

AVGASER	KOLVÄTEN
TRAFIK	BUSSAR
BILAR	SPÅRVAGNAR
HÄLSORISKER	ARBETSMILJÖ

Bilavgaser i fordon och gatumiljö
Expositionsläge och åtgärdsunderlag

Göran Petersson
Kemisk Miljövetenskap
Chalmers tekniska högskola

Delrapport till Arbetarskyddsfonden avseende projektet 78/124:
Bensen och alkylbensener i olika arbetsmiljöer.

Göteborg 8 oktober 1979

INNEHALLSFÖRTECKNING

1. Sammanfattning
2. Kolväten och andra luftföroreningar från bilavgaser
 - 2.1. Kolvätemönster i fordon och gatumiljö
 - 2.2. Kolväten som modell för bilavgaser
 - 2.3. Omgivningshygien och arbetsmiljökrav
3. Åtgärdsunderlag i form av jämförande expositionsanalyser
 - 3.1. Yttre gatumiljö
 - 3.2. Olika fordonsslag
 - 3.3. Personbilar
 - 3.4. Bussar
 - 3.5. Spårvagnar
 - 3.6. Trafikmiljön som helhet
4. Referenslitteratur

Referenserna 1-4 utgörs av kompletterande rapporter vilka även de kan rekvireras från titelsidans institutionsadress.

1. SAMMANFATTNING

Jämförande expositions-mätningar för bensen, toluen, xylen och andra kolväten har gjorts i olika trafikmiljöer. Bilavgaser dominerar luftföroreningsbilden och ger karakteristiska analysmönster av olika kolväten. Expositionen för de studerade kolvätena avspeglar väl expositionen för de flesta bilavgaskomponenter i tätorternas luftmiljö.

Avgaskoncentrationerna inuti bilar är mycket högre än vid sidan av trafiken där luftföroreningar traditionellt mäts. Ju närmare avgasströmmen från framförvarande fordon en bil ligger ju högre blir halterna. Ett ökat bilavstånd särskilt i bilköer framför bl.a. trafikljus ger därför kraftigt sänkta koncentrationer. Stora exponeringsminskningar är angelägna och möjliga att uppnå för såväl yrkeschaufförer med lång exponeringstid som för andra bilåkande.

Expositionen för bensinavgaser i bussar och spårvagnar är mindre än hälften av den i taxibilar men ändå hög jämfört med andra tätortsmiljöer. Stora förbättringar kan åstadkommas genom ett ökat avstånd vid hållplatserna till bilköer och biltrafik. Bussar och särskilt ledbussar uppvisar förhöjda halter av dieselkolväten från egna avgaser. Såväl i nuläget som efter aktuella exponeringsminskande åtgärder är spårvagnar överlägsna bilar och dieselbussar ur avgassympunkt.

I gatumiljön kan en halverad avgasexposition vid övergångsställen uppnås genom 20 - 30 meters bilstoppfria sträckor framför trafikljus. En bortdragning av all biltrafik 50 - 100 meter från en avgasbelastad trafikmiljö sänker halterna till ungefär en tiondel. Stora expositionsminskningar kan därför uppnås genom en systematisk separation av bilar och biltrafik från arbetsplatser, hållplatser, gång- och cykelbanor, barn-daghem, skolor, bostäder och andra ställen där människor vistas. Enskilda människor kan också kraftigt minska expositionen för avgaser genom att undvika biltrafik och bilåkning i tätorter.

Den höga avgasexpositionen i fordon och gatumiljö måste minskas med hänsyn till såväl yrkesverksamma som allmänhet och särskilt barn. Det viktigaste resultatet av denna undersökning är att stora och omöjliga förbättringar av exponeringssituationen i trafikmiljön kan uppnås genom ett ökat avstånd till bilar. Detta skiljer skandinaviska länder från andra länder där fotokemiska oxidanter utgör huvudproblemet i städernas luftmiljö.

2. KOLVÄTEN OCH ANDRA LUFTFÖRORENINGAR FRÅN BILAVGASER

Bilavgaserna har under senare år kommit att bli den helt dominerande källan till människans exposition för luftföroreningar i våra tätorter (5-7). Detta innebär att bilavgaserna utgör inte bara ett gigantiskt omgivningshygieniskt problem utan också ett arbetsmiljöproblem för många yrkeskategorier. Avsikten med denna undersökning är att med inriktning på åtgärdsåtgärder kartlägga expositionen för bilavgaser i gatumiljön och speciellt inuti fordon där såväl chaufför som passagerare berörs. Bilavgaser kan på grund av sitt innehåll av många helt olika ämnesgrupper inte analyseras som ett enhetligt begrepp. Denna studie bygger sålunda främst på analyser av vissa kolväten som utgör en mängdmässigt stor del av bilavgasernas innehåll av organiska föreningar. Eftersom dessa kolväten eventuellt skulle kunna ge en missvisande bild av bilavgasexpositionen i trafikmiljön, diskuteras också kortfattat andra bilavgaskomponenter och de analyserade kolvätenas representativitet för dessa.

2.1. Kolvätemönster i fordon och gatumiljö

Sammansättningen av avgaserna från en förbränningsmotor bestäms i hög grad av motorbränslets sammansättning. De dominerande motorbränslena är petroleumprodukter vilket innebär att de består av komplicerade blandningar av kolväten, d.v.s. föreningar som innehåller enbart kol och väte. De flesta avgaskomponenterna kommer då att utgöras av oförbrända kolväten och av ofullständigt förbrända produkter från kolväten. Detta ger en mycket komplicerad luftföroreningsbild.

I Fig. 1 återges en luftanalys från trafikmiljön utförd med den analysmetodik som genomgående använts i denna studie. Provtagningen har gjorts med personburen utrustning, i detta fall under resa med spårvagn. Luftföroreningarna upptas i ett analysrör genom vilket en konstant luftström pumpas under provtagningstiden. Figuren återger ett avsnitt av resultatet från den efterföljande analysen med s.k. gaskromatografisk metodik. Varje topp svarar mot en förening och topparnas yta som mäts automatiskt är proportionell mot mängden av respektive föreningar. Analysen ger därför en bild av såväl förekomst som mängd av luftförorenande kolväten.

I det analysområde som täcks av Fig. 1 återfinns de mängdmässigt dominerande av luftföroreningarna med s.k. aromatisk ringstruktur. Dessa utgörs dels av den välkända högriskföreningen bensen och dels av ett tiotal strukturellt besläktade ämnen, s.k. alkylbensener. Bland dessa

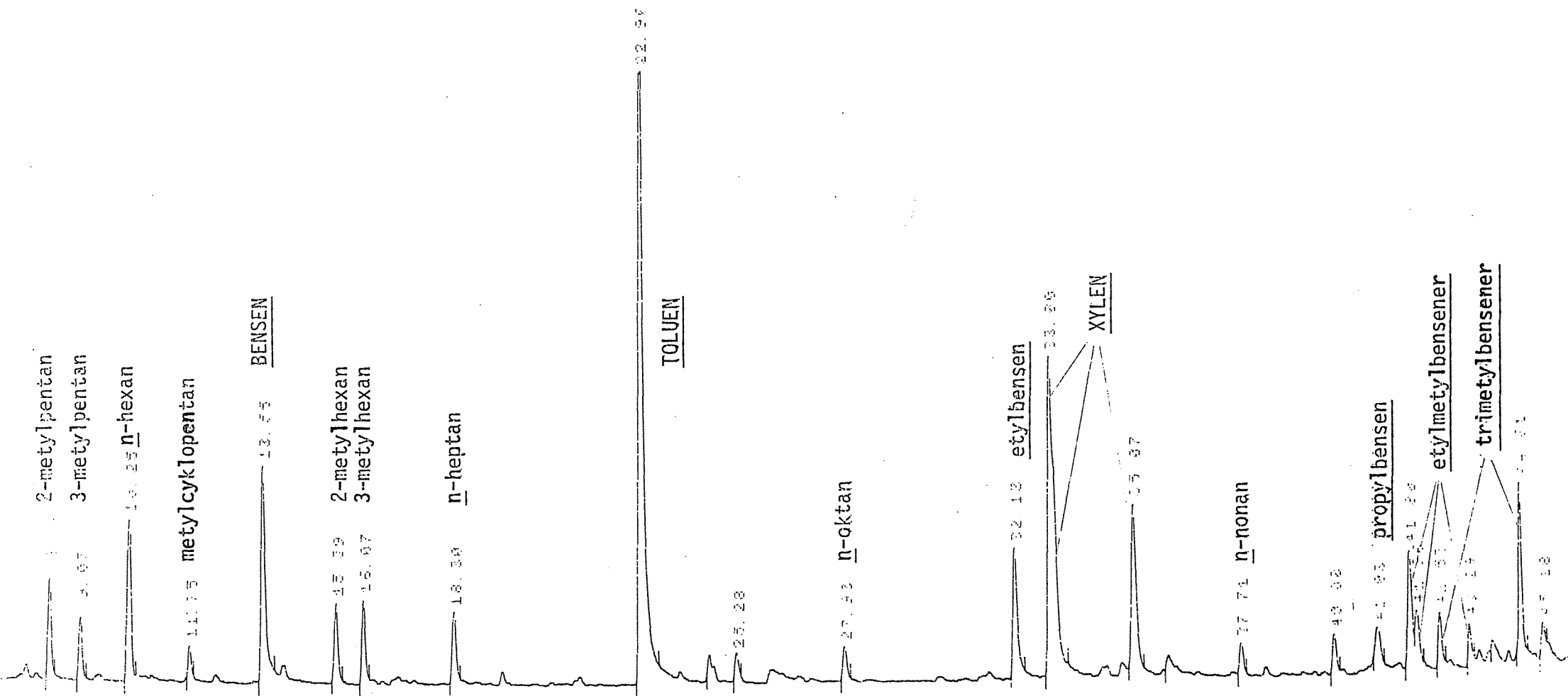


Fig. 1. Karakteristiskt luftföroreningsmönster för kolväten i svenska trafikmiljöer.

Provtagning: Luftprovet (0.2 l) upptaget i spårvagn 1979.06.12 kl. 10 under färd mellan Chalmers tekniska högskola och Göteborgs centrum.

Analysmetodik: Gaskromatografi på glaskapillärkolonn (OV-101) med lineär temperaturprogrammering.

Kolväten: Understrykning anger aromatiska kolväten (strukturformler i ref. 1). Koncentrationen av bensen bestämdes i detta fall till $14 \mu\text{g}/\text{m}^3$ luft.

dominerar toluen tillsammans med xylen som utgörs av tre närstående enskilda föreningar. De övriga ämnen som markerats med namn i analysen utgörs av icke-aromatiska kolväten med ogrenade, grenade eller cykliska kolkedjor.

Det kolvätemönster som bildas av de olika kolvätenas förekomst och inbördes mängdförhållanden återkommer praktiskt taget oförändrat överallt i trafikmiljön. Ett mycket likartat mönster erhålls vid analys av svensk motorbensin som har en förhållandevis enhetlig kolvätesammansättning (8). Detta tillåter slutsatsen att de bensindrivna bilarnas bidrag starkt dominerar luftföroreningsbilden (1). Trots mycket stora industriella utsläpp i Göteborg av enskilda kolväten som xylen påverkar sådana emissioner kolvätemönstret tydligt först i omedelbar närhet av respektive industri (1).

De skillnader i kolvätesammansättning som erhålls mellan bensin och avgaser går i en ur luftföroreningssynpunkt ogynnsam riktning. Bensen och i viss mån toluen anrikas i förhållande till övriga alkylbensener och särskilt i förhållande till de icke-aromatiska kolvätena. Denna anrikning kan vara flerfaldig under kontrollerade testförhållanden (9) men minskar vid den ineffektiva bränsleförbränning som ofta karakteriserar tätortstrafik (1,9). Av alla komponenterna i bensin finns dock toluen och xylen i klart störst mängd i trafikmiljöernas luft. Mängden bensen är ungefär 40% av mängden toluen.

Analysen i Fig. 1 avser främst att illustrera luftföroreningsmönstret för de dominerande kolvätena. Analyser av större luftmängder från hårdare belastade trafikmiljöer avslöjar närvaron av många fler komponenter och ger ett mycket mer komplicerat men fortfarande oftast konstant mönster svarande mot bensinavgaser (1). Avvikelser från detta mönster indikerar luftföroreningar från andra källor. Vid exponeringsmätningar i vissa stadsmiljöer och särskilt inomhus påvisas ibland förhöjda koncentrationer av enskilda komponenter orsakade av t.ex. tillfällig lösningsmedelsanvändning. Störningar av detta och flera andra slag kan avslöjas och korrigeras med kännedom om normalmönstret. Den använda metodiken ger därför jämfört med mätning av totalt organiskt kolinnehåll eller någon enskild bilavgaskomponent en större säkerhet och flexibilitet vid studier av luftföroreningar från fordon.

Dieselolja innehåller nästan inget av de kolväten som finns i bensin utan istället kolväten med högre kokpunkt och molekylvikt. Ogrenade enkla kolväten, s.k. n-alkaner, utgör huvudkomponenter. Särskilt de

som innehåller 10-12 kolatomer ger ett för dieselfordon karakteristiskt luftföroreningsbidrag. Dessa föreningar återfinns vid analysen efter kolvätena från bensinavgaser och kan bestämmas samtidigt i samma prov. De typiska dieselkolvätena kan också emitteras till luften från lätt eldningsolja (9) och från t.ex. raffinaderier men i trafikmiljön dominerar dieselfordonens bidrag. Den metodik som används möjliggör därför analyser av åtminstone större luftföroreningsbidrag från dieselfordon samtidigt som noggranna separata mätningar av luftföroreningar från de dominerande bensindrivna fordonen kan göras.

2.2. Kolväten som modell för bilavgaser

Kännedom om koncentrationsskillnader mellan olika luftmiljöer är av grundläggande betydelse som underlag för åtgärder syftande till en minskad bilavgasexposition. Denna undersökning redovisar sådana skillnader för oförbrända kolväten och det är då viktigt att diskutera om motsvarande skillnader gäller för övriga avgaskomponenter. Som utgångspunkt för en jämförelse ges i Tabell 1 en översikt av viktiga luftföroreningar från bilavgaser.

En huvuddel av avgasernas miljöfarliga innehåll utgörs av gasformiga föreningar. En första grupp av dessa finns redan i bränslet medan andra bildas vid förbränningen. I svensk motorbensin finns utom här diskuterade kolväten fortfarande bl.a. organiskt bly (12,15) med åtföljande tillsatser av dikloretan och dibrometan (10,15). Som förbränningsprodukter bildas kolmonoxid, kväveoxider (främst kväve-monoxid) och många lågmolekylära kolväten, bl.a. eten, som inte finns i bränslet. Dessutom emitteras flera av de cancerogena polycykliska aromatiska kolvätena delvis i gasform (14). Samtliga dessa gasformiga avgaskomponenter kan antas ha ett spridningsmönster som nära liknar de här analyserade kolvätenas eftersom alla gaser sprids på ett likartat sätt i luft.

Vissa mindre skillnader i mängdrelationerna mellan olika komponenter kan erhållas beroende på faktorer som lokalt trafikmönster och drivmedelsavdunstning. Koloxidemissionen är t.ex. i motsats till kolväteemissionen hög vid acceleration (13). Även körhastighet m.fl. trafikfaktorer kan påverka emissionsbilden. Kolvätebidrag från avdunstning av bensin kan ofta avslöjas genom förskjutningar i kolvätemönstret. I vissa speciella miljöer som på tappstationer och inuti stillastående bilar och andra fordon med förbränningsmotorer kan avdunstning ge

Tabell 1. Luftföroreningar från bilavgaser

Ämne- ämnesgrupp ¹	Effektexempel ²	Ref. ³
A. Flyktiga avgaskomponenter		
Bensen	Cancerogen (leukemi)	1,10
Alkylbensener (toluen, xylen etc)	Nervskadande	1,11
Bly (organiskt)	Hjärnskadande	12
Dikloretan - dibrometan	Mutagena, cancerogena	10
Kolmonoxid	Syreupptagningshämmande	5,6,13
Kväveoxider, NO _x	Kan ge cancerogena N-nitrosoföreningar	6,8,14
Alkenkolväten (eten etc)	Mutagena, trol. cancerogena (vissa)	7
PAH, polycykliska aromatiska kolväten	Cancerogena (vissa)	7
B. Partikelbundna avgaskomponenter		
Bly (oorganiskt)	Nervskadande	5,8
POM, polycykliskt organiskt material	Cancerogena (vissa)	14
C. Sekundära luftföroreningar		
Kvävedioxid	Luftvägsskadande	5,8
Fotokemiska oxidanter (ozon etc)	Irriterande, växtskadande	5

¹ Endast några av de bäst kända föroreningarna har medtagits.

² Ett stort antal skadeeffekter utöver exemplen är kända ; de flesta skadeeffekterna har påvisats och studerats under andra expositionsförhållanden än de som råder i olika trafikmiljöer.

³ I första hand har valts skandinaviska arbeten vilka översiktligt och med litteraturreferenser behandlar analyser och effekter av luftföroreningar från bilavgaser.

mycket höga kolvätebidrag (10). I trafikmiljön som helhet är dock dessa bidrag av underordnad betydelse jämfört med avgasbidragen. Med undantag för vissa speciella miljöer torde därför de studerade kolvätena ge en god bild av koncentrationsvariationerna i trafikmiljön för de gasformiga avgaskomponenterna.

De partikulära luftföroreningarna från bilavgaser är allvarliga ur hälso-synpunkt genom sitt innehåll av bly (5) och av på partiklarna upptaget polycykliskt organiskt material inklusive många aromatiska kolväten (7,14). Eftersom större partiklar faller till marken kan koncentrationen av partikulära föroreningar förväntas avta snabbare än koncentrationen av gasformiga föroreningar med ökat bilavstånd. Analyser av bly i mark och vegetation utefter vägar har också visat på snabbt minskade koncentrationer med ökande avstånd från vägbanan (5,6).

Bland luftföroreningar som huvudsakligen indirekt härstammar från bilavgaser märks främst kvävedioxid och fotokemiska oxidanter. De senare utgörs av föreningar som bildas under inverkan av ljus i närvaro av kvävedioxid och kolväten och som bl.a. kan ge upphov till fotokemisk smog. Eftersom dessa sekundära luftföroreningar uppkommer med en tidsfördröjning av storleksordningen timmar efter emissionen så blir spridningsbilden också speciell (5). Man får en relativt jämn fördelning över ett tätortsområde i stället för den kraftiga koncentration till bilarnas omedelbara närhet som karakteriserar de primära bilavgaskomponenterna.

Tätortsproblemen till följd av fotokemiska oxidanter är normalt störst i områden med stark solinstrålning. Eftersom människans sinnen är mer känsliga för en del oxidanter än för andra luftföroreningar upplevs ibland luftföroreningssituationen subjektivt som mindre allvarlig i Sverige än i sydligare belägna områden. I själva verket leder emellertid stabila luftskiktningförhållanden vid ett kallt klimat och speciellt vid snötäckning till en ogynnsammare situation för praktiskt taget samtliga övriga luftföroreningar från bilavgaser. Luftföroreningsnivåerna i skandinaviska tätorter är därför särskilt vintertid internationellt sett mycket höga (1,6,8).

Det faktum att de primära avgaskomponenterna utgör det dominerande problemet i svenska tätorter gör att bilavgaserna främst blir ett mycket lokalt närmiljöproblem. Sålunda ger analyser av t.ex. kolmonoxid i mindre tätorter ungefär lika höga värden som i storstäder om analyserna

görs på gator med likartade trafikmiljöer (6). Detta medför mycket större möjligheter till förbättringar av exponeringssituationen än i utländska städer där fotokemiska oxidanter utgör ett huvudproblem. Samtidigt innebär det att åtgärder och bestämmelser inte utan vidare kan lånas från andra delar av världen utan måste utformas efter våra förhållanden för att bli effektiva. De i denna studie analyserade kolvätena är som framgått ovan väl representativa för just primära avgaskkomponenter och de kan därför med fördel användas för åtgärdsinriktade studier av bilavgasproblemet i skandinaviska tätorter.

2.3. Omgivningshygien och arbetsmiljökrav

Vid ett internationellt symposium i Sverige om luftföroreningar och cancer 1977 (16) fastslogs att det inte finns några ofarliga halter av föroreningar typ bilavgaser. Detta är främst en följd av bilavgasernas innehåll av cancerogena komponenter (Tabell 1), varav de flesta troligen utgörs av polycykliska organiska föreningar. För bly (17) och andra nervskadande komponenter som aromatiska kolväten vet man inte hur snabbt skadeeffekten avtar med minskande koncentrationer och inte heller om det överhuvudtaget finns s.k. tröskelvärden, d.v.s halter under vilka ämnena är ofarliga. De gränsvärden för olika bilavgaskomponenter som finns i många länder måste därför betraktas endast som mellanstationer i arbetet på att minska expositionen för luftföroreningar.

Luftföroreningarna från biltrafik har tidigare främst betraktats som ett omgivningshygieniskt problem. Många yrkesverksamma exponeras emellertid under mycket längre tid än andra människor i trafikmiljön. Mot bakgrund av de i denna rapport redovisade höga koncentrationerna i bilar m.fl. fordon framstår därför bilavgaserna från trafiken också som ett allvarligt arbetsmiljöproblem.

När man försöker bedöma luftföroreningarna från bilavgaser, kan koncentrationerna av enskilda komponenter förefalla låga jämfört med gällande hygieniska gränsvärden. Man måste emellertid då komma ihåg att redan nu flera hundra enskilda föreningar kan analyseras i bilavgaser och framför allt att dessa kan samverka inbördes och med andra föreningar (synergism). Detta kan ge effekter som är mycket allvarligare än summan av de enskilda ämnens effekter. Jämförelser med hygieniska gränsvärden som enbart tar hänsyn till enskilda ämnen

blir därför grovt missvisande när det gäller luftföroreningar från bilavgaser. Exponeringsminskande åtgärder framstår också som ännu mycket mer angelägna när man betraktar helheten och inte enbart ser på en enskild komponent som t.ex. bly.

Bilavgaskommittén framhåller i sin lägesrapport (5) att några avgörande förbättringar av luftmiljön genom avgasrening och biltekniska åtgärder inte kan åstadkommas inom de närmaste åren. Man framhåller att de största möjligheterna till förbättringar på kort sikt i stället ligger på trafikplaneringssidan. Den föroreningsbild som redovisas i det följande och i en tidigare rapport (1) är sådan att dessa möjligheter framstår som överraskande och glädjande stora. Detta sammanhänger med den ovan diskuterade speciella karaktär som bilavgasproblemet har i Norden. I stället för att ytterligare belysa det redan självklara behovet av en snabbt förbättrad bilavgassituation avser därför denna rapport främst att ge underlag för åtgärder som direkt och effektivt kan minska bilavgasexpositionen i trafikmiljön.

3. ATGÅRDSUNDERLAG I FORM AV JÄMFÖRANDE EXPOSITIONSANALYSER

De analyser som ligger till grund för denna rapport har utförts huvudsakligen under våren 1979. Analyserna återger därför inte de mest ogynnsamma förhållandena under vintertid utan snarare för året mera genomsnittliga förhållandena. Basmaterialen för rapporten utgörs av ca 150 enskilda luftanalyser. Huvudvikten har lagts vid jämförande analyser för trafikmiljöer där många människor vistas och arbetar. Genom användning av personburen provtagningsutrustning har människornas verkliga exposition i dessa miljöer kunnat studeras.

För att reducera inverkan av skillnader i meteorologiska faktorer har jämförelser mellan olika trafikmiljöer företrädesvis gjorts samtidigt eller nästan samtidigt. Genom det relativt stora antalet analyser har för respektive miljöer typiska förhållanden kunnat kartläggas trots att väder och andra omständigheter ibland orsakar onormala resultat.

3.1. Yttre gatumiljö

För att belysa skillnaderna i avgaskoncentrationer mellan olika gatumiljöer har spårväghållplatser valts som studieobjekt. Vid dessa exponeras ett stort antal människor under väntetid och vid på- och avstigning. Dessutom påverkar hållplatsförhållandena expositionen inuti bussar och spårvagnar som stannar vid hållplatserna.

I Tabell 2 återges resultat för några utvalda illustrativa jämförelser. Den första visar vilken avgörande skillnad i koncentration som kan förekomma mellan en bilfri hållplats och en svårt belastad högtrafikgata på bara ett kvarters avstånd. Bostadshus mellan mätpunkterna bidrar möjligen till att differensen kan bli så stor. Den andra jämförelsen visar på stora skillnader mellan två hållplatser i centrala Göteborg. Båda hade ursprungligen ett liknande ogynnsamt läge av traditionell innerstadstyp, men från den ena har numera biltrafiken dragits bort några tiotal meter. Till slut jämförs vid ett annat tillfälle samma avgasbelastade innerstadshållplats med en ändhållplats som har ett gynnsamt läge. Eftersom denna hållplats ligger relativt bilfritt och nära havet kan föroreningen från bilavgaser bli obetydlig.

Tabell 2. Bilavståndets betydelse

	Bensen $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Toluen $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Xylen ¹ $\mu\text{g}/\text{m}^3$
79.04.11 kl. 8			
Övre Husargatan, högtrafik och bilköer	110	280	350
Hp Seminarieg., ca 100 m från Övre Husarg.	~4	11	14
79.04.17 kl. 14			
Hp Domkyrkan, trafikljus och bilköer ²	83	250	330
Hp Kungssportsplatsen, ca 50 m från biltrafik	7	18	31
79.03.23 kl. 11			
Hp Domkyrkan, som ovan ²	26	120	130
Hp Saltholmen, bilfri ändhållplats	~1	3	3

¹ Inklusiv etylbensen ² För hållplatsen höga respektive normala halter

De givna exemplen visar att avståndet till biltrafik spelar en avgörande roll för koncentrationen av bilavgaser i olika luftmiljöer. Detta har belysts och diskuterats mer ingående i en tidigare rapport (1). Bortdragning av biltrafik 50-100 m, motsvarande ett kvarter, reducerar avgaskoncentrationen i en trafikpunkt till endast ca 10-20% av den ursprungliga. Förbättringar genom trafikminskning kräver däremot att biltrafiken reduceras i ungefär samma utsträckning som man önskar minska avgaskoncentrationen. En bortdragning av biltrafik från miljöer där människor vistas utgör därför ett mycket effektivt sätt att åstadkomma expositionsminskningar.

En allmänt ökad separation av biltrafik från människor kräver insatser på främst kommunal nivå. Ett exempel är bortdragning av biltrafik från hållplatser för kollektivtrafik. Liknande avgörande expositionsminskningar för stora grupper av människor kan uppnås för många tätortsmiljöer nära biltrafik. Bland dessa kan nämnas affärsgator, torg, skolor och barndaghem.

De stora expositionsminskningar som kan uppnås gör det mycket angeläget att även enskilda människor och intressegrupper arbetar för ett ökat avstånd till bilar i sin närmiljö. Om biltrafiken på gatan intill en bostad eller arbetsplats dras bort, innebär detta en avgörande förbättring för berörda människor. Det är också önskvärt att bilparkeringar dras bort från den omedelbara närheten av bostäder och andra ställen där människor vistas. Bilar ger nämligen relativt stora avgasemissioner vid kallstart och bensinkomponenter kan avdunsta även från parkerade bilar.

Ur ren arbetsmiljösynpunkt är avgasproblemet i gatumiljön viktigt för bl.a. gatu- och anläggningsarbetare. Gatuarbeten leder ofta till flaskhalsar för trafiken och därmed till en ännu sämre avgassituation än den för gatan normala. Dessutom ökar upptagningen av avgaskomponenter med ökad andningsfrekvens och ökad fysisk aktivitet (11). Den klart effektivaste metoden att minska gatuarbetarnas avgasexposition torde vara att stänga av de närmaste gatuavsnitten för biltrafik. Storleksordningen av de förbättringar som detta kan ge illustreras av jämförelserna för spårväghållplatser eftersom dessa kan betraktas som modeller för gatuarbetsplatser.

Ordningspoliser representerar en yrkesgrupp med ett rörligt arbete i tätorternas gatumiljö. För sådana grupper kan omedelbara expositionsminskningar främst åstadkommas genom att individen undviker att vistas onödigt nära biltrafik. Trottoarer utmed högtrafikerade gator och särskilt utmed bilköer tillhör de miljöer som om arbetet så medger bör undvikas. Ju större individens rörelsefrihet är desto större blir naturligtvis möjligheterna att uppnå en minskad avgasexposition. Särskilt på fritiden finns därför förutsättningar för många människor att drastiskt minska sin avgasexponering genom att inte i onödan vistas nära biltrafik.

3.2. Olika fordonsslag

I Tabell 3 redovisas medelvärden av de ca 25 analyser som gjorts för vardera personbil, buss och spårvagn i samordnade undersökningar (2-4).

Som framgår av tabellen är koncentrationerna inuti taxibilar ca tre gånger högre än inuti spårvagnar. Värdena i bussar är däremot inte särskilt mycket högre än i spårvagnar. Förklaringen till de höga värdena för bilar måste vara att dessa ligger direkt i avgasströmmen från framförvarande bilar. Bussar använder visserligen oftast samma körbanor men de har luftintag på hög höjd och omges av en annorlunda

Tabell 3. Medelvärden för olika fordonsslag ¹

	Bensen $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Toluen $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Xylen $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Personbil ²	58	175	155
Buss ³	19	71	67
Spårvagn	17	59	56

¹ Analyser i Göteborgsregionen med en för alla fordonsslagen likartad fördelning på olika trafiktäta områden och med ungefär jämn fördelning mellan gles och tät trafik, mellan centrala Göteborg och yttre områden och mellan tider med rusningstrafik och lugnare dagtider; körsätt och färdvägar genomsnittligt i stort sett representativa för tätortstrafiken; provtagningstider i de flesta fall 5-15 min.

² Taxi; 75% av analyserna i dieselbilar.

³ Främst Göteborgs Spårvägars trafik.

luftströmning. Delar av spårvägsnätet har jämfört med bussnätet en gynnsammare placering på visst avstånd från biltrafik. Att halterna ändå blir nästan lika höga i spårvagnar som i bussar kan förklaras av att många spårvagnshållplatser har en ur avgassynpunkt mycket ogynnsam placering.

Buss- och spårvagnsresenärens exposition är ungefär lika stor som gångtrafikanterens (1). Detta är naturligt eftersom trottoaren och bussarnas och spårvagnarnas luftintag finns på liknande avstånd från bilavgasströmmen. De bilåkande är följaktligen den trafikantgrupp som utsätts för klart högst koncentrationer av bensinavgaser. Situationen för dieselavgaser är i princip likartad men avviker genom höga halter av dieselkomponenter inuti dieseldrivna fordon som bussar.

Publicerade mätvärden för avgaskomponenter i tätortsluft hänförs sig oftast till mätstationer vid sidan av gatan och ibland högt över huvudhöjd. Detta innebär att bilavståndet blir större och koncentrationerna därmed lägre än för de flesta här diskuterade luftmiljöer.

Människornas exposition i fordon och gatumiljö ligger därför avsevärt högre än de värden på vilka bedömningar av risker och åtgärdsbehov tidigare grundats. Trafikanternas och i synnerhet de bilåkandes nuvarande exponeringssituation framstår mot denna bakgrund som mycket oroande.

De höga halterna i fordon understryker behovet av skyndsamma åtgärder i expositionsminskande syfte. Dessa måste för att bli effektiva grundas på kunskaper främst om påverkbara faktorerers inverkan på expositionens storlek. Med denna utgångspunkt diskuteras i det följande expositionen för bilavgaser och olika åtgärdsalternativ separat för bilar, bussar och spårvagnar.

3.3. Personbilar

I Tabell 4 återges valda resultat som belyser inverkan av några viktiga faktorer på expositionen inuti en bil. Ett större analysmaterial redovisas i ref. 2.

Tabell 4. Expositions nivåer inuti personbilar ¹

	Bensen $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Toluen $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Xylen $\mu\text{g}/\text{m}^3$
79.04.18 Lågtrafikväg			
Bensinbil, kl. 10.00	8	26	37
Dieselbil, kl. 10.00	3	-	9
79.03.15 Trafikled utan stopp			
Dieselbil, kl. 16.30	40	113	98
79.03.08 Trafikled med stopp			
Dieselbil, kl. 11.20, 5% kötid	35	101	87
Dieselbil, kl. 16.10, 35% kötid	113	241	231

¹ Genom medverkan av Taxi Göteborg har enhetliga analyser kunnat utföras i representativa bilar körda av yrkeschaufförer.

En första viktig fråga är om avgaserna kommer från den egna bilen eller från andra bilar. Överst i Tabell 4 görs en direkt jämförelse mellan en bensinbil och en diesebil på samma nästan trafiktomma vägsträcka. Dieselavgaser innehåller jämfört med bensinavgaser mycket små mängder lätta aromatiska kolväten. Skillnaden i koncentration svarar därför mot det egna avgasbidraget för bensinbilen. Vid körning utan framför- liggande bilar på vägar med gles trafik överväger alltså inte oväntat bidraget från bilens egna avgaser.

Vid normal tätortstrafik dominerar däremot bidragen från andra bilar kraftigt. Detta illustreras av jämförelser med övriga analysresultat i Tabell 4 och med medelvärdena i Tabell 3. De flesta bilanalyserna har gjorts i dieserbilar, vilket möjliggjort renodlade studier av den omgivande trafikens inverkan. De genomsnittliga halterna inuti bilar i tätortstrafik är därför sannolikt ännu högre än de halter som redovisas i denna rapport. Egna avgaser kan förväntas bidra mer för de flesta privatbilar än för välskötta taxibilar.

De tre undre analyserna i Tabell 4 jämför två trafikleder, varav den ena har jämn och snabb trafik utan stopp och den andra ojämn trafik med täta stopp vid rött ljus. Vid rusningstid står bilarna på den senare stilla i kö en stor del av färdtiden. Resultaten visar att köbildning då bilarna står nära varandra medför kraftigt förhöjda koncentrationer. På gator med köbildning blir då också koncentrations- skillnaden mellan högtrafik och lågtrafik betydligt större än på färd- sträckor med jämn trafik utan stopp.

De viktigaste resultaten från bilanalyserna kan sammanfattas i slutsatsen att den bilåkandes avgasexposition från omgivande trafik främst beror på avståndet till framförvarande bil. Redan en lucka på något tiotal meter ger en minskning till ungefär hälften jämfört med ett läge nära avgasröret på bilen framför. Haltminskningen blir relativt sett större ju bättre luftväxlingen i gaturummet är. För den bilåkandes avgas- exposition har bilavståndet genomgående en betydelse som nära svarar mot det starka sambandet i den yttre gatumiljön mellan avgasexpositionen och avståndet till bilar.

På åtgärdssidan motiverar de mycket höga halterna i bilar kraftfulla insatser. En ökning av avståndet mellan bilarna i trafiken är då ett effektivt sätt att snabbt åstadkomma förbättringar för de bilåkande.

Stora expositionsminskningar skulle kunna uppnås genom införande av ett minsta avstånd mellan fordon vid trafikljus och andra trafikpunkter med köbildning. Hjälp- eller pliktlinjer med lämpligt mellanrum skulle kunna vägleda bilisterna. På de flesta gator och vägar och vid de flesta tidpunkter på dygnet skulle minimiavstånd kunna införas omedelbart.

I övriga fall skulle undantag kunna göras åtminstone under en övergångstid. Möjligheter till flexibilitet finns också genom att stopplinjer placeras på så stort avstånd från varandra som förhållandena i respektive trafikpunkt medger. Koncentrationsminskningen genom ett större avstånd till framförvarande bil blir ungefär lika stor vid lågtrafik som vid högtrafik och en avståndsökning är därför angelägen i alla trafikmiljöer.

De samlade mätresultaten pekar mot att införande av ett minimiavstånd på 20-30 meter skulle halvera avgasexpositionen för bilåkande i tätortstrafik. Effekten blir större ju större andel kötiden utgör av körtiden. Ur trafikpolitisk synpunkt är det mycket betydelsefullt att radikala expositionsminskningar via ökat bilavstånd kan uppnås utan nämnvärda kostnader.

Den enskilde bilisten kan också genom egna åtgärder minska avgasexpositionen i sin bil. Bidragen från omgivande trafik kan minskas betydligt genom att iaktta bl.a. följande:

- Håll stort avstånd till framförvarande bil
- Använd inte fläkt i onödan i köer och tät trafik
- Undvik trånga gator med dålig luftväxling i gaturummet
- Undvik körning vid väder som medför dålig luftväxling

Expositionen från den egna bilen som troligen kan bli mycket stor under olyckliga omständigheter kan i hög grad reduceras genom att iaktta följande:

- Undvik färdvägar som medför stopp och stillastående
- Stäng av motorn när bilen står stilla en längre stund
- Vistas inte inuti eller nära en nyss körd bil eftersom bensen kan avdunsta från den
- Sköt bilen så att avgasemissionerna blir små och så att avgaserna inte kan tränga in i kupén

Genom att de nämnda punkterna iakttas elimineras onödig exposition för bilavgaser. Systematisk tillämpning av vissa regler borde vara angelägen inte minst för svårt utsatta yrkesgrupper som taxichaufförer, bilburna poliser och körskollärare.

En allmän stor och snabb förbättring av de bilåkandes exponeringsituation kräver sannolikt systematiska åtgärder för ett ökat bilavstånd. Sådana måste utformas och genomföras under medverkan av myndigheter och kommunala organ. Radikala minskningar av bilavgasexpositionen är nödvändiga inte bara för yrkeschaufförer och andra vuxna bilåkande utan kanske framför allt för alla barn som utsätts för bilåkning i tätortstrafik.

3.4. Bussar

Som tidigare visats (Tabell 3) är halterna av bensinavgaser i bussar genomsnittligt inte ens hälften så höga som i bilar. Jämförelser mellan olika busslinjer visar att skillnaden blir störst på sträckor med bilköer, många stopp och låg hastighet, dvs i typisk tätortstrafik. Detta förklaras av att den mest koncentrerade avgasströmmen från nära framföriggande bilar hamnar under bussens högt belägna luftintag. På sträckor med högre hastighet och större bilavstånd blir luftblandningen bättre och avgashalterna nästan lika höga som i bilar. Resultaten av bussanalyserna (3) kan sammanfattas så att bilavståndet har en liknande men inte fullt så markerad betydelse som för personbilar.

På åtgärdssidan blir en ökning av bilavståndet en huvudpunkt även för bussar. Koncentrationsminskningen vid en viss avståndsökning blir visserligen mindre i en buss än i en bil men berör i gengäld många fler människor. De avståndsökande åtgärder som diskuterats för bilar är i stort tillämpbara även för bussar. Speciellt viktigt är avståndet till bilar vid hållplatserna. Bussar i stadstrafik står under en betydande del av färdtiden vid dessa och har då ofta också dörrarna öppna. Hållplatsplaceringar minst något tiotal meter från biltrafik och bilstoppfria sträckor på båda sidor om hållplatserna är effektiva åtgärder. Bensinavgasexpositionen i bussar på de flesta tätortslinjer skulle ungefär halveras enbart genom en övergång till sådana hållplatser. Dessutom skulle människor vid hållplatserna få en ännu större förbättring.

Orienterande studier av kolväten från dieselavgaser har gjorts samtidigt med analyserna av bensinavgaser. Högre halter har då erhållits i bussar än i personbilar både genomsnittligt och vid direkta jämförelser mellan

buss och dieselbil på samma sträckor. Detta är anmärkningsvärt eftersom halterna av bensenavgaser är mycket lägre i bussar än i dieselbilar. Resultaten måste innebära att dieselkolvätena i en buss till mycket stor del kommer från bussen själv. Analyser i ledbussar har i de flesta fall givit betydligt högre koncentrationer än analyser i vanliga bussar. Detta kan förklaras med att egna avgaser lättare läcker in i ledbussar.

I Tabell 5 ges analysmedelvärden för några av de för dieselavgaser mest typiska kolvätena, n-alkanerna med 9 - 12 kolatomer. Jämförelser med resultat från bilar och spårvagnar tyder på att minst halva mängden av dessa kommer från bussarna själva trots att många av analyserna gjorts på linjer med betydande dieseltrafik.

De höga halterna av dieselkomponenter gör att man inte kan utesluta att avgassituationen i bussar kan vara lika allvarlig som i bilar. Uppenbarligen krävs omedelbara åtgärder för att studera och reducera läckage av egna avgaser in i bussar.

Tabell 5. Expositionsnivåer för dieselavgaskomponenter ¹ i bussar

	<u>n</u> -C ₉ µg/m ³	<u>n</u> -C ₁₀ µg/m ³	<u>n</u> -C ₁₁ µg/m ³	<u>n</u> -C ₁₂ µg/m ³
Medelvärden våren 79 (3)	17	42	43	32
Sträckor utan tung trafik				
Ledbuss 79.08.23	11	41	35	17
Vanlig buss 79.08.07	3	9	14	9

¹ En direkt analys av avgaser från en buss (tomgång) gav förhållandet 4:10:8:5 för de tabellerade n-alkanerna.

3.5. Spårvagnar

I Tabell 6 ges resultat av fyra representativa analyser från mätningarna i spårvagnar (4). De två första illustrerar att halterna på en linje utefter biltrafik varierar starkt med biltrafikens intensitet. En direkt jämförelse med buss på denna sträcka visade på ungefär lika höga halter i spårvagnen trots egen banvall. Detta kan förklaras av att spårvagnshållplatserna ligger nära trafikljus och gatukorsningar med åtföljande bilköer. Det tredje exemplet är representativt för linjesträckningar på gatunät med ordinär biltrafik och något bättre hållplatsplaceringar. Den fjärde analysen slutligen illustrerar hur mycket lägre koncentrationerna är på en linjesträckning på egen banvall med endast ett par smågator och parkeringar på nära håll.

Omedelbara expositionsminskningar i spårvagnar kan liksom för bussar åstadkommas genom en ökning av bilavståndet vid hållplatser. Bilstoppfria sträckor på båda sidor om hållplatser utefter biltrafik skulle ge stora förbättringar i spårvagnen och ännu större för väntande vid hållplatserna. För närvarande finns vissa hållplatser t.o.m. på samma sida om trafikljus som bilkön bredvid. På en del av dessa finns sittbänkar placerade mindre än en meter från bilavgasströmmen i bilkön!

En radikalt sänkt exposition för bilavgaser i spårvagnar uppnås om linjerna och särskilt hållplatserna ligger på avstånd från biltrafik. I största möjliga utsträckning bör därför biltrafik dras bort från spårväggator. Nya linjer bör byggas på egen banvall med biltrafik effektivt undandragen särskilt från hållplatserna. Även bilparkeringar bör dras bort från spårvägslinjerna.

Tabell 6. Expositions nivåer inuti spårvagnar

	Bensen $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Toluen $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Xylen ¹ $\mu\text{g}/\text{m}^3$
79.04.23 Trafikled med stopp ²			
kl. 11	11	46	54
kl. 17	50	140	150
79.04.24 kl. 17			
Sträcka på gatunät	18	65	60
Sträcka skiljd från biltrafik	5	26	25

¹ Inklusiv etylbensen.

² Körbanor på båda sidor om banvallen.

Redan nu är som framgått av denna rapport expositionen för bensinavgaser i spårvagnar avsevärt mindre än i bilar. Genom att avlägsna bilar och biltrafik ett kvarter från spårvägslinjer och hållplatser kan dessutom expositionen minskas till nedåt en tiondel av den nuvarande. Gentemot bussar är dieselavgasexpositionen mycket lägre i spårvagnar (4). Trots detta skulle expositionen kunna sänkas avsevärt bara genom att gemensamma hållplatser med bussar undviks. Ur allmän miljösynpunkt är det mycket betydelsefullt att spårvagnarna i motsats till bilar och bussar inte själva ger avgaser. Av flera skäl är alltså spårvagnen helt överlägsen ur avgassynpunkt gentemot bilar och dieselbussar. För en minskning av avgasexpositionen i tätortsmiljön är därför en övergång till spårvagnar och annan eldriven trafik av mycket stor betydelse.

3.6. Trafikmiljön som helhet

Tänkbara åtgärder som minskar avgasexpositionen för en viss kategori av människor i en viss trafikmiljö måste också bedömas med hänsyn till effekten för andra människor och andra miljöer. De åtgärdsalternativ som diskuteras i denna rapport är därför främst sådana som kan leda till förbättringar för människorna i trafikmiljön i sin helhet.

Det är lättast att ge vissa riktlinjer för hur nya trafikmiljöer bör planeras med hänsyn till bilavgasproblemet. Körbanor och parkeringsplatser för fordon med förbränningsmotorer bör helst läggas på minst 50 - 100 meters avstånd från bebyggelse, eldriven kollektivtrafik och gång- och cykelbanor. Cyklister och även gångtrafikanter har på grund av sin fysiska aktivitet en förhöjd upptagning av luftföroreningar (11). Det är därför speciellt angeläget att nya cykelbanor och gångbanor byggs på ordentligt avstånd från motorfordon i alla tätortsområden.

I existerande tätortsmiljöer kan trafiksaneringar ge stora lokala förbättringar. Avstängning av en gata för bilar och biltrafik ger en mycket stor minskning av bilavgasexpositionen för besökande, boende och arbetande utefter just denna gata. En ökad medvetenhet om bilavståndets avgörande betydelse kan förväntas leda till starka krav på en bilfri närmiljö från berörda enskilda människor och intressegrupper.

I takt med trafiksaneringar och bortdragning av privatbilism från tätorternas centrala delar kan ökade arbetsuppgifter förväntas för kollektivtrafik och taxitrafik. Yrkeschaufförernas arbetsmiljöintressen blir därför allt viktigare att tillgodose vid trafiksaneringar. Exempel på

åtgärder med stor effekt är bilfria gator för kollektivtrafik och reservering av vissa körbanor och förbipassager för taxi. Taxitrafik på körbanor för kollektivtrafik är däremot knappast acceptabel eftersom avgasexpositionen ökas för en stor kategori människor.

De flesta allmänt diskuterade åtgärder både i trafikmiljön och på fordonssidan kan ge betydande förbättringar av avgassituationen först på flera års sikt (5). Det viktigaste resultatet av denna rapport är därför att stora och omedelbara minskningar av expositionen i trafikmiljön kan åstadkommas genom åtgärder för ett ökat bilavstånd. Sådana åtgärder bör då utformas så att de ger största möjliga totaleffekt för människor i trafikmiljön. Införande av ett minimiavstånd mellan bilar i kö för att skydda främst bilåkande måste t.ex. kombineras med ett minimiavstånd mellan övergångsställe och främsta bil för att skydda gångtrafikanter. Bilavstånden vid övergångsställen och hållplatser bör rimligtvis också vara större än mellan bilar, eftersom så många människor där utsätts för en passiv exposition för bilavgaser.

De flerårsplaner som för närvarande finns i en del kommuner kan möjligen minska bilavgasexpositionen i trafikmiljön med ett par tiotal procent. Mot bakgrund av det i denna rapport beskrivna expositions läget måste detta bedömas som helt otillräckligt. Omedelbara expositionsminskningar av en helt annan storleksordning erfordras och kan uppnås genom ökat bilavstånd. Atminstone en halvering av den nuvarande expositionen möjliggörs för de flesta trafikantkategorier redan med de minimiavstånd som diskuteras i denna rapport. Ytterligare mycket stora minskningar kan åstadkommas genom att trafikmiljön kontinuerligt ändras och utformas med hänsyn till bilavståndets betydelse. De mycket stora förbättringar som är möjliga att uppnå gör det angeläget att myndigheter, organisationer och enskilda på ett helt annat sätt än tidigare engagerar sig för utformning och genomförande av konkreta åtgärder.

4. REFERENSLITTERATUR

1. G. Petersson:
"Kolväten i Göteborgsområdets luftmiljö. Expositions läge och åtgärdsunderlag".
Rapport till Länsstyrelsen i Ö-län 1979.
2. S. Otterlin:
"Exposition för bensen och alkylbensener i bil".
Examensarbete i kemiteknik och miljö 1979.
3. E. Eriksson:
"Exposition för kolväten i bussar".
Examensarbete i kemiteknik och miljö 1979.
4. A-M. Andersson:
"Exposition för kolväten i spårvagnar".
Examensarbete i kemiteknik och miljö 1979.
5. "Bilarna och luftföroreningarna".
Lägesrapport från bilavgaskommittén. Statens offentliga utredningar 1979:34.
6. C-E. Boström:
"Bilavgasundersökningar i svenska kommuner 1969-1975".
Statens Naturvårdsverk, PM 729, 1977.
7. U. Stenberg:
"Luftföroreningar i tätortsmiljö".
Utredning för Statens Naturvårdsverk, 1978.
8. "Symposium om bilavgaser".
Centrum för miljöteknik i Göteborg, meddelande nr 4, 1978.
9. W. Dulson:
"Organisch-chemische Fremdstoffe in atmosphärischer Luft".
Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, 1978.
10. A. Jonsson och S. Berg:
"Analys av 1,2-dibrometan, 1,2-dikloretan och bensen i luft".
Statens Naturvårdsverk, PM 1122-1123, 1978.
11. I. Åstrand et al.:
"Exposition för xylen".
Arbete och hälsa, 1978:3.

12. P. Grandjean och T. Nielsen:
"Organiske blyforbindelser - forurening og toksikologi".
Statens Naturvårdsverk, PM 879, 1977.
13. "Bilavgaser i gatumiljö".
Statens Naturvårdsverk, PM 891, 1977.
14. G. Löfroth:
"Luftföroreningar i tätortsmiljöer".
Statens Naturvårdsverk, PM 1176, 1979.
15. O. Aslander:
"Bly i bensin".
Statens Naturvårdsverk, PM 920, 1977.
16. "Air Pollution and Cancer: Risk Assessment Methodology and Epidemiological Evidence".
Environmental Health Perspectives 22 (1978) 1.
17. D. Bryce-Smith, J. Mathews och R. Stephens:
"Mental Health Effects of Lead on Children".
Ambio 7 (1978) 192.