda på äldre bussar, oftast Euro III. Efter kontakt med både Thomas Åkerblom, Krister Thulin och Johan Améen (Scania) och Tula Ekengren (regionutvecklare biogas vid Västra Götalandsregionens miljöavdelning) framkom den brist på underlag som råder. Kontakt med Thomas Åkerblom gav uppskattade emissionsfaktorer baserade på Scantias certifierade värden för deras 9 liters diesel- och gasmotorer för EUVI. Dessa motorer är typiska för våra stadsbussar och anses därför representativa i denna fråga. Värdena kommer från WHTC cykeln som representerar stads, intercity och landsvägskörning. NOx och PMavgas är enligt detta helt likvärdiga mellan diesel och gas och en faktor på 1,0 kan därmed antas. Detta stöds även av AVL MTCs tester (både chassidynamometer och PEMS) som redovisas i rapporten Swedish In-Service Testing Program on emissions from heavy-duty vehicles (2015), där man kunde se att det inte förelåg någon större skillnad för NOx och avgaspartikelemissioner mellan diesel- och gasbussar. Baserat på detta valdes en faktor 1,0 för både NOx och avgaspartiklar eftersom underlaget för nyare bussar med högre euroklass pekade på endast en marginell skillnad.

Buss diesel till etanol

Detta kommer inte påverka i någon stor grad så därför har siffror hämtade från HBEFA BAU 2035 för Storstockholm använts direkt, d.v.s. 4 % ökning för NOx och 9 % ökning för avgaspartiklar.

Buss etanol till biogas

För dessa emissionsfaktorer har vi använt antagandet att biogasbussar har samma emissioner som dieselbussar samt HBEFA BAU 2035 för Storstockholm för att hitta en relation mellan etanol och biogas. Detta ger en minskning med 4 % och 9 % för NOx respektive PMavgas.

Buss fordonsgas till biodiesel

Baserat på antagandet att det inte föreligger någon skillnad i emissioner för NOx mellan diesel och biodiesel och att biodieselbussar släpper ut lika mycket som en dieselbuss gör att kvoten blir 1 mellan fordonsgas- och biodieselbussar. För PMavgas har Erkkilä et al. (2011) använts, tillsammans med antagandet att det inte föreligger någon skillnad i partikelemissioner mellan gas- och dieselbussar, för att hitta en relation mellan fordonsgas och biodiesel. Detta ger att biodieselbussar släpper ut 30 % mindre PMavgas jämfört med fordonsgasbussar.

Lastbil diesel till biodiesel

Samma resonemang som för bussar ger ingen skillnad för NOx men en minskning på 30 % för avgaspartiklar.

Lastbil diesel till biogas

Efter samtal med Krister Thulin vid Scania bestämdes det att använda samma kvotskillnad för lastbilar som för bussar, d.v.s. en faktor 1,0 för både NOx och PMavgas.

Lastbil diesel till etanol

Enligt HBEFA BAU 2035 för Storstockholm släpper en etanolbuss ut 4 % mer NO_x än en dieselbuss och för avgaspartiklar gäller 9 % mer. Detta har valts även för lastbilar.

Lätt lastbil och personbil bensin till biogas

Baserat på tidigare studier och HBEFA för Storstockholm valdes en ökning på 50 % för NO_x medan avgaspartiklar är oförändrat.

Lätt lastbil och personbil diesel till biodiesel

Antagande att biodieseln kommer att vara i form av HVO och FAME, främst RME. För FAME ses en ökning mellan ca 5 – 50 % beroende på råvara. Just RME ger i de flesta studier runt 20-30 % högre emissioner av NO_x än traditionell diesel. Dock visar studier för tunga fordon att HVO inte ger några emissionsökningar. Sammantaget har därmed en ökning på 15 % valts. För avgaspartiklar ses en minskning med ca 60 %. Detta är också det som valts, baserat på Wu et al. (2009), Verhaeven et al. (2007) och Lin et al. (2009).

Lätt lastbil och personbil diesel till biogas

Wang et al. (2006) visade på något minskade emissioner för NO_x vid 30 % DME och HBEFA för Storstockholm ger en minskning på 62 %. Detta kompletteras av Takeshita et al. (2012). Vi har valt att gå på uppgifterna från HBEFA. På samma sätt blir minskningen för avgaspartiklar 67 %.

Personbil etanol till biogas

HBEFA för Storstockholm ger 58 % ökning för NO_x och 7 % minskning för avgaspartiklar.

Personbil fordonsgas till biodiesel

Antagandet att vi har 15 % högre emissioner av NO_x från biodiesel jämfört med traditionell diesel tillsammans med HBEFA för Storstockholm ger en relation mellan gas och biodiesel där personbilar med biodiesel släpper ut 3 gånger mer NO_x än gasbilar. På samma sätt har en ökning på 21 % valts för avgaspartiklar.

A3. Konverteringsfaktorer för beräkning av emissionsfaktorer för NO_x för antagna fordon och drivmedel i FFF 2035 (relativa BAU 2035). Under specifikationer listas bl.a. motortyp, årsmodell, euroklass och antalet fordon som testats.

Specifikationer	Ursprungligt bränsle (UB)	Ersättningsbränsle (EB)	Råvara EB	Konverteringsfaktor, k (UB x k = EB)	Referens
Lätta fordon					
1 motortyp, Euro 3 a)	Diesel	Biodiesel	Bomullsfröolja	1,1	Wu et al., 2009
			Sojabönlja	1,21	
			Rapsolja (RME)	1,23	
			Palmolja	1,15	
			Restolja från matlagning	1,22	
3 olika motortyper	Diesel	Biodiesel	Sojabönlja	1,04–1,13	Sharp et al., 2000
1 motortyp	Diesel	Biodiesel	Rapsolja (RME)	1,47–1,70	Tsolakis et al., 2007
2 bilar	Diesel	Biodiesel	Restolja från matlagning	1,24	Verhaeven et al., 2005
5 bilar			Rapsolja (RME)	Något högre emissioner	
1 motortyp (encylindrig, direkt- insprutning (DI))	Diesel	Biodiesel	Sojabönlja	1,21	Lin et al., 2009
			Jordnötsolja	1,19	
			Majsolja	1,21	
			Solrosolja	1,22	
			Rapsolja (RME)	1,26	
			Palmolja	1,18	
			Palmkärnolja	1,06	
			Restolja från matlagning	1,19	
1 motortyp, (encylindrig, DI)	Diesel	Biodiesel (B20)	Sojabönlja	1,06	Wyatt et al., 2005
			Ister	1,03	
			Nöttalg	1,02	
			Kycklingfett	1,00	
	Diesel	Gas (DME)		0,42	Takeshita et al., 2012

	Diesel	Gas (30 % DME)	Något minskade emissioner	Wang et al., 2006
	Diesel	Gas	0,38	HBEFA BAU 2035 Storstockholm
	Bensin	Gas (CNG)	1,27	Xie et al., 2011
	Bensin	Gas	1,62	HBEFA BAU 2035 Storstockholm
	Gas (DME)	Biodiesel	2,62	Takeshita et al., 2012
	Gas	Biodiesel	3,03	Biodiesel = diesel x 1,15 HBEFA BAU 2035 Storstockholm
	Etanol	Gas	1,58	HBEFA BAU 2035 Storstockholm
Tunga fordon och bussar				
3 lastbilar	Diesel	Biodiesel	Restolja från matlagning	Ingen skillnad Verhaeven et al., 2005
	Diesel	Biodiesel (B20)		1,02 US EPA, 2002
b)	Diesel	Biodiesel (B100)		1,40 US EPA, 2002
	Diesel	Etanol- biodiesel- diesel 5:20:75 %		1,02–1,14 Shi et al., 2006
1 motortyp, tung lastbilsmotor med direkt- insprutning	Diesel	Biodiesel (HVO)		0,95 Aatola et al., 2008
17 bussar, Euro II – EEV, olika insprutnings- system och efterrening	Diesel	Biodiesel (HVO)		0,90 Erkkilä et al., 2011
Buss	Diesel	Etanol		1,04 HBEFA BAU 2035 Storstockholm
7 bussar, Euro III – EEV, olika insprutnings- system och efterrening	Diesel	Gas (CNG)		0,25 Nylund et al., 2004

4 bussar, årsmodell 1998- 2001 (5 olika körcykler, katalysator och partikelfilter)	Diesel	Gas (CNG)	0,50	Ayala et al., 2002
2 bussmotorer, Euro III	Diesel	Gas (CNG)	0,30	Van Ling et al., 2003
13 fordon, årsmodell 2010- 2015, Euro VI – EEV	Diesel	Gas (CNG)	1,00	AVL MTC, 2015
Bussar, Euro III – EEV, (PEMS- mätning)	Diesel	Gas (CNG)	1,52	Hallquist et al., 2013
c)				
Buss	Gas (CNG)	Biodiesel	1,00	Gas = diesel Diesel = biodiesel
Buss	Etanol	Gas (CNG)	0,96	HBEFA BAU 2035 Storstockholm

- a) Skillnaderna mellan biodiesel från olika råvaror beror till största delen på cetantal, syreinhåll och viskositet.
- b) Begränsad data, ej statistiskt signifikanta resultat.
- c) Emissionsfaktorer för NO_x beräknade utifrån NO₂-ekvivalenter. NO_x uppskattades från NO genom att använda standard NO₂/NO_x-kvoter från HBEFA 3.1.

A4. Konverteringsfaktorer för beräkning av emissionsfaktorer för PMavgas för antagna fordon och drivmedel i FFF 2035 (relativa BAU 2035). Under specifikationer listas bl.a. motortyp, årsmodell, euroklass och antalet fordon som testats.

Specifikationer	Ursprungligt bränsle (UB)	Ersättningsbränsle (EB)	Råvara EB	Konverteringsfaktor, k (UB x k = EB)	Referens
Lätta fordon					
1 motortyp, Euro 3 a)	Diesel	Biodiesel	Bomullsfröolja	0,34	Wu et al., 2009
	Diesel	Biodiesel	Sojabönlja	0,47	
	Diesel	Biodiesel	Rapsolja (RME)	0,40	
	Diesel	Biodiesel	Palmolja	0,34	
	Diesel	Biodiesel	Restolja från matlagning	0,31	
3 motortyper	Diesel	Biodiesel	Sojabönlja	0,50–0,72	Sharp et al., 2000
5 bilar	Diesel	Biodiesel	Rapsolja (RME)	Kraftigt minskade emissioner	Verhaeven et al., 2005
2 bilar	Diesel	Biodiesel	Restolja från matlagning	0,90	
1 motortyp (omodifierad, encylindrig, DI)	Diesel	Biodiesel	Sojabönlja	0,41	Lin et al., 2009
			Jordnötsolja	0,50	
			Majsolja	0,45	
			Solrosolja	0,41	
			Rapsolja (RME)	0,45	
			Palmolja	0,41	
			Palmkärnolja	0,27	
			Restolja från matlagning	0,50	
	Diesel	Gas (DME)		0,25	Takeshita et al., 2012
	Diesel	Gas		0,33	HBEFA BAU 2035 Storstockholm
	Bensin	Gas		0,99	HBEFA BAU 2035 Storstockholm
	Gas (DME)	Biodiesel		1,00	Takeshita et al., 2012

	Gas	Biodiesel	1,21	Biodiesel = diesel x 0,60 HBEFA BAU 2035 Storstockholm
	Etanol	Gas	0,93	HBEFA BAU 2035 Storstockholm
Tunga fordon och bussar				
	Diesel	Biodiesel (B20)	0,90	US EPA, 2002
1 motortyp (tung lastbilsmotor, DI)	Diesel	Biodiesel (HVO)	0,65	Aatola et al., 2008
17 bussar, Euro II – EEV (olika insprutnings- system och efterrening)	Diesel	Biodiesel (HVO)	0,70	Erkkilä et al., 2011
	Diesel	Etanol- biodiesel- diesel 5:20:75 %	0,70	Shi et al., 2006
Buss	Diesel	Etanol	1,09	HBEFA BAU 2035 Storstockholm
7 bussar, Euro III – EEV (olika insprutnings- system och efterrening)	Diesel	Gas (CNG)	0,25	Nylund et al., 2004
4 bussar, årsmodell 1998- 2001 (5 olika körtyper, katalysator och partikelfilter)	Diesel	Gas (CNG)	1,00	Ayala et al., 2002
2 bussmotorer, Euro III	Diesel	Gas (CNG)	2,0 – 3,0	van Ling et al., 2003
13 fordon, årsmodell 2010- 2015, Euro VI – EEV	Diesel	Gas (CNG)	1,00	AVL MTC, 2015
Bussar, Euro III – EEV, (PEMS- mätning)	Diesel	Gas (CNG)	Minskade emissioner	Hallquist et al., 2013

Buss	Gas (CNG)	Biodiesel	0,70	Gas = diesel Erkkilä et al., 2011
Buss	Etanol	Gas (CNG)	0,91	HBEFA BAU 2035 Storstockholm

- a) Skillnaderna mellan biodiesel från olika råvaror beror till största delen på cetantal, syreinhåll och viskositet.

Bilaga 1. Enkät ”Fossilfri fordonsflotta år 2035 – Hur kommer den se ut?”

Som de flesta av er som får denna enkät vet, så genomför jag ett forskningsprojekt där jag jämför ett scenario ”Business As Usual” (BAU) år 2035 för Stockholms läns fordonsflotta med några tänkbara fossilfria scenarier. Utifrån detta ska jag beräkna förändringar i utsläpp, lufthalter, hälsovinster/förluster samt samhällsekonomiska vinster/förluster.

En avgörande fråga är hur den framtida fossilfria fordonsflottan kommer att se ut. Utseendet på framtidens fordonsflotta kommer bero av flertalet faktorer, där skattepolitiken, den ekonomiska utvecklingen och den tekniska utvecklingen ingår bland flera. Jag har beslutat att förhålla mig till de fossilfria bränslen som redan finns på marknaden idag eftersom det är mest troligt att det är dessa som kommer att etablera sig ytterligare och kunna växa snabbast under de närmsta 20 åren. Andra alternativa bränslen kommer säkert finnas men kanske inte i så stor skala år 2035.

Nedan följer några ”enkla” frågor som jag skulle bli väldigt glad över ifall du ville ta dig lite tid att svara på. Det behövs inte någon efterforskning för dina svar, utan jag är intresserad av vad du som expert inom området tror angående dessa frågor. Om du vill går det bra att istället beskriva utvecklingen i mer allmänna termer och t.ex. peka på avgörande faktorer som kommer att styra utvecklingen av fordonsflottans utseende.

Svaren kommer inte att ingå i rapporten om detta inte är av intresse. Tack på förhand!

Område och år: Stockholms län, år 2035

Befintliga bränslen och fordon: buss (diesel, etanol, gas), tung lastbil (diesel), lätt lastbil (bensin, diesel), personbil (bensin, diesel, etanol, gas)

Fossilfria bränslen: biodiesel (FAME, HVO), etanol, biogas, el

1. Är det något mer bränsle som kommer att finnas i betydande andel utöver de fyra fossilfria bränslena som redan antas?
2. Hur stor andel elfordon kan vara realistiskt att anta för de olika fordonstyperna buss, tung lastbil, lätt lastbil och personbil?
3. Vilket eller vilka fossilfria bränslen kommer de dieseldrivna personbilarna att använda?
4. Vilket eller vilka fossilfria bränslen kommer de bensindrivna personbilarna att använda?
5. Vilket eller vilka fossilfria bränslen kommer de dieseldrivna lätta lastbilarna att använda?
6. Vilket eller vilka fossilfria bränslen kommer de bensindrivna lätta lastbilarna att använda?
7. Kommer etanol att finnas på marknaden och i så fall för vilka fordon?
8. Vilket eller vilka biobränslen kommer de tunga lastbilarna drivas med?
9. Hur skulle du sätta ihop en fossilfri fordonsflotta med de givna fordonstyperna (buss, tung lastbil, lätt lastbil, personbil) och fossilfria bränslena (biodiesel, etanol, biogas, el)?

Bilaga 2. Överblick av de svar som erhöles via en enkät som skickades ut till Trafikverket och Miljöbilar i Stockholm.

Trafikverket:

Tunga lastbilar någon %-andel el

Personbilar minst 20 % el

Lätta lastbilar ungefär som personbilar men något lägre andel el

Personbilar diesel --> biodiesel/el

Personbilar bensin --> el/elhybrid, bensinmotor som räckviddsförlängare, en del gas, syntetiska bränslen med lite etanol som låginblandning

Lätta lastbilar som personbilar

Tunga lastbilar → biodiesel, HVO (liten del FAME), metan (flytande)

Etanol → troligen inte på marknaden. Däremot som låginblandning i syntetisk bensin, kanske för tunga fordon.

Fossilfri fordonsflotta: elektrifiering för det som går, resten biobränslen.

Miljöbilar i Stockholm:

Nuvarande innerstadsavtal för bussar löper till år 2022-2024, sedan kan en högre elandel komma att introduceras. Ca 25% av SLs flotta 2035.

Tunga lastbilar någon %-andel el

Personbil → tekniken kommer finnas, ekonomisk fråga

Lätta lastbilar → tekniken kommer finnas, ekonomisk fråga

Personbilar diesel --> biodiesel

Personbilar bensin --> FT-bensin eller liknande

Lätta lastbilar → till största delen el

Tunga fordon → etanol, biogas, HVO, FT-diesel, DME

Fossilfri fordonsflotta:

Stadsbuss: el

Regionalbuss: etanol eller biogas, ev laddhybrid där det passar

Intercitybuss: etanol eller biogas

Långfärdsbuss: LBG, etanol, DME, kanske biodiesel, samt enstaka elvägar där det är möjligt

lätt lastbil: el överallt där räckvidden är lång nog, annars laddhybrid på ett av biodrivmedlen

Personbil: el överallt där räckvidden är lång nog, annars laddhybrid på ett av biodrivmedlen

SLB-analys, Miljöförvaltningen i Stockholm.

Tekniska nämndhuset, Fleminggatan 4.

Box 8136, 104 20 Stockholm.

Tel 08-508 28 800, dir. 08-508 28 880

