TRAFIKVERKET

RAPPORT

PM Förbifart Stockholm - Tunnelluft

Del 3: Översikt filterteknik och kupéns skyddande effekt

Yta för bild

Trafikverket
Postadress: 172 90 Sundbyberg
E-post: trafikverket@trafikverket.se
Telefon: 0771-921 921

Dokumenttitel: PM Förbifart Stockholm – Tunnelluft; Översikt filterteknik och kupéns skyddande effekt
Författare: Tomas Olsson och Emma Hedberg, Sweco AB
Dokumentdatum: 2019-01-17
Ärendenummer: TRV 2018/124310
Version: 1.0
Kontaktperson: Thomas Holmström, TRV

TMALL 0004 Rapport generell v 2.0

Innehåll

1. SAMMANFATTNING 4

1.1. Frågeställningar i PM:et 4

2. INOMHUS- OCH UTOMHUSMILJÖ 5

2.1. Kort sammanfattning om inomhusmiljö avseende partiklar 5

2.2. Kort om utomhusmiljö 7

2.3. Kort om luftfilter för ventilationsanläggningar i byggnader 7

3. KUPÉFILTER 10

3.1. Typer av kupéfilter 10

3.2. Filtreringsgrad för kupéfilter i personbilar 13

3.2.1. Undersökningar/mätningar av partikelhalt i fordon 14

3.2.2. Filtreringseffekt för olika storlekar av partiklar 16

3.3. Ventilationssystem i personbilar 19

3.3.1. Skötsel av filter i personbilar 20

3.4. Samtal med en biltillverkare 21

3.5. Sammanfattning kupéfilter och bilventilation 22

4. BEDÖMNING/DISKUSSION 24

4.1. Inomhusmiljö kontra utomhusmiljö i mitten av 1970-talet 24

4.2. Filtreringsgrad 24

4.3. Förbifart Stockholms fordonsflotta 2030 (målår) - hur ser filtertekniken/reningsteknik i fordon ut då? 25

4.4. Förslag till reduktion av risk 26

1. Sammanfattning

Förbifart Stockholm är den motorvägspassage som ska leda vägtransporter förbi Stockholm utan att passera Essingeleden. Idag passerar trafiken centrala Stockholm och passerar områden med mycket bebyggelse och resulterar i stor befolkningsexponering. Förbifartens längsta tunnel kommer att bli drygt 16 km lång, vilket är en lång tunnel även i ett internationellt perspektiv.

Inom Trafikverket har man finansierat forskning för att ta reda på vilka halter av luftföroreningar man förväntas få i Förbifarten, samt den ohälsa som exponeringen av tunnelluften kan leda till. Forskningen har fokuserat på att förstå föroreningssituationen i tunnelmiljö, och analyserar framförallt de långsiktiga hälsoeffekterna av luftföroreningar.

Detta PM avser att göra en snabb överblick om fordonskupéernas skyddande effekt, och om och hur filtreringsteknik kan leda till förbättrad hälsa hos tunnelanvändare.

Eftersom fordonens kaross kommer att fungera till viss utsträckning som skyddande miljö för fordonsresenären, föreslås att denna skyddande effekt medräknas vid en riskkalkyl.[1] Beroende av fordonets ålder, skick och service av filtermedia kommer denna skyddande effekt skilja sig åt. Detta PM är framtaget för att problematisera kring kunskap och kunskapsluckor i dessa frågor, och om möjligt landa i ett förslag kring hur mycket filtrering innebär i form av riskminskning då färre avgaspartiklar kommer in i fordonskupén.

1.1. Frågeställningar i PM:et

- Inomhusmiljö vid kohortens[2] hemadress: Vad är det för inomhusmiljö och utomhusmiljö vid den tidpunkten *(alltså vid exponering i Nafstads studie, dvs 1974 - 1978)*?

- I hälsoforskningen antas att korrelationen mellan kupé och tunnelkoncentrationer vara samma som korrelationen mellan inom- och utomhusmiljö på 70-talet. Är detta ett rimligt antagande?

- Små förbränningspartiklar eller antal partiklar filtreras till en grad på 50% enligt en annan rapport finansierad av Trafikverket. Studien baserades på delvis moderna bilar. Är det ett rimligt antagande givet dagens ventilationssystem/filterteknik i fordon?

- Tunnelns målår antas vara 2030 - hur ser filtertekniken/reningsteknik i fordon ut då? Vad är infiltrationen i moderna bilar idag för jämförelse

[1] Riskkalkylen kommer att presenteras i ett separat PM.
[2] Inom statistik avser kohorten en grupp individer som delar en viss karaktäristik, i detta fall ålder, kön och bostadsort vid ett visst givet tidsintervall.

2. Inomhus- och utomhusmiljö

Riskkalkylerna som ligger till grund för beräkningarna av förtida dödsfall i Orru et al 2016 baseras på Nafstaads studie kring relativ riskökning och exponering av föroreningar från trafik. Av naturliga orsaker finns det förenklingar både i Nafstaads studie och i Orrus studie, av vilka de mest uppenbara är:

- Årsdoserna för exponeringen baseras på deltagarnas bostadsadresser
- Kupéernas filtrerande effekt i dagsläget likställs med filtreringseffekten mellan utomhus- och inomhusmiljön för bostäder på 1970-talet
- Många kortvariga men extremt höga halter av luftföroreningar ger samma hälsoeffekt som en mycket lägre, men beständigt långvarig höjning av halterna i omgivningsluften

Detta avsnitt berör partiklar och filter/ventilation i inomhus- och utomhusmiljö under 1970-tal samt nutid.

2.1. Kort sammanfattning om inomhusmiljö avseende partiklar

Partikelhalter i inomhusluft beror på bland annat på:

- Partikelhalter utomhus
- Persontäthet. Husdjur.
- Typ av ventilationssystem (S, F, FT, FTX)
- Städning.
- Luftomsättning och filtrering.
- Aktiviteter som genererar partiklar.

I underlagsstudien för relativ riskökning avseende förtida dödsfall har forskarna tagit hänsyn till andra kända riskfaktorer, även kallat störfaktorer (confounders på engelska), som är kända att kunna leda till förkortad livslängd; exempelvis rökning, socioekonomisk status etc. Syftet med att räkna bort bidraget från störfaktorer är att försöka undvika att komma till felaktiga slutsatser om vilka samvariationer som faktiskt visar på ett kausalt samband och vad som bara är en samvariation som är mer eller mindre slumpmässig eller beror på något annat än det man studerar. Av de punkter som listas ovan kan anses att den sista, aktiviteter som genererar partiklar, till viss del därför har uteslutits – men andra som kan vara mer eller mindre generellt förekommande naturligtvis kvarstår. Ett exempel skulle exempelvis kunna vara matlagning på gasspis, vilket inte exkluderats.

Generellt kan man dela upp de huvudsakliga källorna till partiklarna utifrån deras storlek:

- PM1[3]: Sotpartiklar från dieselavgaser och förbränning, virus, smog
- PM10[1]: Partiklar från däckslitage, oljerök, mögelsporer
- TSP[1]: Pollen, grovt damm

Det här är en förenkling, och ger heller inte någon heltäckande bild av källuppkomst för inomhusluft men i stort för utomhusluften.

När det gäller bostäder i flerfamiljshus så utgörs oftast ventilationssystemet av ett F-system dvs en mekanisk frånluftsfläkt. Luft tas in utifrån genom spaltventiler i fönster eller via radiatordon. I radiatordon finns ofta någon typ av grovfilter, medan spaltventiler i fönster saknar oftast filter. Den uteluft som tas på det här viset är antingen helt ofiltrerad eller så skiljer filtret endast av grova partiklar över 10 µm. Det är rimligt att anta att denna typ av 0- eller grovfiltrerad ventilationssystem var den förekommande i Nafstad-studien.

Numera är ventilationsanläggningar i exempelvis skolor, sjukhus och kontor oftast FTX-system, vilket innebär att tilluften filtreras. Eftersom det finns många källor till partiklar inomhus i bostäder och skolor är partikelhalterna (PM10) ändå ofta högre än utomhus även om tilluften filtreras. Här bör man ju dock notera att källorna till partiklarna är olika, och hälsoeffekten av PM10 baseras på utomhushalter.

Det finns lagar och förordningar när det gäller inomhusmiljö och ventilation. 1992 infördes obligatorisk funktionskontroll av ventilationssystem (OVK) i byggnader där människor vistas. OVK innebär återkommande tillsyn av funktionen i ventilationsanläggningar.

Det finns mycket färre undersökningar om effekt av storleksdefinierade partiklar inomhus än utomhus. Orsaken är troligen att inomhusmätningar är mer resurskrävande än utomhusmätningar. Det finns heller inget hälsobaserat gränsvärde för partiklar i inomhusluft.

En källa till ultrafina partiklar i inomhus är tobaksrökning. [4] Sedan början på 1980-talet har andelen 16–84-åringar som röker dagligen närapå halverats, från 31 procent 1980-81 till 16 procent 2004-05, vilket troligen också lett till motsvarande exponeringsminskning. Det har även införts rökförbud på arbetsplatser och på restauranger. Man kan därför anta att partikelhalten i bostäder och arbetsplatser har minskat kraftigt, enligt en studie kan halten PM2,5 minska med 70% om hemmet blir rökfritt.

[3] PM betyder partikelmassa under en viss diameter uttryckt i µg/m^3. TSP betyder total suspended particles, dvs alla luftburna partiklar utan storleksavskiljning.
[4] http://www.scb.se/statistik/_publikationer/le0101_2004i05_br_le114sa0701.pdf

Exempel på uppmätta halter

Stationär mätning

	Bostäder	Skolor	Kontor
”Ultrafina” (antal/cm3)	3 000	3 000	4 000
PM2,5 (mikrog/m3)	10	15	-
PM10 (mikrog/m3)	15	70	15
TSP (mikrog/m3)	40	120	30

Framför allt i skolor är halterna av de större partiklarna högre än riktvärdena för utomhusluft

Figur 1 Exempel på uppmätta halter som presenterats i en powerpoint från Karolinska institutet. Som jämförelse är miljökvalitetsnormen för PM10 som årsmedelvärde 40 µg/m3 och dygnsmedelvärde 90-percentil 50 µg/m3. Årsmedelvärde för PM2.5 är 25 µg/m3. För antal partiklar och TSP (total suspended particles) finns inte en miljökvalitetsnorm att jämföra mot.

2.2. Kort om utomhusmiljö

Även med avseende på utomhusluft har det skett stora förändringar sedan 1970-talet:

- Antal dieseldrivna personbilar ökade från drygt 200 000 till knappt 1 400 000 mellan åren 2004 – 2015, en ökning med 575%
- 1980 var antalet dieseldrivna fordon 113 000 i jämförelse med det totala antalet personbilar 2 288 000 stycken. Dieselandelen var cirka 5%
- Antalet diesel- och bensindrivna fordon år 2015 var 4 340 000 stycken, varav dieselandelen var 32%.
- Mellan år 1975 – 2000 ökade personbilstransporterna med 50%
- Förbättrad avgasrening från fordon har gjort att utsläpp av kväveoxider har minskat. Det motverkas av att utsläpp från personbilar ökar med större andel dieseldrivna fordon.
- Minskad oljeeldning för uppvärmning av byggnader
- Minskade utsläpp av sot och lägre halter i omgivningsluft

2.3. Kort om luftfilter för ventilationsanläggningar i byggnader

Syftet med kapitlet är att göra en kort genomgång av de filtertyper som finns för byggnader, då klassning och standarder finns på området. Det till skillnad från filter i personbilar, som inte är definierade på samma sätt och vars funktion, teknik eller filtreringsgrad kan vara

oklassad och odokumenterad, och därmed svår att följa upp. En tanke med kapitlet är att visa på att om det finns möjlighet att standardisera, klassa och dokumentera filter i byggnader, måste det även kunna gå att göra för personbilar i framtiden.

- Ett vanligt förekommande tilluftsfilter har varit filter av klass F7 och för frånluftsfilter F5.
- Filter är konstruerade för bestämda luftflöden och lufthastigheter.
- Avskiljningsgraden är som lägst när filtret är nytt och ökar efterhand när partiklar ansamlas.
- Det är svårast att fånga upp partiklar i storleksområde ca 0,1 – 0,4 µm, se vidare Kapitel 3.2.2.
- Regn och fukt påverkar funktionen genom bland annat högre tryckfall. Filtreringsförmågan försämras eller förhindras helt. Man kan även få mikrobiell tillväxt i den filterkaka som bildas.

Den nya filterstandarden ISO 16890 gäller för ventilation i byggnader från och med andra kvartalet 2017.

- Klassificeringssystemet är relaterat till filterprestanda mot tre olika storlekar av partiklar, PM1, PM 2,5 och PM10.

KLASS ENLIGT ISO 16890	**PM1**	**PM2,5**	**PM10**	**GROV**
AVSKILJNINGSFÖRMÅGA	50 – 95 %	50 – 95 %	50 – 95 %	mindre än 50 %
PARTIKELSTORLEK	< 1 µm	< 2,5 µm	< 10 µm	alla storlekar

Motsvarande klassificering enligt äldre standard visas i figuren nedan:

Klassificering av luftfilter[1)]					
Grupp	Klass	Sluttryckfall Pa	Genomsnittlig avskiljnings-grad (Am) syntetiskt stoft %	Genomsnittlig effektivitet (Em) vid 0.4 µm partiklar %	Minimum effektivitet[2)] vid 0.4 µm partiklar %
Grov	G1	250	50≤Am<65	-	-
	G2	250	65≤Am<80	-	-
	G3	250	80≤Am<90	-	-
	G4	250	90≤Am	-	-
Medium	**M5**	450	-	40≤Em<60	-
	M6	450	-	60≤Em<80	-
Fin	F7	450	-	80≤Em<90	**35**
	F8	450	-	90≤Em<95	**55**
	F9	450	-	95≤Em	**70**

OBS
[1)] Beskaffenheten hos atmosfärsiskt stoft varierar i jämförelsen med det syntetiska teststoftet. På grund av detta ger inte testresultaten en bra bas för att förutsäga varken prestation eller livslängd. Förlust av elektrostatisk laddning eller avgivande av partiklar och fibrer kan också påverka effektiviteten negativt.
[2)] Minimum effektivitet är det lägsta värdet av den initiala effektiviteten, den urladdade effektiviteten och den lägsta effektiviteten under testets utförande.

Figur 2 Klassificering av filter enligt äldre standard EN779:2012

Man kan notera att för finfiltermedia, F7-F9, är den genomsnittliga effekten vid 0,4 µm partiklar mellan 1980-95%. När det gäller den här typen av filter, är deras användbarhet i personbilar möjligen begränsad, men kan ändå visa på att det finns utrymme för användning av befintliga standarder för utformning av eventuella krav på ventilationsfilter och därigenom teknikutveckling från tillverkare, eller utveckling av befintliga standarder. En viktig del av detta är förstås också efterfrågan från konsumenten.

3. Kupéfilter

En kort tillbakablick: 1987 var året då SAAB som första personbilstillverkare introducerade ett kupéfilter i 900-modellen. Filtret var av enklare typ, avsett att filtrera bort pollen och grövre dammpartiklar. Innan 1987 saknade personbilar i allmänhet helt kupéfilter.

Ett par år senare, några år in på 90-talet, började mer avancerade filter med aktivt kol komma som standard i premiumbilar. I början av 2000-talet var ungefär 90% av de nya fordon som såldes utrustade med någon typ av kupéfilter.

2018 bör nära nog samtliga nya personbilar vara utrustade med kupéfilter.

3.1. Typer av kupéfilter

Det finns två vanliga typer av kupéfilter:

- Standard pollenfilter – Filtrerar pollen och grövre partiklar. Flera fordonstillverkare har filter av HEPA-klass som option, men verkar ej vara vanligt förekommande.

- ”Multifilter” – Filtrerar bort partiklar men har även ett lager med aktivt kol som tar bort lukt och gaser. Filtertypen kan även ha ett lager som fångar upp och eliminerar allergener.

I vissa filter har man även UV-ljus för att förhindra bakterietillväxt i filtret.

Det har dock varit svårare än väntat att hitta tekniska data om filterklass för kupéfilter. Data anges vare sig i användarhandböcker eller i reservdelskataloger. Det är dessutom oklart vilken filterstandard som gäller för kupéfilter. Det finns två standarder, ISO 11155 del 1[5] och del 2[6], som avser luftfilter för kupé samt tester för filtrering av gaser i vägfordon.

I ventilationsanläggningar för byggnader används ofta påsfilter, vilket ger en stor filterarea genom att ett antal sydda påsar är infäst i en panelram. I fordon finns det mindre utrymme för filter varför man använder så kallade panelfilter. Det är ett filtermedia som veckas likt ett dragspel. Filtermediet har samma djup som panelramen.

[5] https://www.iso.org/standard/34308.html
[6] https://www.iso.org/standard/46274.html

Figur 3 Påsfilter

Figur 4 Panelfilter

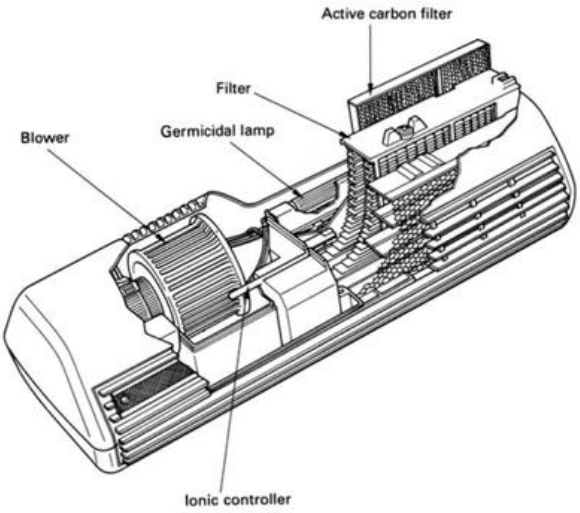


Figure 1.18 Air filtration system with pollen, carbon filter and germicidal lamp (with the agreement of Toyota (GB) PLC)

Figur 5 Exempel på pollenfilter med aktivt kol och UV-ljus för att motverka bakteriell tillväxt.[7]

[7] Illustration ur Automotive Air Conditioning and Climate Control Systems, Steven Daly (från Google Books)

Intervju med filtertillverkaren DINAIR: DINAIR levererar produkter främst till tillverkare av tyngre fordon såsom bussar, lastbilar, traktorer och liknande, men även till tåg och tunnelbanetåg. Tillverkare av yrkesfordon som buss och lastbil har en högre medvetenhet när det gäller miljön i kupéerna jämfört med personbilstillverkare. Man ställer högre krav på att filtrering skall fungera och man gör även tester för att verifiera funktionen.

Den vanligaste filterklassen i kategorin tyngre fordon är F7 men M5 förekommer (se Figur 2). Det är större luftmängder i dessa fordon jämfört med personbilar och det finns även mer utrymme för större filter, vilket innebär att man kan använda sig av finfibermedia i filtren. I personbilar är luftflödena lägre än i större fordon och det finns även mindre fysiskt utrymme för filter varför man använder sig av filter med grovt media som är elektrostatiskt laddade. Den typen av filter har lägre tryckfall än filter med finfibermedia. HEPA-filter är den filtertyp som informeras om, om det finns i personbilars kupéfiltreringssystem. Dock finns den i en mycket liten andel personbilar på grund utav det höga tryckfallet och att de snabbt sätts igen.

Kent.Petersson@dinair.se *Tel 0418-44 65 84*

3.2. Filtreringsgrad för kupéfilter i personbilar

HEPA-filter kan filtrera bort 99,97% av de luftburna partiklar som har en storlek av 0,3 µm i diameter. HEPA-filter förekommer i personbilar, men att det inte är vanligt förekommande då tryckfallet blir för stort och det lätt sätts igen.

De vanligaste förekommande filtren i personbilar verkar hålla klass F7/F8 och är elektrostatiskt laddade.[8] Ett F7 filter avskiljer med genomsnittlig effektivitet 80 – 90% av partiklar med storlek 0,4 µm, minimum effektivitet är 35% vid partiklar 0,4 µm. Dock kan ett helt urladdat elektrostatiskt filter enligt källor ha så låg avskiljningsgrad som 6-7% av det ursprungliga värdet, vilket ungefärligt motsvarar filterklass G4.

Information om mekaniska och elektrostatiska filter: Grova/elektrostatiska fibrer är på grund av sin stora storlek enklare och billigare att tillverka. Deras primära partikelavskiljningseffekt fungerar genom att fibrerna laddas elektrostatiskt vid tillverkningsprocessen. När laddningen avtar på grund av partikelbelastning, avtar även filtrets avskiljningseffekt. Detta är ytterst allvarligt eftersom 99 % av alla partiklar är mindre än 1 µm – och det är just i detta intervall som avskiljningsgraden minskar mest.

Finfibermedier fungerar genom mekanisk avskiljningsprincip och fibrernas effektivitet blir inte sämre med tiden.

Hämtat från filtertillverkaren Camfils hemsida (www.camfil.se)

I normen ANSI/ASHRAE 52.2-1999 finns ett inledande avsnitt med följande innehåll: *”**Vissa luftfilter med fibermedier har elektrostatiska laddningar** som antingen kan vara naturliga eller läggas på mediet vid tillverkningen. Sådana filter kan uppvisa en hög avskiljningsgrad när de är rena och en sjunkande avskiljningsgrad under sin livslängd. Det inledande behandlingssteg i dammbelastningsproceduren som beskrivs i normen kan påverka filtrets avskiljningsgrad, **men inte med så mycket som vad man kan iaktta under verklig användning. Därför kan den lägsta avskiljningsgraden under provningen vara högre än vad som kan uppnås under verklig användning**.”* [Rapportförfattarens fetning]

I EN779: 2002 anges följande: *”En del typer av filtermedier använder elektrostatisk laddning för att åstadkomma **hög avskiljningseffektivitet med lågt luftmotstånd. Vid en del typer av utmaningar, till exempel förbränningspartiklar i normal atmosfärluft eller oljedimma, kan sådan laddning neutraliseras vilket avsevärt minskar filterprestanda**. Det är viktigt att användarna är medvetna om att prestanda kan minska om laddningen neutraliseras. Det är också viktigt att det finns bra sätt att upptäcka var sådana risker förekommer. Den normativa provningsprocedur som beskrivs i bilaga A ger olika tekniker för hur denna typ av risker ska upptäckas. Proceduren används för att avgöra om filtrets avskiljningsgrad är avhängig av den*

[8] enligt uppgift från DINAIR

elektrostatiska avskiljningen samt för att tillhandahålla kvantitativ information om vikten av den elektrostatiska avskiljningen" [Rapportförfattarens fetning]

I dessa stycken framgår klart att luftfilterexperterna är ense om den inverkan som tiden har på avskiljningsgraden hos filter som utnyttjar passiva elektrostatiska laddningar. Dessutom uttalar man bekymmer för de potentiellt felaktiga provningsresultat som kan uppstå när normen tillämpas på grovfibriga filter som bygger på elektrostatisk laddning.

Avskiljningsgraden minskar alltså mest för storlekar < 1 µm, och eftersom förbränningspartiklar är mindre än så kan man också räkna med att det urladdade filtret i princip inte skyddar mot förbränningspartiklar. Urladdningen av elektrostatiska filter är alltså problematisk, och bör hanteras för fordon som använder Förbifart Stockholm med regelbundenhet, då mikromiljön i tunneln sannolikt bör anses som belastande för just denna typ av partiklar. Detta särskilt om dieselfraktionen i bilflottan är fortsatt hög framgent.

3.2.1. Undersökningar/mätningar av partikelhalt i fordon

I Österrike har man utfört mätningar av antalskoncentrationen ultrafina partiklar i personbilskupé vid körning i en 3,4 km lång motorvägstunnel.[9] Mätningarna gjordes för olika förutsättningar, såsom veckodag och helg, samt med varierande ventilationsinställningar i fordonet. Partikelstorleksintervallet som mättes var mellan 5,5 och 350 nm, alltså framförallt små förbränningspartiklar. Mätning gjordes med fläkten inställd på medelhastighet och med ventilationssystemet i tre olika lägen:

1. Luft från utsidan genom kupéfiltret (ventilation air, VA)

2. Återcirkulation av kupéluft (re-circulated air, RCA)

3. Återcirkulerad luft kombinerat med bilens airconditionsystem (RCA/AC)

Tekniska data för kupéfiltret saknades men det är dock angivet att filtret är av typen pollenfilter. Det anges heller inte om filtret är helt nytt eller om det varit använt och under hur lång period eller under vilka förutsättningar.

Resultatet av mätningarna visade att i läge 1 (VA) kunde partikelantalet reduceras med upp till 60%. I läge 2 (RCA) reducerades partikelantalet ytterligare. Störst minskning fick man i läge 3 (RCA/AC). Minskningen i läge 3 antogs bero på att det på grund av skillnader i temperatur och relativ luftfuktighet sker en kondensation mot partiklarna, som i återcirkulationen av luft filtreras bort.

Man gjorde även laboratorietest av filtret för att mäta filtreringsgraden:*" Lab-test analysis of the vehicle's built-in filter efficiency yielded an average value of 60% (Fig. 5). In-cabin*

---

[9] In-Vehicle Exposure to Ultrafine Particles While Driving through a Tunnel System and Associated Lung Deposition Calculations
Pierre Madl[1], Hussain Majid[2*], Felicitas Kwasny[1], Werner Hofmann[1]
[1] Division of Physics and Biophysics, Department of Materials Research and Physics University of Salzburg, Hellbrunnerstrasse 34, A-5020 Salzburg, Austria
[2], Higher Education Commission of Pakistan, 44000, Pakistan

protection up to 171.7 nm particles varied between 73.7–58.1%, but dropped to 17.7% at that threshold diameter. These results are comparable to the findings published by Qi et al.(2008). Zhu et al.(2007) reported filter efficiencies ranging from 20% to 50% (50% for particles in the 7–40 nm size range and 20–30% for particles in the 40 to approximately 200 nm). These data suggest that there is generally similar protection over these size ranges; however each type of filter needs to be evaluated separately to determine its real characteristics."

I denna undersökning visar man alltså en påtaglig reduktion av submikrona partiklar, trots att filtermedia enbart enligt uppgift är pollenfilter, dvs. i princip ett dammfilter.

I Umeå har man undersökt hur filter fungerar mot dieselavgaser och hälsosymtom. Mätningar gjordes i laboratorium, med försökspersoner i exponeringskammare. [10] Notera att studien utfördes 1998, vilket innebär att det har skett en del teknikutveckling gällande kupéfilter sedan dess. I studien fann man bland annat att filtren minskar partikelhalten med ca 50%. Dock reducerades hälsosymtomen inte med enbart vanliga pollenfilter, trots reduktionen i partikelhalt. Om man använde kombinationsfilter, det vill säga pollenfilter kombinerat med aktivt kol, kunde man dock se en signifikant sänkning av symtom på hälsoeffekt vid samma sänkning av partikelhalten.

Citerat resultat från studien: *"**The two particle filters decreased the concentrations of diesel exhaust particles by about half, but did not reduce the intensity of symptoms** induced by exhaust. The combination of active charcoal filters and a particle filter significantly reduced the symptoms and discomfort caused by the diesel exhaust. The most noticable differences in efficacy between the filters were found in the reduction of detection of an unpleasant smell from the diesel exhaust. In this respect even the two charcoal filter combinations differed significantly. The efficacy to reduce symptoms may depend on the abilities of the filters investigated to reduce certain hydrocarbons. No acute effects on NAL, rhinometry, and lung function variables were found."* [Rapportförfattarens fetning]

SLB Analys har på uppdrag av Trafikverket utfört mätningar för att kvantifiera föroreningshalter i fordonskupéer i förhållande till omgivande halter utanför fordonen i vägtrafiktunnlar. [11] Syftet var att få ett mått på exponering av höga tunnelhalter i kupémiljö Mätningar utfördes i personbilar av olika märken och årsmodeller, samt en i en buss.

---

[10] Efficiency of automotive cabin air filters to reduce acute health effects of diesel exhaust in human subjects. Rudell et al 1999. Occup Environ Med 56:222-231
https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1757727/pdf/v056p00222.pdf

[11] Halter av partiklar och NOx i fordon i relation till omgivningsluftens halter Underlag för skattning av trafikantexponering Christer Johansson, Sanna Silvergren, Michael Norman, Billy Sjövall Rapport på uppdrag av Trafikverket; SLB analys februari 2013
http://www.slb.nu/slb/rapporter/pdf8/slb2013_001.pdf

Mätningarna visade att halten av PM10 var 2 - 10% av halten utanför. Halten PM2,5 var 5 – 22% av halten utanför. De grövre, massmässigt mer betydande partiklarna, borde därför kunna anses vara oväsentliga för kupémiljön.

Det totala antalet partiklar och sot i fordonen var cirka hälften eller mindre jämfört med halten i tunnelluft. Dock kan man se, i ljuset av att NOx kommer att vara den styrande parametern för ventilationssystemet i Förbifarten, att NO2 och NOx kommer in i kupén med samma koncentration som förekommer i tunnelluften. Det innebär att om man antar att hälsoeffekten följer antal partiklar, bör effekten ungefär halveras i förhållande till NOx-halterna enligt denna rapport.

Tabell 1 Fraktionsandel inne i fordonskupén jämfört med i tunnel vid ventilation.

	PM_{10}	$PM_{2.5}$	Antal partiklar*	Sot	NO_x/NO_2
Andel i fordon med ventilation påslagen	2-10 %	5-22 %	41-52 %	41-50 %	80-100 %

*Motsvarar ungefär avgaspartiklar

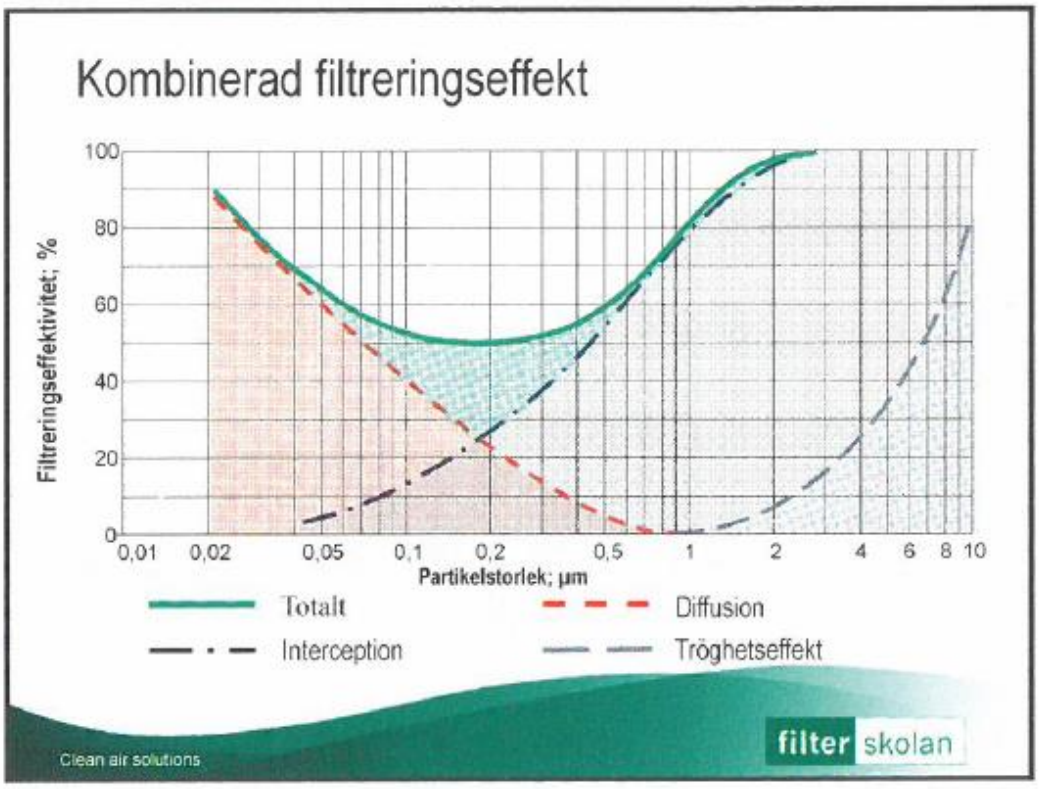
Med återcirkulation påslagen var partikelhalten någon enstaka procent av halten utanför.

3.2.2. Filtreringseffekt för olika storlekar av partiklar

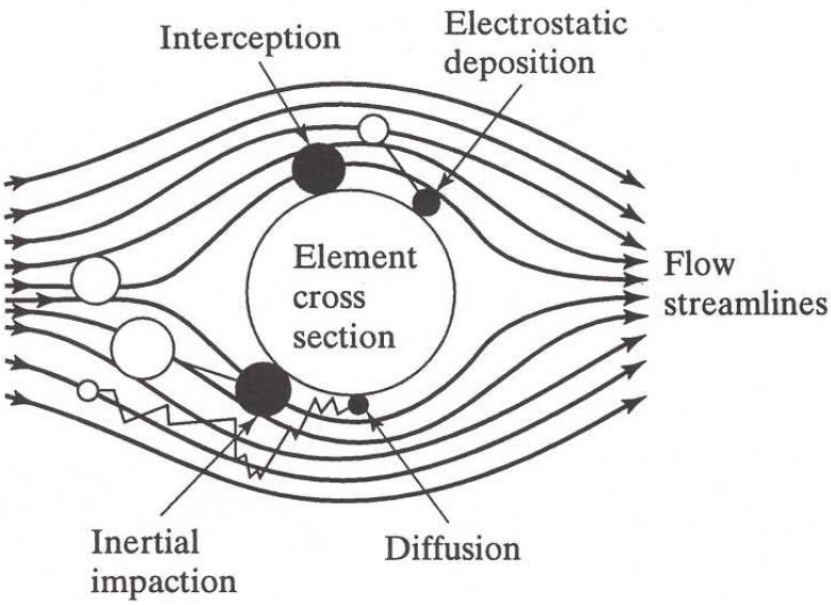
Kapitel 3.2.1 redogör för tre olika försök att kvantifiera partiklars inträngning i kupémiljö samt upplevd hälsoeffekt av exponering. Tillsammans visar de att det är komplexa samband och att man idag inte riktigt kan säga hur stor andel partiklar som kommer in i kupén, och hur hälsoupplevelsen blir.

Figur 6 visar hur spannet mellan 0,1 och 0,4 µm uppvisar sämst filtreringsmöjlighet. Notera att Figur 6 ej avser de elektrostatiskt laddade filtren som tidigare nämnts, utan avser de mekaniska filtreringsmöjligheterna.

I Figur 8 och Figur 9 syns också tydligt att PM1 avskiljs till hög grad vid de högre filterklasserna, men när man betraktar avskiljningen av mindre partiklar är den sämre.



Figur 6 Diagrammet visar total filtreringseffekt av filtrering genom diffusion och filtrering genom interception, och synliggör att det är svårast att fånga upp partiklar i intervallet ca 0,1 – 0,4µm. Partiklar inom det intervallet kommer dock inte att förekomma i tunnelluft då avgaspartiklar och sot förekommer i storlekarna <0,1 µm.[12]



Figur 7 Figuren visar principerna för diffusion och interception. Impaktion motsvarar tröghetseffekt i Figur 5.

[12] Christer Johansson, ACES på Stockholms Universitet samt SLB Analys på Stockholms miljöförvaltning, muntlig kommunikation.

Filterklass	PM1	PM2,5	PM10
M5	< 20%*	< 40%*	> 50%
M6	< 40%*	50–60%	> 60%
F7	50–75% **	> 70%	> 80%
F8	70–85%	> 80%	> 90%
F9	> 85%	> 90%	> 95%

*) Typisk luftfiltereffektivitet mot PM1 och andra större masskoncentrationer
**) EN779:2012, filterklass F7 +50% (ME) motsvarar >60% PM1
P-märkning filterklass F7 motsvarar >60% PM1

Figur 8 Filterklassernas olika avskiljning av olika PM-fraktioner.

Filter-Klass	Minsta partikel-avskiljningsgrad; 0,4 µm	Minsta partikel-avskiljningsgrad; 0,85 µm
F5	2 %	14 %
F6	12 %	30 %
F7	50 % (35%)	70 %
F8	70 % (55%)	86 %
F9	80 % (70%)	91 %

Figur 9 Filterklassernas olika avskiljning vid partikeldiameter 0,4 och 0,85 µm.

Som en jämförelse med filterteknik i byggnader, har IVL Svenska Miljöinstitutet AB i ett projekt studerat ventilationssystemets betydelse för luftkvaliteten i fyra kontorsbyggnader. I projektet mätte man bland annat partikelhalter och kvävedioxid, före och efter tilluftsfiltret. [13]

En av slutsatserna i rapporten var: ”*Avskiljningen av partiklar i filtret är inte så effektiv som man skulle kunna tro, utgående från den typ av filter som används (F7-filter). Det kan finnas många olika skäl till det, exempelvis dåligt infästa filter (vilket förekomsten av bakterier efter filtret i kontor 1 tyder på). Efter filterbyte är avskiljningen av partiklar bra men effekten avtar med tiden.* ***Detta är överraskande, eftersom avskiljningsgraden anses öka när filtret sätts igen***.” [Rapportförfattarens fetning]

[13] **Åtgärder för att förbättra tilluftens kvalitet på kontor** - Rapporten godkänd: 2014-04-09 John Munthe Forskningschef, Pär Fjällström, Erica Bloom, Bengt Christensson, Bo Sahlberg, Gabriella Östlund, Ann-Beth Antonsson B 2166 Januari 2014

3.3. Ventilationssystem i personbilar

Ventilationssystem i personbilar fungerar i princip likadant oberoende på modell och märke, se nedan. Det som skiljer är bilen är utrustad med AC, partikelfilter eller någon typ av automatik för styrning av systemet.

Som standard bör de flesta personbilar även vara utrustade med en funktion för återcirkulation av kupéluften. Återcirkulationsfunktionen aktiveras antingen manuellt genom en knapptryckning, medan i mer avancerade system kan återcirkulationen aktiveras automatiskt av en partikel- eller luftkvalitetssensor. Det kan vara så att den automatiska funktionen kan behöva aktiveras manuellt i vissa bilmodeller för att fungera. I kallt klimat är dock återcirkulationen begränsad för att undvika imbildning, vilket förstås begränsar dess funktion under de kallare månaderna.

Principerna för ventilationssystemet i en personbil är:

- Luftintaget är placerat nedanför vindrutan under del av motorhuven
- Uteluften passerar kupéfilter, värmebatteri samt AC om den är i drift
- Luft släpps ut (avluft) via ventiler som finns i kupéns bakre delar. Ventilerna är försedda med gummiklaffar och fungerar som backventiler, vilket innebär att de släpper ut luft, men inte in.
- Återcirkulation stänger uteluftsintaget och kupéluften cirkulerar genom kupéfiltret.
- Fläkten åstadkommer ett övertryck i kupén, trycket beror på fläktinställning samt möjligtvis även bilens hastighet. Sweco utförde en enkel mätning i kupé vid olika fläktdrift: mätning av lufttrycket utfördes i en VW Tiguan årsmodell 2012. Vid medelhastighet på fläkten mättes 20 pascal (Pa), vid max defroster mättes 50 Pa och vid återcirkulation 0 Pa. Övertryck vid normal fläktdrift motverkar att utomhusluft tränger in via eventuella otätheter.

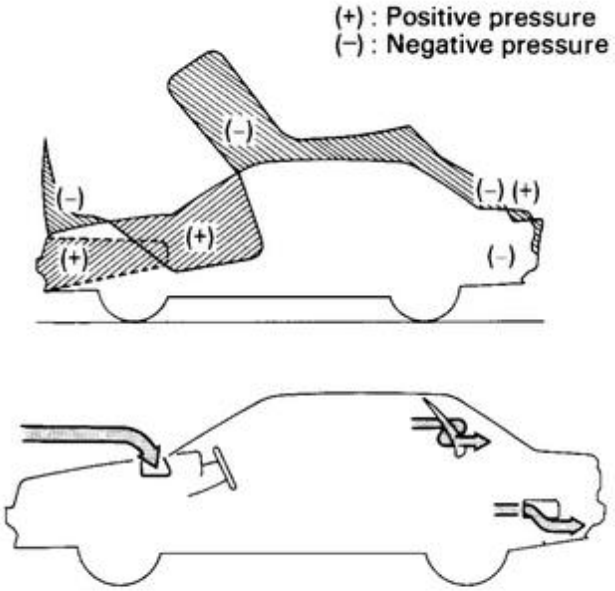


Figure 1.13 Positive and negative pressure across the surface of the vehicle (with the agreement of Toyota (GB) PLC)

Figur 10 Lufttrycksfördelning över en bilkaross. [14]

3.3.1. Skötsel av filter i personbilar

Fordonstillverkarna anger som regel att filtren skall bytas 1 gång per år eller med ett intervall om 1000 - 2000 mil. Filtren byts i enlighet med serviceprogrammet. När det gäller nya fordon så krävs det att man följer serviceplanen för att garantierna skall gälla. Man kan då förutsätta att kupéfiltren byts vid servicetillfällena.

Efter hand att fordonen blir äldre och faller i pris brukar bilägarna på grund utav kostnadsskäl avstå från att göra service på märkesverkstaden för att i stället utföra service själv eller på annan verkstad. Det är oklart hur omfattande servicen blir och i vilken utsträckning man fortsätter att byta kupéfilter när det sker.

Filtren sätts igen med tiden och blir därmed tätare. Det gör också att luftflödet in till kupén minskar. Beläggningen av smuts på filtret gör att fukt tas upp i högre grad vilket ökar risken för kondensbildning i kupén, detta på grund av att luft som passerar filtret tar upp fukt från filtret och den relativa luftfuktigheten höjs relativt till uteluften. Ju smutsigare filter desto mer fukt kan det ta upp.

[14] Illustration ur Automotive Air Conditioning and Climate Control Systems, Steven Daly (från Google Books)

3.4. Samtal med en biltillverkare

Volvo Cars utvecklar fordon för den kinesiska marknaden. Kinesiska städer har omfattande problem med extrema halter av luftföroreningar, som framför allt härrör från olika förbränningskällor, biltrafik inkluderat men absolut inte enbart. De nivåer som förekommer regelbundet, ligger på i svenska mått mätt extrema nivåer.

I kontakt med Volvo har det framkommit att företaget arbetar med kupéfiltrering för att kunna rena luften som förekommer på den kinesiska och övriga marknader med besvärlig luftsituation. Volvos mål är att kupémiljön ska möta WHO:s riktlinjer för utomhusluft oavsett hur omgivningen ser ut, vilket för PM2,5 avser innebär 25 µg/m^3 som dygnsmedelhalt. Det är dock oklart hur Volvo ansätter målet; om målet avser att 25 µg/m^3 inte ska förekomma som halt i kupén som momentanvärde, eller om det avser 25 µg/m^3 som medelvärde över ett dygn. Om målet avser den första ansatsen finns det stora möjligheter att kommande reningstekniker för kupémiljö kan skärma av ansenliga nivåer av förbränningsrelaterade avgaser.

För att illustrera vilka halter som kan förekomma, beskrivs halter som kan förekomma i en kinesiskt urban miljö kort: Den kinesiska stadsluften regleras med avseende på PM2,5, och nivåerna för övervakning av luftkvaliteten presenteras i Figur 11, med olika nivåer av varning för allmänheten om ohälsosamma nivåer av luftföroreningar. Under 2016 var årsmedelhalten för PM2,5 73 µg/m^3, och vid 39 tillfällen låg dygnsmedelvärdet över 300 µg/m^3.[15] Rening för att komma ner till WHO:s dygnsmedelhalt behöver då vara minst 90% för PM2.5 under dygn med hög föroreningshalt, givet att det är dygnsmedelhalten som avses som tillverkarens reningsmål. Om reningsmålet istället är att aldrig överstiga 25 µg/m^3 som momentanvärde, behöver reningen vara ännu mer effektiv eftersom det under kortare perioder under ett dygn kan vara betydligt högre halter.

Man kan tänka att halterna av PM2.5 i kinesiska städer framförallt beror på förbränningsrelaterade föroreningar, till skillnad från i Sverige, där en stor del av massan PM2,5 beror av slitagepartiklar. En rening som reducerar PM2,5 i Kina bör därför vara effektiv på de mindre förbränningsrelaterade partiklarna, för att kunna reducera massan i den utsträckningen. Tyvärr är detta inget som vi har kunnat bekräfta i kontakten med tillverkaren, men givet att konsumenter börjar kräva den här kvaliteten av reningsutrustning, kommer leverantörer börja att leverera både tekniken och informationen om det.

[15] https://en.wikipedia.org/wiki/Pollution_in_China 2018-12-18

AQI	Description
101-150	Slight pollution
151-200	Moderate pollution
201-300	Heavy pollution
301-500	Hazardous

Color	Condition
Blue	"Heavy pollution" in the next 24 hours
Yellow	"Hazardous" in the next 24 hours; or "heavy pollution" for three consecutive days
Orange	Alternate "heavy pollution" and "hazardous" days for three consecutive days
Red	Average of "heavy pollution" for four consecutive days, "hazardous" for two consecutive days or average AQI over 500 for one day

Figur 11 Luftkvalitetsindex (AQI) för omgivningsluft i kinesiska städer. Avser µg/m³ av nulägeshalter för PM2.5. Målet för Volvo Cars är att luftkvaliteten i fordonskupén ska motsvara WHO:s riktlinjer för utomhusluft, vilket för PM2.5 dygnsmedelvärde är 25 µg/m³.

3.5. Sammanfattning kupéfilter och bilventilation

Partikelhalten i en personbilskupé beror på ett antal faktorer, under förutsättning att fönster och takluckor är stängda:

- Partikelhalten och partikelstorlekarna utanför kupén.
- Partikeltillskott i kupén d.v.s. partiklar från människor, kläder, deponerade partiklar på ytor och i textilinredning, tobaksrökning etc.
- Kupéfiltrets filterklass.
- Luftomsättningen i kupén. Omsättningen är beroende av luftflödet in i kupén, avluftsflödet samt kupéns volym.
- Hur pass använt filtret är. Filtrets förmåga att avskilja partiklar är inte statisk utan varierar över tid beroende på tex urladdning och igensättning.
- Fordonskupéns täthet.
    - Om det finns otätheter kan utomhusluften läcka in. Otätheter är speciellt betydelsefulla vid återcirkulation eftersom tryckdifferensen sjunker till 0 (vid stillastående fordon). När fordonet framförs skapar luften tryck- och sugzoner runt karossen där krafterna kan vara stora och orsaka inläckage av luft till kupén.
- Andra otätheter i ventilationssystemet, speciellt vid kupéfiltrets infästning.
- I vilken grad återcirkulationsfunktionen används.
    - Undersökningar har visat att partikelhalten är som lägst vid återcirkulation. Funktionen återcirkulering kan dels initieras manuellt, men användningen

blir då naturligtvis helt beroende av brukarvanorna, hur många som använder funktionen, eller helt enkelt hur många som känner till den. I bilmodeller med partikelsensor sköts återcirkulationsfunktionen automatiskt under vissa temperaturförhållanden. Även en automatisk funktion kan behöva aktiveras manuellt, och blir därför också brukarberoende. I kallt klimat är återcirkulationen begränsad för att undvika imbildning.

    - Återcirkulation under en längre period kan innebära problem med kondensation och liknande, och därmed begränsa längden av användningen.

- Användning av AC. Drift av AC verkar bidra till en ytterligare sänkning av partikelhalten jämfört med enbart återcirkulation.

4. Bedömning/diskussion

4.1. Inomhusmiljö kontra utomhusmiljö i mitten av 1970-talet

- Utomhusmiljö vid den undersökta gruppens hemadress: Vad är det för inomhusmiljö kontra utomhusmiljö vid den tidpunkten (alltså vid exponering i Nafstads studie, dvs 1974-1978)?

När det gäller luft har inomhusmiljön ändrats en del sedan 1970-talet. Tobaksrökning har mer än halverats sedan början av 1980-talet. Det bör innebära att halten fina partiklar i bostäder, arbetsplatser, restauranger mm sjunkit kraftigt. Notera att även passivrökningen har minskat mi motsvarande grad. Den tekniska utvecklingen av ventilationsanläggningar (FT, FTX) har gått framåt vilket innebär bättre luftkvalitet. Myndighetskraven på innemiljön i bostäder och arbetsplatser har skärpts.

Det vanligaste ventilationssystemet i flerbostadshus från 60-talet och framåt är mekanisk frånluftsventilation (F) vilket innebär att uteluft tas in via olika typer av don i klimatskalet. Luften antingen helt ofiltrerad eller så passerar luften ett grovt filter som avskiljer pollen och större partiklar.

Bostäder med självdragsventilation (S) saknar som regel helt filter för uteluften.
Sedan 70-talet har det egentligen inte hänt mycket vad gäller filtrering av uteluft för dessa två kategorier av bostäder.

I den studie som ligger till grund för hälsoriskbedömningarna har rökning och dess effekt exkluderats.

4.2. Filtreringsgrad

- Små förbränningspartiklar eller antalpartiklar filtreras till en grad på 50% enligt en rapport finansierad av Trafikverket. Studien baserades på delvis moderna bilar. Är det ett rimligt antagande givet dagens ventilationssystem/filterteknik i fordon?

En frågeställning var i vilken grad små förbränningspartiklar filtreras. Det finns undersökningar där man mätt partikelhalten i fordonskupéer. Mätningar har gjorts dels under verkliga förhållanden och dels i laboratoriemiljö där man simulerat trafikförhållanden.

I rapporterna redovisas partikelhalter vid olika driftfall. Filtreringsgraden i undersökningarna ligger på runt 50-60%. Mätningar vid återcirkulation visar på högre effektivitet, 80% eller högre uppåt ca 98%.

I ett par rapporter som vi gått igenom saknas i flera fall tekniska data för filtren, det anges inte heller om filtren vid mätningen varit nya eller om de varit i användning innan studien.

Det finns indikationer på att elektrostatiskt laddade filter laddas ur mer än vad filtertillverkarna anger som lägsta värde när filtret kommer i kontakt med fina förbränningspartiklar från exempelvis dieselmotorer. Avskiljningsförmågan kan då bli så låg som 6-7% av det ursprungliga angivna, lägsta värdet.

IVL har i en undersökning funnit att filter för fastighetsventilation får sämre avskiljningsgrad efter tid (filter brukar annars sägas bli bättre när de börjar sättas igen). Eftersom filter i fordon består av samma typ av filtermedia bör samma sak gälla för kupéfilter.

Filtreringsgraden är som sagt inte statisk utan varierar över tid och med användningsområde och det är därför svårt att ge en siffra i procent. Som sämst 6-7% vid helt urladdade elektrostatiskt laddade filter till 98% avskiljningsgrad vid återcirkulation i kupén.

Den absolut viktigaste faktorn när det gäller att reducera partikelhalten i kupén verkar vara användning av återcirkulationsfunktionen. Funktionen aktiveras i många fall av brukaren. Det är oklart i vilken grad brukarna har kännedom om funktionen och i vilken utsträckning den används. Brukarvanorna när det gäller användning av återcirkulation bör undersökas och kanske är det så att information kan öka användningen?

Förslagsvis behöver man göra ett större antal mätningar i bilar av olika märken/modeller för att få en bättre indikation på i vilken grad filtren avskiljer partiklar i verklig körning. Mätningarna bör systematiskt utföras över tid, utifrån filtrets rekommenderade bytesintervall, för att se om och i så fall hur avskiljningsförmågan varierar med användning. Det bör också ingå i studien information om vilka filter som används, för att lättare kunna utvärdera olika filter- och ventilationstypers effekt på kupéhalterna.

4.3. Förbifart Stockholms fordonsflotta 2030 (målår) - hur ser filtertekniken/reningsteknik i fordon ut då?

- Tunnelns målår antas vara 2030 - hur ser filtertekniken/reningsteknik i fordon ut då? Vad är infiltrationen i moderna bilar idag för jämförelse

Luftburna partiklars inverkan på människors hälsa är ett uppmärksammat problem. Ju mer problemet blir känt bland konsumenter kommer sannolikt efterfrågan bra innemiljö i fordonskupén att öka. Man kan därför tänka sig att fordonstillverkare arbetar aktivt med att utveckla filter och ventilationslösningar.

När det gäller bostäder och arbetsplatser finns det lagar och förordningar som gäller ventilation. Kan det i framtiden komma myndighetskrav när det gäller miljön i fordonskupéer?

4.4. Förslag till reduktion av risk

- I hälsoforskningen antas korrelationen mellan kupé- och tunnelkoncentrationer vara samma som inom- och utomhusmiljö på 70-talet. Är detta ett rimligt antagande?

Om man utifrån vad denna undersökning visat skulle göra ett grovt antagande om filtreringsgrad för fordon i dagsläget så hamnar en grov skattning på 20-25%. Filtreringsgraden kan var bättre, framförallt för nyare fordon och med framtida teknik, men så länge man inte har bättre kännedom om allt som påverkar filtrering bör man göra försiktiga antaganden. Dock bör antagandet att reningsgrad i bostäder under 70-talet är detsamma som i dagens fordonsflotta underskatta den rening som ändå kan visas ske mellan tunnelluften och kupén.

Därför föreslås en riskreduktion på 20-25% avseende kupéfiltrering när en kompletterande riskvärdering görs, i förhållande till det antagande som gjordes i Trafikverkets tidigare finansierade forskning där ingen riskreduktion har antagits.

Trafikverket, Sundbyberg. Besöksadress: Löfströms allé 6A.
Telefon: 0771-921 921, Texttelefon: 020-600 650

www.trafikverket.se