

MÅNGDUBBEL AVGASDOS I BIL JÄMFÖRT MED PENDELTÅG

Karin Söderlund, Ann-Margret Strömvall
Lars Löfgren och Göran Petersson

Ett projekt för Transportforskningsberedningen
Augusti 1989

Sammanfattning

Bilavgashalter inuti bilar är 5-10 gånger högre än i pendeltåg. För pendlingssträckan Göteborg- Lerum- Alingsås utsattes bilpendlare i genomsnitt för sju gånger högre halter än tågpendlare under en mätperiod våren 1989. Resultaten innebär att pendeltåg är det särklassigt bästa transportmedlet i tätortsområden med hänsyn till resenärens bilavgasexposition. Spårvagn är det näst bästa och bil och buss de sämsta.

Resultaten baseras på bestämmningar vid åtta mättillfällen av ett tiotal kolväten som är typiska för bensinavgaser. Prover har tagits samtidigt i pendeltåg och bil under resa på samma sträcka. En bestämning av mängdsammansättning har utförts för mer än 50 av de enskilda avgaskolväten som bilisten inandas i högst halter.

Innehållsförteckning

1. Introduktion	sid 1
2. Mätningarnas uppläggning	2
2.1 Väg- och järnvägssträckor	2
2.2 Provtagning och analys	3
3. Mätresultat i bil och pendeltåg	4
4. Diskussion av haltrelationer	7
4.1 Haltförhållandet bil/tåg	7
4.2 Absoluthalter	8
4.3 Den egna bilen	8
4.4 Trafiktäthetens betydelse	9
4.5 Vindens betydelse	9
4.6 Luftskiktningens betydelse	9
4.7 Olika pendeltågssträckor	10
4.8 Andra transportmedel	10
5. Bilistens inandade kolvätemix	11
5.1 Aromatiska kolväten	11
5.2 Alkaner	13
5.3 Alkener	13
6. Kolväten som indikator för bilavgaser	16
6.1 Avgaser i tätort och från väg	16
6.2 Kolväten från andra källor	16
7. Referenser	18
 Bilaga: Tekniska analysdata	 20

1. Introduktion

Kolväten som ett mått på avgasexposition användes tidigt för att visa hur mycket avgaser människor utsätts för i bilar, bussar och spårvagnar i tätortstrafik (ref 1). Genom att man i trafikmiljöerna vistas så nära avgasrören blir avgasdoserna stora trots jämförelsevis korta tider. Detta gäller i hög grad för bilresor som i Göteborgsområdet visats svara för ungefär en tredjedel av en bilists dygnsdos av avgaser (ref 2).

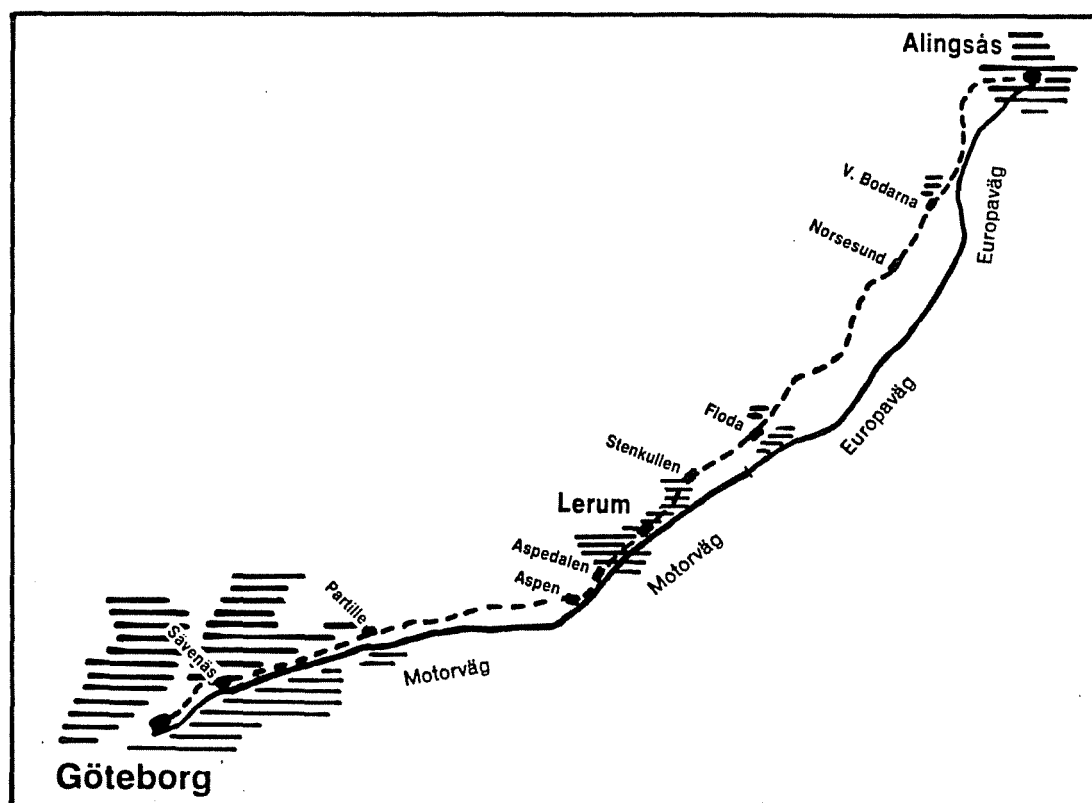
För att förbättra de större städernas luftförureningssituation diskuteras nu bla satsningar på pendeltågstrafik för att minska bilpendlingen (ref 3). Avsikten med detta arbete har varit att med hjälp av modern analysteknik för kolväten i bensinavgaser klarlägga skillnaden i avgasexponering mellan bilresa och pendeltågsresa.

Karin Söderlund har i samarbete med Ann-Margret Strömwall genomfört huvuddelen av mätningarna. Lars Löfgren har svarat för den analys av flyktiga kolväten som möjliggjort en bestämning av bilistens totala exposition för kolväten.

2. Mätningarnas uppläggnig

2.1 Väg- och järnvägssträckor

Pendeltågsmätningarna utfördes på sträckan Göteborg C- Lerum- Alingsås som fortfarande är den enda pendeltågslinjen i Göteborgsregionen. Parallella mätningar i bil gjordes på E3 över samma sträcka. Av Figur 1 framgår sträckningen för järnvägen i förhållande till E3. Mellan Göteborg C och Partille samt på en kortare sträcka genom Lerum går E3 inom något hundratal meters avstånd från järnvägen. På dessa sträckor omges järnvägen också av tätortsbebyggelse och annan tätortstrafik. Bortsett från sträckan närmast Göteborg C är E3 motorväg mellan Göteborg och Lerum och maxhastigheten var 110 km/tim under mätperioden våren 1989. Huvuddelen av mätningarna utfördes på sträckan Lerum- Göteborg som har hög resandefrekvens med pendeltåg.



Figur 1. Pendeltågsträckningen och E3-vägsträckningen Göteborg C- Lerum - Alingsås med pendeltågstationer och angränsande tätortsområden markerade.

2.2 Provtagning och analys

Provtagningen på pendeltåg startades vid avgång från avresestationen och avslutades vid ankomst till slutstationen. Provtagningsutrustningen placerades under resan på en bagagehylla. Bilresan och provtagningen i bil påbörjades vid pendeltågets avgång och avslutades vid framkomsten till slutstationen. Provtagningsutrustningen placerades på instrumentbrädan. Bilens fläkt ställdes på halvfart. Restiden med såväl bil som pendeltåg var ungefär 20 min mellan Lerum och Göteborg C. Vid bilköbildning vid infarten till Göteborg under morgonens trafiktopp tog dock bilresan oftast ett par minuter längre tid.

Analyserna utfördes på laboratorium vid Kemisk Miljövetenskap på Chalmers tekniska högskola med användning av en gaskromatografisk teknik vars principer beskrivits tidigare (ref 4). För en enstaka separat bestämning av särskilt flyktiga kolväten i bil användes en alternativ analysteknik (ref 5). Tekniska data för de båda analysmetoderna ges i bilaga.

3. Mätresultat i bil och pendeltåg

I följande resultattabeller redovisas uppmätta halter för åtta olika mättillfällen. För samtliga bilresor och för fem av tågresorna ges resultat av dubbelprover. De elva kolvätena har valts som representativa för bensinavgaser. De har också valts så att den använda analysmetodiken skall ge så tillförlitliga resultat som möjligt.

Tabell I. Uppmätta kolvätehalter i luft ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) för parallellprover i bil och pendeltåg.

Resa 1:

Lerum-Göteborg
890427, 8⁰⁵-8²⁵ (bil), 8⁰⁵-8²⁴ (tåg)
nord-nordväst svag vind, lätt regn 5°C
Bil: Nissan Micra -88

	Bil I	Bil II	Tåg
2-metylpentan	8.5	11.8	1.4
3-metylpentan	5.9	7.4	1.2
n-hexan	5.9	6.1	1.1
metylcyklopentan	2.4	2.3	---
bensen	29.4	31.0	3.3
toluen	54.0	56.6	7.2
etylbenzen	9.5	9.4	1
m-, p-xylen	33.2	34.0	4.5
o-xylen	12.6	15.2	1.7
1,2,4-trimetylbenzen	13.7	17.0	2.7

Resa 2:

Lerum-Göteborg
890509, 7⁴³-8⁰⁴ (bil), 7⁴¹-8⁰⁰ (tåg)
måttlig sydvästlig vind, mulet 10°C
Bil: Saab 99 -76

	Bil I	Bil II	Tåg I	Tåg II
2-metylpentan	25.6	23.7	3.1	4.7
3-metylpentan	15.4	13.6	2.5	3.7
n-hexan	15.1	13.5	2.2	3.0
metylcyklopentan	7.4	6.5	1.3	1.0
bensen	99.0	84.0	9.6	11.7
toluen	206.1	178.8	20.6	20.6
etylbenzen	37.7	32.7	2.7	2.7
m-, p-xylen	123.0	111.7	11.1	12.7
o-xylen	46.5	41.3	4.2	4.3
1,2,4-trimetylbenzen	51.5	46.2	4.6	5.1

Resa 3:

Lerum-Göteborg
890511, 7¹²-7³² (bil), 7¹¹-7³⁰ (tåg)
svag västlig vind, sol 10°C
Bil: Nissan Micra -88

	Bil I	Bil II	Tåg
2-metylpentan	13.6	12.2	2.5
3-metylpentan	8.6	7.2	2.2
<i>n</i> -hexan	10.0	8.7	2.1
metylcyklopentan	4.5	3.6	0.6
bensen	46.3	42.9	6.4
toluen	85.2	69.7	11.7
etylbenzen	14.6	12.6	2.4
<i>m</i> -, <i>p</i> -xylen	48.6	41.8	8.1
<i>o</i> -xylen	17.7	16.8	3.3
1,2,4-trimetylbenzen	18.4	18.2	2.2

Resa 4:

Alingsås-Göteborg
890512, 7²¹-8⁰⁴ (bil), 7²⁰-8⁰⁰ (tåg)
ost-sydost svag vind, lätt regn 10°C
Bil: Nissan Micra -88

	Bil I	Bil II	Tåg I	Tåg II
2-metylpentan	8.4	11.8	1.1	1.2
3-metylpentan	4.6	6.6	1.1	1.0
<i>n</i> -hexan	7.0	7.9	1.2	1.0
metylcyklopentan	2.7	3.4	0.5	0.3
bensen	34.1	35.3	4.2	3.3
toluen	64.9	63.0	8.1	7.8
etylbenzen	11.3	10.7	1.6	2.2
<i>m</i> -, <i>p</i> -xylen	37.1	35.7	4.9	4.4
<i>o</i> -xylen	14.4	14.3	2.3	2.5
1,2,4-trimetylbenzen	14.5	15.2	4.2	2.6

Resa 5:

Lerum-Göteborg
890516, 7³⁵-8⁰² (bil), 7³⁵-7⁵⁴ (tåg)
måttlig sydlig vind, mulet 13°C
Bil: Volvo Amazon -69

	Bil I	Bil II	Tåg I	Tåg II
2-metylpentan	24.0	31.2	5.1	4.1
3-metylpentan	13.3	16.4	3.1	2.7
<i>n</i> -hexan	18.2	18.9	3.6	2.5
metylcyklopentan	6.7	7.6	1.5	1.1
bensen	74	83	11.9	8.4
toluen	109.1	120.9	21.0	15.5
etylbenzen	20.0	22.8	3.2	2.6
<i>m</i> -, <i>p</i> -xylen	64.6	72.3	11.7	9.3
<i>o</i> -xylen	24.8	28.2	3.9	3.4
1,2,4-trimetylbenzen	24.6	28.9	4.6	3.8

Resa 6:**Lerum-Göteborg**

890519, 7³⁵-7⁵⁷ (bil), 7³⁵-7⁵⁴ (tåg)
 mycket svag sydlig vind, mulet 13°C
 Bil: Nissan Micra -88

	Bil I	Bil II	Tåg
2-metylpentan	25.7	33.0	4.1
3-metylpentan	14.6	18.6	4.2
<i>n</i> -hexan	14.2	17.5	2.4
metylcyklopentan	6.7	7.8	1.4
bensen	65.2	80.6	8.8
toluen	103.3	135.7	15.9
etylbenzen	17.9	25.1	2.7
<i>m</i> -, <i>p</i> -xylen	58.3	76.2	10.1
<i>o</i> -xylen	23.8	30.5	3.7
1,2,4-trimetylbenzen	27.2	33.7	4.7

Resa 7:**Göteborg-Lerum**

890519, 16²⁶-16⁴⁷ (bil), 16²⁸-16⁴³ (tåg)
 svag sydlig vind, sol ca 20°C
 Bil: Nissan Micra -88

	Bil I	Bil II	Tåg I	Tåg II
2-metylpentan	19.3	24.6	2.8	2.8
3-metylpentan	11.8	16.0	2.0	1.7
<i>n</i> -hexan	20.0	17.6	2.1	2.7
metylcyklopentan	6.8	7.3	0.9	0.4
bensen	79.1	72.8	6.7	5.8
toluen	131.7	131.7	10.7	13.3
etylbenzen	22.7	24.0	1.5	2.2
<i>m</i> -, <i>p</i> -xylen	76.6	78.0	5.3	7.2
<i>o</i> -xylen	30.4	30.8	2.2	2.8
1,2,4-trimetylbenzen	33.4	33.0	---	2.9

Resa 8:**Göteborg-Alingsås**

890522, 16²⁰-16⁵² (bil), 16²⁰-16⁵⁶ (tåg)
 svag västlig vind, sol ca 25°C
 Bil: Nissan Micra -88

	Bil I	Bil II	Tåg I	Tåg II
2-metylpentan	6.2	6.9	1.5	1.4
3-metylpentan	3.6	4.2	1.0	1.1
<i>n</i> -hexan	7.0	5.9	1.3	1.2
metylcyklopentan	2.2	2.1	0.4	0.5
bensen	30.7	25.5	3.0	3.2
toluen	48.3	39.1	4.6	4.6
etylbenzen	8.7	7.1	1.2	1.2
<i>m</i> -, <i>p</i> -xylen	27.9	22.8	3.8	3.8
<i>o</i> -xylen	11.5	9.5	1.7	1.6
1,2,4-trimetylbenzen	14.1	12.0	1.4	1.4

4. Diskussion av haltrelationer

I Tabell II ges en översikt av uppmätta halter samt av haltförhållanden mellan bil och pendeltåg. I det följande diskuteras absoluthalter och haltförhållanden och hur de påverkas av olika faktorer.

4.1 Haltförhållandet bil/tåg

Som framgår av Tabell II ligger haltförhållandet bil/tåg i de flesta fall omkring sju med en variation mellan sex och nio. Trots att mätningarna medvetet gjorts under varierande väder- och trafikförhållanden är alltså variationen i haltkvoter liten. Haltförhållandet måste bedömas som anmärkningsvärt högt. Resultaten innebär att såväl inandade avgasdoser som åtföljande hälsorisker är markant mycket större vid bilresa än vid pendeltågsresa.

Tabell II. Summahalter^m i bil och pendeltåg samt haltförhållanden bil/pendeltåg.

		bil µg/m ³	tåg µg/m ³	bil/tåg kvot
1	Lerum- Gbg C, 89.04.27	183	24	7,5
2	Lerum- Gbg C, 89.05.09	590	66	9,0
3	Lerum- Gbg C, 89.05.11	251	42	6,0
4	Alingsås- Gbg C, 89.05.12	202	28	7,3
5	Lerum- Gbg C, 89.05.16	405	62	6,6
6	Lerum- Gbg C, 89.05.19	408	58	7,0
7	Gbg C- Lerum, 89.05.19	434	39	11,1
8	Gbg C- Alingsås, 89.05.22	148	20	7,4

^mför de elva kolväten som redovisas under mätresultat; haltmedelvärden har använts för dubbelproverna.

4.2 Absoluthalter

Totalhalten i bil för de elva kolvätena ligger typiskt på 200-400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Detta motsvarar 35-70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ bensen, 60-120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ toluen och 60-120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ xylen (inklusive etylbensen). Vid bilkörning i Göteborgs tätortsområde är haltnivåerna genomsnittligt ungefär desamma (ref 1), men sträckor och tider oftast avsevärt kortare. Hållplatser och trottoarer omedelbart intill bilköer uppvisar också liknande halter (ref 6). I praktiskt taget alla andra luftmiljöer i tätorter är halterna flera gånger lägre. Typiska inomhushalter i tätorter ligger på ungefär samma nivå som de uppmätta halterna i pendeltåg (ref 4). Dessa är i sin tur, för de flesta avgaskomponenter, mer än tio gånger högre än de generella föroreningsnivåerna över Sydsverige (ref 7).

4.3 Den egna bilen

Vid bilkörning kommer normalt huvuddelen av luftföroreningarna i bilkopen från andra bilar än den egna (ref 1). Vid stillastående och vid körning i gles trafik ökar andelen från den egna bilen. Med läckande avgassystem kan halttillskottet från den egna bilen bli mycket stort och helt dominerande även vid normal körning (ref 2).

Vid de flesta mättillfällena i denna studie användes en Nissan Micra -88 med katalytisk avgasrening. Eftersom den vid samtliga mättillfällen var varmkörd från början torde dess bidrag till de uppmätta halterna vara närmast försumbart. För resa 2 och 5 användes äldre varmkörda bilar utan katalytisk avgasrening. De mycket höga halterna vid mättillfälle 2 kan möjligen till viss del bero på den använda bilen som bla hade ett relativt gammalt avgassystem. Det bör dock observeras att även de högsta tåghalterna uppmättes vid denna resa.

Mer eller mindre läckande avgassystem och dåligt injusterade bränslesystem och motorer är vanliga. Fortfarande dominerar också bilar utan katalytisk avgasrening och utan motsvarande teknik för att minska bensinavdunstningen. Det är därför möjligt att verklighetens genomsnittliga bilhalter och haltförhållanden bil/tåg ligger högre än vad som redovisas i denna studie.

4.4 Trafiktäthetens betydelse

De flesta måttillfällen valdes så att resorna sammanföll med morgonens trafiktopp 07⁰⁰-08⁰⁰. Vid infarten till Göteborg bildades då långsamma bilköer på en sträcka av några kilometer. Eftersom bilarna då ligger nära varandra bidrar detta till förhöjda kupéhalter (ref 1). Köbildningen var särskilt omfattande vid resa 2 som uppvisar de högsta halterna. Före (resa 3) och efter (resa 1) trafiktoppen är bilhalterna lägre. Vid måttillfälle 7 medförde trafikljus ett par relativt långa stopp i bilköer vid utfarten från Göteborgs centralstation. Detta torde vara huvudförklaringen till de höga bilhalterna och det avvikande höga haltförhållandet bil/tåg vid detta tillfälle. De lägre uppmätta halterna i bil på sträckan Alingsås- Göteborg jämfört med sträckan Lerum- Göteborg förklaras främst av den lägre trafiktätheten mellan Alingsås och Lerum.

4.5 Vindens betydelse

Vindrörelser nära parallellt med vägen kan förväntas bidra till förhöjda halter i bil. Sydvästlig sådan vind snett från E3 mot järnvägen kan vara en bidragande förklaring till de höga halterna vid resa 2 i såväl bil som pendeltåg. Vid vindrörelser från järnvägen mot E3 tenderar pendeltågshalterna att vara endast något lägre och haltförhållandet bil/tåg knappast alls högre än vid motsatta vindar. Detta tyder på att annan trafik bidrar mer än E3 till luftföroreningarna i pendeltågen. Det bör dock framhållas att samtliga mätningar utfördes vid svaga till måttliga vindar då vindriktningen utefter mätsträckan mycket väl kan avvika något från den för Göteborg angivna. Friska vindar kan förväntas medföra sänkta halter i såväl bil som pendeltåg.

4.6 Luftskiktningens betydelse

Stabil luftskiktning och speciellt inversioner medför vanligen genomgående högre avgashalter i utomhusluft. Haltskillnaden mellan luft nära intill och på avstånd från avgasfordon ökar oftast medan däremot haltförhållandet minskar.

I denna studie svarar måttillfälle 3 mot en morgon med stabil luftskiktning även om solen delvis brutit upp skiktningen redan kl 07 då resan gjordes. Denna morgon gav också det lägsta haltförhållandet mellan bil och tåg. Projektets tidsram har omöjliggjort mätning under inversionsförhållanden av vintertyp, men det är inte osannolikt att haltförhållandet bil/pendeltåg då kan gå ned till ungefär fem, samtidigt som halterna kan bli högre i såväl bil som pendeltåg.

Eftermiddagsmätningarna 7 och 8 i solsken och vid hög temperatur svarar mot extremt instabil luftskiktning. Detta förklarar sannolikt till en del de lägre halterna särskilt för resa 8 och det höga haltförhållandet bil/tåg särskilt för resa 7.

4.7 Olika pendeltågsträckor

De lägre pendeltågshalterna på sträckan Göteborg- Alingsås kan kopplas till mindre angränsande tätortstrafik och vägtrafik på sträckan Alingsås- Lerum. Sträckan Lerum- Göteborg måste betraktas som en i detta avseende ogynnsam pendeltågsträcka. Avgashalterna blir därför sannolikt lägre på de flesta andra pendeltågsträckningar som är aktuella för utbyggnad i Göteborgsområdet. För bilpendlare på sträckor med en biltäthet motsvarande den för Lerum-Göteborg blir då också haltförhållandet bil/tåg ännu högre.

4.8 Andra transportmedel

Tidigare studier (ref 1) har visat att halterna av bensinavgaser i bussar och spårvagnar i Göteborgsområdet är ungefär tre gånger lägre än i personbilar. I bussar utsätts dock passagerarna även för dieselavgaser som läcker in från den egna bussen vid bla hållplatsstopp. Resultaten från denna studie innebär alltså att pendeltåg med avseende på passagerarnas exposition för avgaser är det särklassigt bästa transportmedlet. Samtidigt är utsläppen av avgaser från bilar och bussar ett av våra allvarligaste miljöproblem, medan pendeltåg även med hänsyn till utsläpp utgör ett överlägset alternativ (ref 8).

På fjärrtåg tillåts i Sverige fortfarande tobaksrökning försämra samtliga passagerares luftmiljö. De rökfria pendeltågen är därför sannolikt avsevärt bättre ur luftmiljösynpunkt även jämfört med fjärrtåg.

5. Bilistens inandade kolvätemix

Den analysmetod som använts för proverna i bil och pendeltåg medger bestämning av ett stort antal kolväten utöver dem som redovisats för varje prov. En kompletterande analysmetod har dessutom använts för bestämning av alkenar och andra speciellt lättflyktiga kolväten i ett bilprov. Därmed har en relativt komplett bild av kolvätesammansättningen i bilens kupéluft kunnat uppnås. Detta är av speciellt intresse med hänsyn till de höga halter som påvisats inuti bilar.

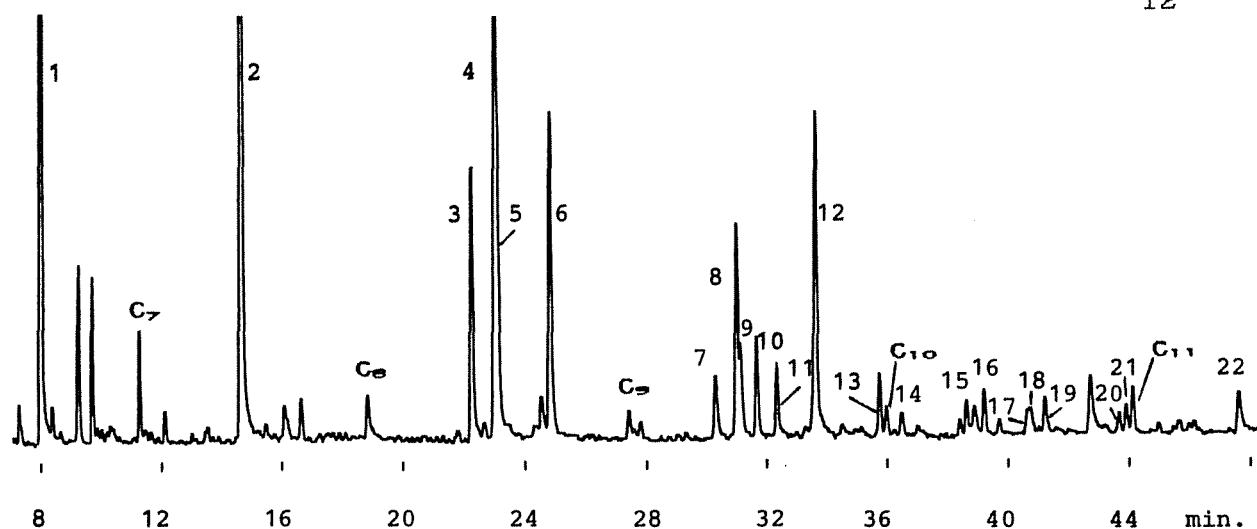
Resultaten visar att de elva kolväten som redovisats för varje prov i Tabell I tillsammans utgör ungefär 40 % av den totala kolvätemängden exklusive metan. Av denna utgör nedan tabellerade aromatiska kolväten ca 40 %, alkaner (paraffinkolväten) ca 32 %, alkenar (olefiner) ca 15 % och acetylen ca 8% under antagande av 5% otabellerade komponenter.

Alkenerna (ref 9) och de aromatiska kolvätena är med hänsyn till såväl hälsorisker som miljöpåverkan särskilt betydelsefulla kolvätegrupper som därför redovisas mer fullständigt än alkanerna. Sammanlagt ges data för 55 enskilda kolväten. Motsvarande fullständiga internationella data saknas men jämförelser görs här i flera fall med en ingående australiensisk studie av kolvätesammansättningen i avgaser för en representativ bilpark (ref 10).

5.1 Aromatiska kolväten

För bestämningen av aromatiska kolväten har använts provet Bil II från resa 6 mellan Lerum och Göteborg på morgonen den 19 maj. Den analytiska separationen (tekniska data i bilaga) av kolvätena illustreras i Figur 2, och Tabell III anger identitet och viktprocent. Tabellens jämförelse med den australiensiska studien av kolväteinnehållet i bensinavgaser visar på god överensstämmelse. Detsamma gäller jämförelsen med en utsatt stadstrafikmiljö i Stockholm. Den mest markanta skillnaden är en högre andel av bensen och i viss mån toluen för vägkörningen jämfört med de andra studierna som representerar tätortstrafik. Detta förklaras sannolikt av att särskilt bensen bildas vid förbränning (ref 10) i högre grad vid landsvägskörning än vid tätortskörning. Eftersom bensen på grund av sin cancerogenicitet bedöms som det mest hälsofarliga av de aromatiska kolvätena är dess förhöjda andel vid vägkörning viktig att beakta.

I USA är andelen bensen och andra aromatiska kolväten avsevärt lägre i såväl avgaser som vägmiljöernas luft (ref 11) beroende på ett lägre innehåll av dessa kolväten i bensinen. Dessutom är absoluthalterna lägre genom att bilparken är utrustad med katalytisk avgasrening.



Figur 2. Gaskromatografisk analys av aromatiska kolväten i luft inuti bil (Lerum- Göteborg 89.05.19., 7³⁵-7⁵⁷; nummerkod enligt Tabell III; *n*-alkanerna C₇-C₁₁ markerade).

Tabell III. Aromatiska kolväten i luft inuti bil angivet i viktprocent^a och jämfört med data för bilavgaser och stadstrafikmiljö.

	Bil- körning ^b	Bil- avgaser ^c	Trafik- miljö ^d	
1	bensen	7,0	4,9	3,9
2	metylbensen (toluen)	11,8	10,2	9,6
3	etylbenzen	2,2	1,9	2,1
4	1,3-dimetylbensen (<i>m</i> -xylen)	4,2	6,7	5,0
5	1,4-dimetylbensen (<i>p</i> -xylen)	2,4		2,7
6	1,2-dimetylbensen (<i>o</i> -xylen)	2,7	2,5	3,3
7	propylbenzen	0,5	0,5	0,7
8	1,3-etylmetylbensen	1,2	2,1	2,0
9	1,4-etylmetylbensen	0,5		1,2
10	1,3,5-trimetylbensen	0,8	0,8	1,1
11	1,2-etylmetylbensen	0,6	0,6	0,8
12	1,2,4-trimetylbensen	2,9	2,1	3,5
13	1,2,3-trimetylbensen	0,5	-	0,7
14	indan	0,2	-	0,1
15	1,3-metylpropylbenzen	0,3	-	0,4
16	1-etyl-3,5-dimetylbensen	0,4	-	0,5
17	1-etyl-2,5-dimetylbensen	0,2	-	0,3
18	1-etyl-2,4-dimetylbensen	0,2	-	0,3
19	1-etyl-3,4-dimetylbensen	0,3	-	0,5
20	1,2,4,5-tetrametylbensen	0,2	-	0,3
21	1,2,3,5-tetrametylbensen	0,2	-	0,4
22	naftalen	0,4	-	0,5

^aviktprocent av summa kolväten exkl. metan.

^bLerum- Göteborg 89.05.19., 7³⁵-7⁵⁷; jämför Figur 2.

^cref 10, Nelson och Quigley, Australien, 1984.

^dref 12, Petersson, Sverige, 1980; Birkagården, Stockholm; totalandel aromatiska kolväten satt lika med den för bilkörning (39,7%).

5.2 Alkaner

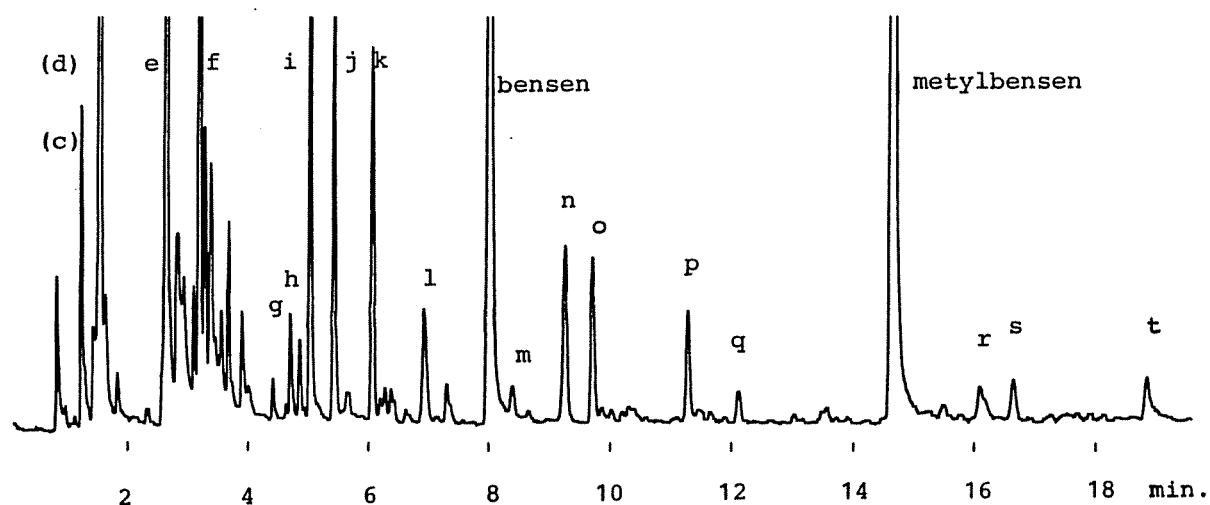
För bestämningen av alkaner och cykloalkaner (naftener) har använts samma bilprov från den 19 maj som för aromatiska kolväten. En expanderad tidig del av den analytiska separationen återges i Figur 3 och i Tabell IV anges alkanernas identitet och viktprocent. Många av de tidiga topparna i Figur 3 svarar mot alkener och lättflyktiga alkaner som bestämts mer tillförlitligt med den analysmetod som använts för nedan redovisade alkenbestämningar.

I Tabell IV jämförs resultaten med motsvarande innehåll av alkaner i bilavgaser och med innehållet av valda alkaner i bensinångor, där bensinens lättflyktiga metylpropan och butan utgör höga andelar. Den mest framträdande skillnaden gentemot avgaser är just en högre andel i bilkupén av dessa två kolväten som alltså sannolikt till stor del härrör från bensinångor från främst bilarnas bensintankar. En bidragande orsak till skillnaden kan också vara en jämförelsevis hög andel av dessa kolväten i svensk bensin.

5.3 Alkener

För en bestämning av alkener och särskilt lättflyktiga kolväten användes en alternativ analysmetodik (tekniska data i bilaga). Det prov som analyserades togs under en resa Lerum- Göteborg 30 maj i samma bil och under förhållanden som, bortsett från V- SV vind, var likartade dem för resa 6.

Separationen av alkener och lättflyktiga alkaner illustreras av Figur 4 och i Tabell V anges identitet och viktprocent för alkenerna och för acetylen. Tabellens jämförelse med bilavgaser visar på en hög grad av överensstämmelse. Eten, propen och acetylen är förbränningsprodukter som utgör en stor del av avgasernas kolväteinnehåll. Tabellens jämförelse med bensinångor tyder på att även metylpropen och i viss mån 1-buten bildas vid förbränningen i motorn. Håltrelationerna för de sex pentenerna är däremot likartade för avgaser och bensinångor.



Figur 3. Gaskromatografisk analys av alkaner och cykloalkaner i luft inuti bil (Lerum-Göteborg 89.05.19., 7³⁵-7⁵⁷; bokstavskod enligt Tabell IV).

Tabell IV. Alkaner och cykloalkaner i luft inuti bil angivet i viktprocent^a och jämfört med data för bilavgaser och bensinångor.

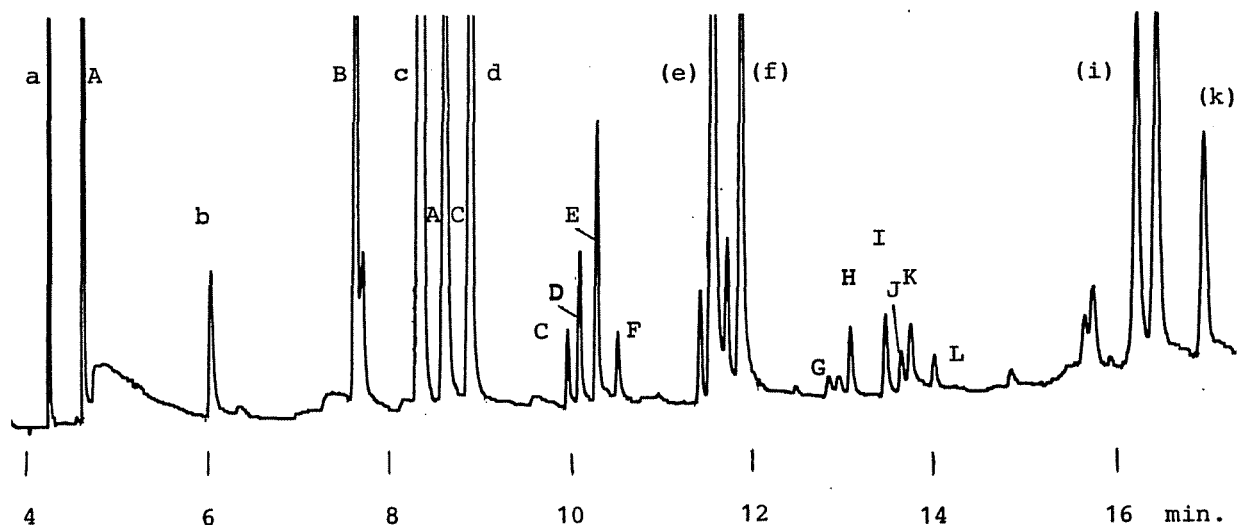
	Bil- körning ^b	Bil- avgaser ^c	Bensin- ångor ^d
alkaner			
a etan	0,9	1,2	0,0
b propan	0,8	0,1	-
c metylpropan	4,0	1,1	21
d butan	6,2	2,2	29
e metylbutan	5,7	5,3	16
f pentan	3,2	3,3	5,3
h 2,3-dimetylbutan	0,3	0,6	-
i 2-metylpentan	2,9	2,4	-
j 3-metylpentan	1,6	1,7	-
k hexan	1,5	2,0	1,4
n 2-metylhexan	1,0	1,6	-
o 3-metylhexan	0,9	1,3	-
p heptan	0,6	0,9	0,2
r 2-metylheptan	0,2	-	-
s 3-metylheptan	0,3	-	-
t oktan	0,3	0,4	-
cykloalkaner			
g cyklopentan	0,4	0,4	-
l metylcyklopentan	0,7	1,0	-
m cyklohexan	0,1	0,6	-
q metylcyklohexan	0,2	0,6	-

^aviktprocent av summa kolväten exkl. metan.

^bLerum-Göteborg 89.05.19, 7³⁵-7⁵⁷; jämför Figur 3.

^cref 10, Nelson och Quigley, Australien, 1984.

^dref 9, Berglund och Petersson, Sverige, 1988.



Figur 4. Gaskromatografisk analys av alkener i luft inuti bil (Lerum-Göteborg 89.05.30., 7⁴²-8⁰¹; bokstavskod enligt Tabell V; ger även bestämning av acetylen och alkanerna a-d).

Tabell V. Alkener och acetylen i luft inuti bil angivet i viktprocent^a och jämfört med data för bilavgaser och bensinångor.

	Bil- körning ^b	Bil- avgaser ^c	Bensin- ångor ^d
alkener C₂-C₃			
A eten	8,0	10,1	0,0
B propen	3,0	4,4	0,0
butener			
C <u>trans</u> -2-buten	0,4	0,6	1,3
D 1-buten	0,7	0,8	0,5
E metylpropen	1,3	1,2	0,6
F <u>cis</u> -2-buten	0,3	0,4	1,3
pentener			
G 3-metyl-1-buten	0,1	-	0,4
H <u>trans</u> -2-penten	0,4	0,3	1,4
I 2-metyl-2-buten	0,5	0,5	1,6
J 1-penten	0,3	0,2	1,0
K 2-metyl-1-buten	0,4	0,3	1,3
L <u>cis</u> -2-penten	0,2	0,3	0,8
alkyner			
AC etyn (acetylen)	7,9	8,9	0,0

^aviktprocent av summa kolväten exkl. metan.

^bLerum-Göteborg 89.05.30., 7⁴²-8⁰¹; jämför Figur 4.

^cref 10, Nelson och Quigley, Australien, 1984.

^dref 9, Berglund och Petersson, Sverige, 1988.

6. Kolväten som indikator för bilavgaser

Den stora dominansen av trafikemissioner som källa till kolväten i trafikmiljöernas luft är välkänd sedan länge (ref 6) och har varit utgångspunkten för denna studie. Samtidiga mätningar av flera kolväten ger ofta möjligheter till säkrare och mer detaljerade slutsatser om luftföroreningarnas ursprung än traditionella mätningar på enstaka avgaskomponenter som kolmonoxid och kväveoxider. Med utgångspunkt från Tabell VI diskuteras några kopplingar mellan olika luftföroreningar och mätresultaten i bil och tåg. Hållrelationerna mellan kolvätena har beräknats så att värdena anger ungefärlig andel av den totala kolvätehalten.

6.1 Avgaser i tätort och från väg

Den mest framträdande skillnaden i medelvärdena för bil och tåg är högre andelar bensen och toluen i bil vilket motsvaras av lägre andelar av alkanerna. Detta förklaras sannolikt av det faktum att alkaner förbränns betydligt mer fullständigt än aromatiska kolväten (ref 10) och av att nybildning sker av bensen (ref 10) och troligen även toluen (ref 13) vid förbränning i motorn. Vid relativt hög och jämn fart är avgasernas andel av förbränningsprodukter jämfört med oförbränd bensin högre än vid tätortskörning. Skillnaden mellan bil och tåg kan alltså förklaras av att avgaser från tätortstrafik utgör en hög andel av luftföroreningarna på pendeltågen.

6.2 Kolväten från andra källor

På grund av de mycket lägre halterna i tåg jämfört med bil bör inslaget från andra källor än trafiken märkas främst i tåganalyserna. Standardavvikelserna för tåg är också något större än för bil, men detta kan delvis hänföras till att de analytiska felkällorna betyder mer vid låga halter. Inslag av industriella lösningsmedelsutsläpp av tex xylen från Volvo Torslanda skulle kunna märkas vid "rätt" vindriktning, men inga tydligt urskiljbara sådana tillskott kunde påvisas vid något av måttillfällena. Trafiken dominerar alltså mycket starkt som källa till de uppmätta kolvätena i såväl bil som tåg.

Bidraget från dieslavgaser till förekomsten av de uppmätta kolvätena är försumbart eftersom dieslavgasernas kolväteinnehåll är litet och domineras av andra kolväten (ref 13). Det bör alltså betonas att denna studie avser kolväten och avgaser från bensindrivna fordon.

Tabell VI. Medelvärde av haltförhållandet mellan enskilda kolväten i bil och i pendeltåg för samtliga åtta mättillfällen.^a

	bil vikt% ^b		tåg vikt% ^b	
2-metylpentan	2,2	(0,4)	2,5	(0,4)
3-metylpentan	1,3	(0,2)	2,0	(0,4)
n-hexan	1,5	(0,2)	1,9	(0,3)
metylcyklopentan	0,6	(0,1)	0,8	(0,1)
bensen	7,0	(0,5)	6,1	(0,4)
toluen	12,1	(0,5)	11,3	(0,9)
etylbenzen	2,2	(0,1)	2,1	(0,4)
m, p-xylen	7,1	(0,4)	7,1	(0,4)
o-xylen	2,8	(0,1)	2,8	(0,4)
1,2,4-trimetylbenzen	3,1	(0,3)	3,3	(0,9)

^astandardavvikelse angiven inom parentes.

^bför varje bilresa och tågresor har tabellens kolväten antagits utgöra 39,9% av totalhalten kolväten; för dubbelproverna har haltmedelvärden använts vid beräkningen.

Bensinångor avgår i betydande utsträckning från bilarnas bensintankar särskilt vid höga temperaturer och stora temperaturfluktuationer. Endast bilar med katalytisk avgasrening har normalt kolfilter som delvis förhindrar ångorna att avgå till omgivningsluft. Kolväteinnehållet i ångorna domineras av C₄- och C₅-kolväten (ref 9). Innehållet av de kolväten som uppmätts i denna studie är litet och dessa representerar alltså renodlat bensinavgaser och inte bensinångor från bensintankar.

I flera avseenden är även bensinångor viktiga ur miljö- och hälsosynpunkt (ref 9) fast på delvis andra sätt än avgaserna. Resultaten från föregående avsnitt pekar på att de utgör ungefär 10 % av kolvätehalten i bil vid vägkörning i mulet väder vid ca 10°C. Vid högre utetemperatur och soluppvärmd bensintank kan sannolikt bensinångornas andel bli högre (ref 14), medan den bör vara lägre under vinterhalvåret.

7. Referenser

1. Petersson, G.: "Bilavgaser i fordon och gatumiljö-expositions-läge och åtgärdsunderlag", projekt för Arbetarskyddsfonden, Kemisk Miljövetenskap, CTH, 1979.
2. Cederqvist, K. och Karlsson, B-A.: "Dosmätningar av kolväten i Göteborg", Miljö- och hälsoskyddsförvaltningen i Göteborg, 1984.
3. Persson, B.: "Västpendeln- en idéskiss till ett regionalt tågssystem i Västsverige", Föreningen Sund Trafikmiljö, 1988 (uppföljd av pendeltågsutredning inom Miljöprojekt Göteborg, 1989)
4. Mattsson, M. och Petersson, G.: "Trace analysis of hydrocarbons in air using standard gas chromatographic and personal sampling equipment", Intern. J. Environ. Anal. Chem. 11, 1982, 211-219.
5. Nordlinder, R., Ramnäs, O. och Amand, L-E.: "Analysis of C1-C9 hydrocarbons in environmental air", Chrompack News 11, 1984, no 4E.
6. Petersson, G.: "Kolväten i Göteborgsområdets luftmiljö-expositions-läge och åtgärdsunderlag", rapport till Länsstyrelsen O, Kemisk Miljövetenskap, CTH, 1979.
7. Petersson, G.: "Kolväten i Västsveriges luft", rapport till Göteborgsregionens Luftvårdsförbund, Kemisk Miljövetenskap, CTH, 1983.
8. Hammarström, U.: "Ekvivalent energiförbrukning och avgasemission" Väg- och Trafikinstitutet, VTI-meddelande 567, 1988.
9. Berglund, P.M. och Petersson, G.: "Alkener i bensinångor", rapport till Miljöprojekt Göteborg, Kemisk Miljövetenskap, CTH, 1988.
10. Nelson, P.F. och Quigley, S.M.: "The hydrocarbon composition of exhaust emitted from gasoline fuelled vehicles", Atmospheric Environment 18, 1984, 79-87.
11. Zweidinger R.B. et al.: "Detailed hydrocarbon and aldehyde mobile source emissions from roadway studies", Environ. Sci. Technol. 22, 1988, 956-962.
12. Petersson, G.: "Kolväten från bilavgaser vid Birkagården i Stockholm", Kemisk Miljövetenskap, CTH, 1980.

13. Dulson, W. : Organisch-chemische Fremdstoffe in atmosphärischer Luft", Verein für Wasser-Boden-und Lufthygiene 47, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, 1978.
14. O'Shea, W.J. och Scheff, P.A: "A chemical mass balance for volatile organics in Chicago", JAPCA 38, 1988, 1020-1026.

Bilaga: Tekniska analysdata**Huvudanalyssystem (ref. 4)**

Adsorbent: Tenax TA 60/80 mesh
Adsorbentrör: 8 cm x 0,2 cm i.d.
Provtagningspump: MDA, modell 808
Gaskromatograf: Carlo Erba 2920
Kolonn: FSOT 25 m x 0,33 mm i.d.
Stationärfas: BP 1 (0,5 μ m)
Temperaturprogrammering: 0-200°C, 2°C/min
Detektor: FID
Skrivande integrator: Shimadzu C-R5 A

Kompletterande analyssystem (ref. 5)

Adsorbent: Carbosieve S-III, Carbotrap och Tenax
TA 80/100 mesh (dvs tre olika
adsorbenter i varje adsorbentrör)
Adsorbentrör: 15 cm x 0,4 cm i.d.
Provtagningspump: MDA modell 808
Gaskromatograf: Carlo Erba 2920
Kolonn: FS-PLOT 50 m x 0,32 mm i.d.
Stationärfas: Al₂O₃ (200 μ m)
Temperaturprogrammering: 0-135°C, 10°C/min
135-200°C, 2° C/min
Detektor: FID
Skrivande integrator: Shimadzu C-R5 A