
Rapport SGC 072

**SAMMANSTÄLLNING AV EMISSIONSDATA
FRÅN NATURGAS-, BIOGAS- OCH MOTOR-
GASDRIVNA FORDON**

Hans-Åke Maltesson
Svenskt Gastekniskt Center AB
på uppdrag av
Svenska Gasföreningen

Juni 1996



Rapport SGC 072
ISSN 1102-7371
ISRN SGC-R--72--SE

Rapport SGC 072

**SAMMANSTÄLLNING AV EMISSIONSDATA
FRÅN NATURGAS-, BIOGAS- OCH MOTOR-
GASDRIVNA FORDON**

Hans-Åke Maltesson
Svenskt Gastekniskt Center AB
på uppdrag av
Svenska Gasföreningen

Juni 1996



SGC:s FÖRORD


FUD-projekt inom Svenskt Gastekniskt Center AB avrapporteras normalt i rapporter som är fritt tillgängliga för envar intresserad.

SGC svarar för utgivningen av rapporterna medan uppdragstagarna för respektive projekt eller rapportförfattarna svarar för rapporternas innehåll. Den som utnyttjar eventuella beskrivningar, resultat e dyl i rapporterna gör detta helt på eget ansvar. Delar av rapport får återges med angivande av källan.

En förteckning över hittills utgivna SGC-rapporter finns i slutet på denna rapport.

Svenskt Gastekniskt Center AB (SGC) är ett samarbetsorgan för företag verksamma inom energigasområdet. Dess främsta uppgift är att samordna och effektivisera intressenternas insatser inom områdena forskning, utveckling och demonstration (FUD). SGC har följande delägare: Svenska Gasföreningen, Sydgas AB, Sydkraft AB, Göteborg Energi AB, Lunds Energi AB och Helsingborg Energi AB.

SVENSKT GASTEKNISKT CENTER AB



Jörgen Thunell

Innehållsförteckning

	<u>Sid</u>
<i>Sammanfattning</i>	1
1 <i>Inledning</i>	4
2 <i>Projekt i Sverige med gasdrivna fordon</i>	5
2.1 Naturgas	5
2.2 Biogas	6
2.3 Motorgas eller gasoldrift	7
3 <i>Emissionsmätningar</i>	7
3.1 Tunga fordon	7
3.1.1 Emissioner från originaltillverkade motorer	8
3.1.2 Emissioner från eftermarknadskonverterade motorer	10
3.1.3 Emissioner från originaltillverkade fordon	10
3.1.3.1 Provingar utförda på två naturgasdrivna bussar från Göteborgs Spårvägar, typ Volvo B 10 M, THG 103 F	10
3.1.3.2 Provingar utförda på tre naturgaslastbilar inom LB 50 projektet	13
3.1.4 Emissioner från eftermarknadskonverterade fordon	14
3.1.4.1 Provingar utförda på en biogasdriven buss från Linköping Trafik AB, typ Scania DS 1126 CO5	14
3.1.5 Bulleremissioner	17
3.2 Lätta fordon	17
3.2.1 Reglerade emissioner från originaltillverkade fordon	17
3.2.2 Reglerade och oreglerade emissioner från eftermarknadskonverterade fordon	19
3.2.2.1 Reglerade och oreglerade avgasemissioner från lätta bensen-, diesel-, motorgas- och naturgasdrivna fordon	19
4 <i>Livscykelanalyser</i>	23
4.1 Life of Fuels	23
4.2 Jämförande litteraturstudie av producerade rapporter kring livscykelanalyser av drivmedel	24
4.3 Beräkning av CO ₂ -ekvivalenten	25
5 <i>Produktionsvolym och produktionskostnad</i>	27
5.1 Energigasmarknaden	27
5.2 Naturgas	27
5.3 Gasol	28
5.4 Biogas	29
Referenser	33

Bilaga 1

Gasformiga bränslen, typvärden på kemisk sammansättning

SAMMANFATTNING

I denna sammanställning redovisas i huvudsak emissioner från gasdrivna motorer och fordon. Rapporten är framtagen i syfte att ingå som underlag till den av Miljödepartementet tillsatta utredningen om Alternativa bränslen och blandbränslets miljöegenskaper (M1995:6) även kallad Alternativbränsleutredningen.

De gasformiga bränslen som behandlas i sammanställningen är:

- motorgas, innefattande blandningar av i huvudsak propan och butan
- naturgas, även benämnt CNG (Compressed Natural Gas)
- biogas, innefattande deponigas och rötgas från olika typer av avfallsprodukter eller grödor

De gasformiga bränslena används nästan uteslutande i tändstiftsmotorer vilka arbetar enligt den sk Otto-principen. Ordinära bensindrivna motorer i personbilar arbetar enligt denna princip och de gasformiga bränslena kan enkelt fås att fungera i dessa motorer. Dagens gasdrivna personbilar är antingen enbränsle drivna eller tvåbränsle drivna, i det senare fallet behålls bensinsystemet och de båda bränslena kan användas var för sig. Personbilar av denna typ benämns internationellt bi-fuel vehicles medan de förstnämnda benämns dedicated vehicles.

Tyngre fordon tex bussar och lastbilar är normalt utrustade med dieselmotorer och måste vid gasdrift alltså istället förses med Otto-motorer vilket i princip betyder att motorerna utrustas med tändsystem och annat bränslesystem. Vidare sänks kompressionen i cylinderrummet. Dagens gasdrivna tyngre fordon är till största del enbränsle drivna dvs de utrustas enbart för drift med ett bränsle, motorgas, naturgas eller biogas. En parallell utvecklingsgren, som används bla i stationära motorer, är att behålla dieselsystemet och spruta in en mindre mängd diesel i tändögonblicket för att få gasen att antända. Vissa fordonsapplikationer utnyttjar denna teknik men emissionerna ökar då diesel används som tändkälla varför utbredningen är begränsad. Motorer som fungerar enligt den senare principen brukar benämnas dual-fuel vehicles.

Ur kemisk synpunkt har de gasformiga bränslena en betydligt enklare uppbyggnad och lägre halt av föroreningar än diesel och bensin. Grundläggande betyder detta att de gasformiga bränslena har bättre förutsättningar att förbrännas på ett miljövänligare sätt.

De gasformiga bränslena har en större andel väte i förhållande till kol jämfört med bensin och diesel vilket innebär att utsläppen av koldioxid generellt sett är lägre för ett gasdrivet fordon än för ett bensin eller dieseldrivet. I en panna för uppvärmningsändamål ger naturgas 35% lägre koldioxidutsläpp än om motsvarande panna skulle eldas med eldningsolja. I en förbränningsmotor är det många olika faktorer som bestämmer hur stor skillnaden blir, normalt är koldioxidutsläppen runt 10-20% lägre för en naturgasmotor jämfört med en bensinmotor och runt 20-30% lägre jämfört med en dieselmotor. För en personbil blir skillnaden speciellt stor om kallstartseffekterna beaktas, en bensinmotor har en betydligt högre bränsleförbrukning vid kallstart än motsvarande gasmotor.

Studerat samtliga växthusgaser och dess värmeabsorberande effekt måste även andra gaser än koldioxid räknas in. För gasdrivna fordon och då speciellt naturgasdrivna är det i första hand metan som då måste beaktas, vid jämförelse med ett dieseldrivet fordon minskar därför skillnaden i utsläpp av växthusgaser med några procentenheter jämfört med vad som angivits ovan.

Metan är huvudbeståndsdelen i såväl naturgas som biogas, dessa två gaser är därför i stort utbytbara mot varandra. Detta innebär att en kommande marknadsintroduktionen av biogas avsevärt förenklas genom det utvecklingsarbete som idag bedrivs på naturgassidan. Samma fordonsteknik används för biogas- och naturgasdrivna fordon, endast mindre justeringar krävs för att få en optimal drift. I framtiden bör denna justering kunna ske automatiskt och möjligheterna för att transportera sig i landet med ett metangasdrivet fordon kommer då att öka. Idealet vore naturligtvis att kunna tanka biogas från en rötgaskammare ena dagen och naturgas andra dagen på platser där biogas ej finns tillgänglig. Naturgas och biogas kan komplettera varandra och

tillsammans nå en större marknad, inte minst viktigt för den fortsatta utvecklingen av infrastruktur och fordon.

Emissionsmätningar på gasfordon har genomförts såväl nationellt som internationellt och resultaten är entydiga. De gasdrivna fordonen reducerar såväl miljöfarliga som hälsoskadliga utsläpp högst väsentligt jämfört med traditionellt drivna fordon trots att utvecklingen av miljöoptimerade gasdrivna fordon endast pågått ett fåtal år.

För de reglerade emissionerna kan konstateras att

gasdrivna miljöoptimerade personbilar har möjlighet att med god marginal uppfylla de idag hårdast formulerade emissionskraven, dvs ULEV-nivån i Kalifornien. De enda fordon som idag är certifierade för denna nivå är dedicerade naturgasdrivna fordon

gasdrivna miljöoptimerade tyngre fordon väsentligt understiger de emissionskrav, som formulerats av såväl europeiska som amerikanska myndigheter.

Sammantaget ger de gasdrivna fordonen möjlighet till en väsentligt reduktion av utsläppen av kväveoxider, partiklar och skadliga kolväten.

Avseende de icke reglerade emissionerna blir resultatet av jämförelserna lika entydiga. De internationellt ansedda provningslaboratorierna TNO i Holland samt Svensk Bilprovning Motor-testcenter, MTC har genomfört omfattande studier avseende utsläpp av ej reglerade emissioner.

Utredningen vid TNO avseende personbilar grupperar miljöeffekterna i

lokala toxiska effekter
långsiktigt toxiska effekter
regionala och globala effekter

och konstaterar väsentligt lägre miljöpåverkan från motorgas och naturgas jämfört med bensin och diesel inom samtliga grupper.

Vid MTC har ett stort antal emissionsmätningar genomförts på tunga fordon dock har ingen samlad sammanställning av utredningsresultaten presenterats. MTC har provat natur- och bio-gasdrivna bussar och lastbilar och de olika emissionsresultaten kan grupperas enligt följande:

Alkoholer,	mycket låga utsläpp
Aldehyder,	mycket låga utsläpp
Alkener,	mycket låga utsläpp med reservation för 1,3-butadien som visat något högre halter än förväntat vid provningarna av de naturgasdrivna lastbilarna, en utredning avseende varför för 1,3-butadien uppmäts i avgaserna pågår för närvarande
PAH,	mycket låga utsläpp men med en förhöjning av nivåerna upp till diesel miljöklass 1 i den halvflyktiga fasen beroende på påverkan från smörjolja antingen från motorn eller från gaskompressorerna.

De förhöjda värdena ligger i samtliga fall under eller lika motsvarande värden för fordon drivna med diesel miljöklass 1.

Avgasernas innehåll av mutagena och cancerogena ämnen har kontrollerats genom Stockholm Universitets försorg, aktiviteten i partikelfasen har i samtliga fall varit mycket låg medan en förhöjning upp till diesel miljöklass 1 konstaterades i den halvflyktiga avgasfasen.

Avslutningsvis kan konstateras att det för de gasformiga bränslena inte finns någon anledning till att befara någon ökning av något enskilt emissionsvärde utan miljö- och hälsoeffekterna vid

användning av gasformiga bränslen kan generellt sägas minska om dessa används för att ersätta bensin eller diesel.

Olika bränslens livscykelemissioner har bl.a. studerats i utredningen Life of Fuels, utredningen förstärker de gasformiga bränslenas emissionsfördelar bl.a. beroende på lägre påverkan vid produktion och transport jämfört med de traditionella bränslena. Energiresursanvändningen är dock oftast till de fossila petroleumprodukternas fördel men såväl naturgas som motorgas har ett lägre energiutnyttjande då gaserna ersätter bensin och endast ett något högre energiutnyttjande då diesel ersätts. Resursutnyttjandet vid biogasdrift är högre än vid såväl bensin- och dieseldrift men i huvudsak är resurserna i detta fall icke fossila. Inom Alternativbränsleutredningen har en litteratursammanställning av utförda livcykelanalyser genomförts, i huvudsak utnyttjas resultaten enligt Life of Fuels kompletterat med resultat bl.a. från DeLuchi. Sammanställningen har visat på nödvändigheten av att uppdatera data från ovannämnda studier då dessa är utförda 1992 och utvecklingen framförallt på fordonssidan gått framåt sedan dess.

Ur motorsynpunkt finns det ingen anledning att förvänta en sämre tillgänglighet eller ett högre slitage än om motsvarande motorer drivs med bensin eller dieselolja. Snarare är det så att motorerna kommer att slitas mindre då de gasformiga bränslena generellt är renare och inte ger upphov till sotbildning.

Motortekniskt finns det möjlighet att ytterligare sänka emissionsnivåerna, utvecklingstrappan har nyligen inletts och fortfarande finns åtskilligt att förbättra. Två huvudpunkter är värda att nämna i detta sammanhang:

1. Motorerna i dagens bensin och gasdrivna personbilar är optimerade för bensindrift, en optimering till gasdrift skulle öka verkningsgraden och samtidigt sänka emissionerna ytterligare.
2. Emissionerna från motorerna i dagens tunga lastbilar och bussar skulle förbättras ytterligare om en återkoppling via en λ -sond i avgasröret utnyttjades. Framförallt skulle motorens emissioner vid transienta förlopp förbättras om syrenehållet i avgaserna kunde mätas och användas för att styra bränsle/luft blandningen, på liknande sätt som görs i dagens personbilmotorer. De modernaste amerikanska motorerna utnyttjar denna teknik.

Produktionspotentialen för såväl naturgas som motorgas är på kort och medellång sikt mycket stor och det är endast rörnät, infrastruktur och lagringskapaciteter som är begränsande. För biogas är dock i nuläget tillgången begränsad men många projekt planeras och biogasen kommer att bli ett värdefullt tillskott till den svenska energiförsörjningen i framtiden.

De gasformiga bränslena bör med vad som sagts ovan ha sin roll på marknaden men utvecklingen bör samtidigt ske i samklang med alla andra miljövänliga alternativ. Ensamt kan inget av de alternativ som idag diskuteras ersätta hela den mängd bensin och diesel som används inom transportsektorn. Om däremot alternativen får långsiktiga möjligheter att utvecklas kan de tillsammans hjälpa till att förbättra den miljö och den natur vi alla lever i.

1 INLEDNING

Denna sammanställning behandlar i huvudsak emissioner från gasdrivna motorer och fordon. Vidare görs en kort sammanfattning av potentialen och produktionskostnaderna i Sverige för de olika gasformiga bränslena.

Rapporten är framtagen i syfte att ingå som underlag till den av Miljödepartementet tillsatta utredningen om Alternativa bränslen och blandbränslets miljöegenskaper (M1995:6) även kallad Alternativbränsleutredningen.

De gasformiga bränslen som åsyftas i sammanställningen är:

- motorgas eller gasol, innefattande blandningar av i huvudsak propan och butan, även benämnt LPG (Liquified Petroleum Gases). I Sverige marknadsförs huvudsakligen Propan 95 vilket är en kvalité som innehåller minst 95 % propan, typvärden enligt bilaga 1
- naturgas, även benämnt CNG (Compressed Natural Gas), typvärden avseende den naturgas som används i Sverige redovisas i bilaga 1
- biogas, innefattande deponigas och röttgas vilka inte ger något nettotillskott av växthusgaser vid förbränning och är därmed att betrakta som ingående i det naturliga kretsloppet, typvärden enligt bilaga 1.

Introduktionen av gasdrivna fordon inleddes under 80-talet då motorgas introducerades som ersättningsbränsle för bensin i personbilar. Utvecklingen avstannade dock bl a beroende på att de svenska avgasbestämmelserna skärptes avseende certifieringskraven för fordonen parallellt med att en diskussion fördes avseende en ökad drivmedelsbeskattning för motorgasdrivna fordon. Certifieringskraven innebar ökade kostnader för fordonsleverantörerna och planerna på en ökad beskattning och därmed ett ändrat konkurrensförhållande mot bensin innebar ett ökat risktagande och en sämre ekonomi för fordonsägarna. De fordonsflottor som kompletterats med motorgasdrift, bl a inom taxinäringen, slutade att växa och fordonen ersattes efterhand med enbart bensindrivna dito. Marknadsunderlaget försvann därför successivt och motorgasleverantörerna började i sinom tid att montera ned sina tankstationer, som idag endast återfinns i ett fåtal svenska städer. I vissa länder finns det dock ett fortsatt intresse för motorgasdrivna fordon. Sveriges fordonsleverantörer bedriver därför även fortsättningsvis utveckling av miljöoptimerade motorgasfordon och då främst bussar.

Introduktionen av naturgasdrivna miljöoptimerade fordon startade i början av 90-talet med de första naturgasdrivna bussarna Göteborg och Malmö. Utvecklingen har därefter skjutit fart och idag finns 287 naturgasdrivna fordon i drift.

Det stora genombrottet för biogasdrivna fordon ser ut att komma under 1996, då ett 4-6 anläggningar kommer att uppföras för ett knappt hundratal fordon. Utvecklingen av naturgasfordon har inneburit att fordon även för biogasdrift idag finns tillgängliga, då fordonstekniken är densamma, men fortfarande återstår en del frågor att lösa kopplade till en ekonomisk produktion och uppgradering av biogas för fordonsdrift. Den biogas som normalt varit aktuell som fordonsdrivmedel har baserats på en lokal överskottsprodukt där huvudproblemet varit att lösa en avfalls- eller deponifråga. Redan idag byggs anläggningar speciellt utformade för att producera biogas eller röttgas för fordonsdrift ur avfallsprodukter, som tidigare destruerats på annat sätt. Dessa produkter härstammar ofta från industriella processer, tex från fisk- och köttindustrin vars restprodukter kombineras med lokala avfallsprodukter i en röttgaskammare.

Värt att notera i dessa sammanhang är Volvos såväl som Scania's starka engagemang i utvecklingen av gasdrivna fordon. Volvo kan i dag erbjuda bussar, lastbilar och personbilar för såväl naturgas- som biogasdrift. På den internationella marknaden har Volvo nyligen levererat motorgasdrivna bussar till Holland. Scania har genomfört en större leverans av naturgasdrivna bussar till Australien och har även medverkat med komponentleveranser till de tio Scania - bussar som går i trafik i Malmö tätort. 2

På världsmarknaden erbjuder idag enbart ett fåtal leverantörer gasdrivna fordon, Volvos och Scania's engagemang ger därför de svenska tillverkarna ett försteg internationellt. Ur ett globalt

perspektiv betraktas naturgas som det alternativa bränsle som har störst marknads- och utvecklingspotential och fullt naturligt börjar även andra fordonsleverantörer presentera gasdrivna produkter. Längst har de amerikanska tillverkarna hunnit, påskyndade av den stränga men samtidigt ur miljösynpunkt stimulerande lagstiftningen i USA, men även europeiska tillverkare har startat utvecklingsprojekt allteftersom krav på bättre miljö reses i de europeiska storstäderna.

Idag rullar c:a en miljon naturgasdrivna fordon i världen, dessa fordon har dock i generella termer två saker gemensamt, dels rör det sig om eftermarknadskonverteringar dels är det ofta frågan om att ersätta petroleumprodukter ur försörjningsmässig synpunkt. Det ökande engagemanget från fordonstillverkarna kommer att innebära att teknikutvecklingen skjuter fart mot driftsäkra och miljöoptimerade fordon, som ur alla synpunkter kommer att kunna konkurrera med dagens bensin- och diesel drivna fordon.

Ur ett biogasperspektiv förenklas marknadsintroduktionen genom utvecklingsarbetet som bedrivs på naturgassidan. Samma fordonsteknik används för biogas och naturgasdrivna fordon, endast mindre justeringar krävs för att få en optimal drift. I framtiden bör denna justering kunna ske automatiskt och möjligheterna för att transportera sig i landet med ett metangasdrivet fordon kommer då att öka. Idealet vore naturligtvis att kunna tanka biogas från en rötgaskammare ena dagen och naturgas andra dagen på platser där biogas ej finns tillgänglig. Naturgas och biogas kan komplettera varandra och tillsammans nå en större marknad, inte minst viktigt för den fortsatta utvecklingen av infrastruktur och fordon.

2 PROJEKT I SVERIGE MED GASDRIVNA FORDON

2.1 Naturgas

Naturgasdrivna bussar introducerades i Malmö och Göteborg under 90-talets inledning och utvecklingen i dessa städer har sedan dess fortsatt. Under december 1995 togs de första naturgasdrivna bussarna i Lund i drift. Under våren 1996 har Volvo introducerat såväl naturgasdrivna distributionslastbilar som personbilar.

Den aktuella situationen, maj 1996, för naturgasdrivna fordon i Sverige redovisas i tabell 2.1

Tabell 2.1 Naturgasdrivna fordon i Sverige, maj 1996

Ort	I drift			Beställda för leverans 1996		
	Buss	Lastbil	Lätta lastbilar Personbilar	Buss	Lastbil	Lätta lastbilar Personbilar
Göteborg	38	15	44	-	25	-
Malmö	101	4	60	15	4	5
Lund	24	-	1	-	1	-
Summa	163	19	105	15	30	5
Totalt			287			50

Angivna fordon i ovanstående tabell är huvudsakligen av följande typ.

- Buss Volvo THG 103 KF, Scania CN 113 CLB
- Lastbil Volvo FL 10
- Lätt lastbil Volkswagen Transporter bi-fuel
- Personbil Volvo 940 samt Volvo 850 bi-fuel

Utöver uppräknat antal fordon planeras i framtiden en successiv utökning av de naturgasdrivna bussflottorna i Göteborg, Malmö och Lund.

I sammanhanget bör också nämnas ett nyligen godkänt Thermie-projekt innefattande 60 sopbilar för naturgasdrift. Medverkande länder är Sverige via Göteborg Energi och Göteborg Renhållningsverk, Holland, Tyskland och Storbritannien. För Sveriges del medverkar även Volvo och målsättningen är bl a att introducera naturgasdrivna Volvo FL 6, dvs en nyutvecklad 6-litersmotor, idealisk för sopbilar och andra typer av lastbilar lämpliga för distributionstrafik i tätorter.

Volvo planerar att tillverka 300 personbilar av typ 850 bi-fuel under 1996, c:a 100 för den svenska marknaden och resterande för den internationella marknaden, framförallt Europa och USA.

2.2 Biogas

Den aktuella situationen för biogasdrivna fordon redovisas i tabell 2.2.

Sammanställningen gör ej skäl för att vara helt fullständig då det planeras för biogasprojekt i ett flertal kommuner i landet.

I Linköping är sedan 1993 5 st biogasdrivna bussar i drift och anläggningsarbetet för ett större antal fordon pågår. Biogasanläggningen i Linköping kan sägas ha stått modell för liknande anläggningar i Frankrike, det land utanför Sverige där utvecklingen av biogasdrivna fordon och uppgraderingsanläggningar idag bedrivs intensivast.

Av de övriga uppräknade biogasprojekten ~~är det idag~~ kommer samtliga att driftsättas under 1996.

Tabell 2.2 Biogasdrivna fordon i Sverige, maj 1996

Ort	I drift				Beställda för leverans 1996			
	Buss	Lastbil	Lätt lastbil	Personbil	Buss	Lastbil	Lätt lastbil	Personbil
Linköping	5				20			
Trollhättan	2				10	2		
Uppsala					10			6
Göteborg				2				
Stockholm				0				10
Summa	7			2	60	2		16
Totalt			9				78	

Det som karakteriserar biogasprojekten är att gasen måste uppgraderas till en för fordonet lämplig kvalitet. Biogas finns tillgängligt på ett stort antal platser i Sverige och används för värme- och kraftgenerering. Fordonsdriften kräver en idag ganska kostnadskrävande uppgraderingsanläggning men ovanstående projekt kommer att driva den tekniska utvecklingen framåt och möjliggöra en bredare introduktion i framtiden.

2.3 Motorgas eller gasoldrift

Drivkraften för introduktionen under 80-talet var huvudsakligen ekonomin och miljöfrågan lyftes ej fram på samma sätt som idag. I sammanhanget bör också noteras att största delen av de personbilar som då konverterades till motorgas ej levererades av ordinarie fordonstillverkare. I stället utvecklades en ny industrigren för eftermarknadskonvertering av bensindrivna personbilar till kombinerad bensin och gasoldrift.

Tankningsmöjligheter för personbilar finns idag på ett stort antal platser i Sverige bla Stockholm, Göteborg, Helsingborg, Borås, Karlstad, Västerås, Jönköping, Gävle, Falun, Ljusdal, Uppsala, Södertälje, Norrköping och Linköping. Försäljningspriset för motorgas vid dessa anläggningar ligger mellan 4:30 - 4:50 kr/liter propan inkl. moms vilket ger en ungefärlig bränslekostnad för en normal personbil på 5:20 - 5:40 kr/mil inkl. moms [ref. 1].

I dag finns därutöver två miljöoptimerade motorgasbussar i Sundsvall och möjligheterna undersöks för att utvidga detta projekt.

3.0 EMISSIONSMÄTNINGAR

I efterföljande kapitel redovisas mätningar av reglerade och oreglerade emissioner på motorer och fordon som är levererade från fordonstillverkare alternativt konverterade av tredje part sk eftermarknadskonverteringar.

Eftermarknadskonverteringar av personbilar behandlas dock ej bl a beroende på att denna typ av fordon ej är aktuella för den svenska marknaden i dag då den svenska bilavgasförordningen i praktiken förhindrar detta. Avgasbestämmelserna medger endast nyregistrering av fordon om biltillverkaren godkänns och miljöklassas av Svensk Bilprovning enligt de krav som anges i förordningen.

3.1 Tunga fordon

Redovisning av reglerade emissioner från motorer provade enligt lagstadgade normer och kör-cykler, ECE R49, görs så långt det är möjligt enbart för fordon som levererats av ordinarie for-donsleverantör. För att erhålla data för samtliga gasbränslen måste dock även eftermarknads-konverteringar redovisas.

Redovisning av emissioner från fordon, såväl reglerade som oreglerade, görs genom referat och sammanställningar av provningar utförda vid Svensk Bilprovning, Motortestcenter i Jord-bro. Provningsförfarandet för mätning av emissioner från fordon, dvs då fordonen körs på en sk chassiedynamometer samtidigt som emissionerna mäts, är ej normerade. De kör-cykler som används simulerar dels ovannämnda ECE R49-cykel, ursprungligen avsedd enbart för motorer, och dels en busscykel utvecklad för att efterlikna stadsbusstrafik.

3.1.1 Emissioner från originaltillverkade motorer

Nedan angivna emissionsvärden har erhållits från ordinarie motortillverkare.

Tabell 3.1 Emissioner från tunga motorer enligt ECE R49, [g/kWh]

	NO _x g/kWh	CO g/kWh	NMHC g/kWh	HC g/kWh	Part g/kWh	Ref.	Bränsle
Euro 2	7,0	4,0	-	1,1	0,15		Diesel
Volvo Buss THG 103 KF	2,5	0,3	-	0,5	0,05	2	Naturgas
Volvo Buss THP 103 KF	2,0	0,5	-	0,1	0,05	3	Motorgas
Volvo Buss DH10A - 245	(6,48)	(0,44)	-	(0,21)	(0,08)	4	Diesel
Volvo Lastbil TG 103	2,0 (1,90)	0,3 (0,29)	0,2 -	1,1 (0,49)	0,05 (0,009)	5 6	Naturgas
Scania Buss OSC 11 G 01	4,0 (3,66)	2,5 (2,34)	- -	2,5 (2,27)	- (0,021)	7 8	Naturgas Naturgas
SISU Lastbil SK 181 LPG	1,1	2,1	-	0,7	-	9	Motorgas
Iveco City Bus 8469.21 TC	2,0	2,0	-	0,6	0,05	10	Naturgas
Mercedes Buss M 447 hG	3,5	2,0	-	0,5	0,05	11	Naturgas

Emissionsvärden inom parentes är typvärden rapporterade från fordonstillverkarna, övriga värden är garanterade att innehållas vid fordonsleverans.

Såsom normjämförelse anges Euro 2 - de inom EU använda emissionskriterierna, som överensstämmer med de svenska miljöklass 1- och miljöklass 2-bestämmelserna för tunga fordon. De svenska bestämmelserna innehåller därutöver även krav på hållbarhet avseende fordonens emissioner, som skall garanteras av fordonsleverantören under fordonets första 8 år eller under en maximal körsträcka på 200 000 - 500 000 km beroende på motortyp. Vidare anger de svenska bestämmelserna krav på maximalt buller från fordon i miljöklass 1.

Idag levereras Euro 2-dieselmotorer till den svenska marknaden men de klassas ej i MK 1 eller MK 2 beroende på de svenska särbestämmelserna avseende hållbara emissioner. Ur skattesynpunkt klassas därför dessa motorer i MK 3 vilket innebär en högre sk försäljningsskatt.

NMHC i ovanstående tabell står för Non Methane Hydro Carbons, dvs kolväten som inte innehåller metan. Metan räknas inte som ett reaktivt kolväte och påverkar ej människans hälsa. Däremot är metan en växthusgas och bör därför räknas in då CO₂ - ekvivalenten beräknas. Huvuddelen av HC-utsläppen från metangasdrivna fordon är metan. I den svenska miljöklassningen av fordon, såväl som i den europeiska, räknas metan in i HC-gruppen. Detta kan tyckas felaktigt då HC-gruppens gränsvärden är satta för att nedbringa förekomsten av reaktiva kolväten.

Scania bussen har ej miljöoptimerats utifrån svenska förhållanden utan avser emissioner från de 250 bussar som levererats till Sydney, Australien. Den refererade Scania-bussen är den enda som har ett mekaniskt reglersystem för gastillförseln, övriga bygger på elektroniska system med varierande grad av styrsignaler och återkopplingsystem.

Ur tabellen i övrigt kan utläsas gasmotorernas potential avseende låga utsläpp av såväl kväveoxider som partiklar, den garanterade partikelnivån skulle kunna vara lägre om mätinstrumentens noggrannhet förbättrades

Samtliga gasmotorer är av lean-burn typ förutom de från Mercedes och Iveco som är stökiometriskas dvs med $\lambda=1,0$ och som därför kräver en 3-vägs-katalysator för att nedbringa kväveoxidhalten. Gasmotorerna från Volvo är försedda med 2-vägs-katalysatorer medan däremot motorn från Scania är provad utan katalysator.

I en 2-vägs-katalysator oxideras CO och HC, 3-vägs-katalysatorn reducerar dessutom NO_x och en viktigt fråga att belysa i dessa sammanhang är katalysatorernas långtidsegenskaper. Katalysatorerna måste vara speciellt utvecklade för naturgas, med en bibehållen konverteringsgrad av metan. Enligt Volvo [ref. 12] finns det idag katalysatorer som i forcerade långtidsprovningar uppvisar en god konverteringsgrad, däremot saknas ännu så länge erfarenheter från verklig drift.

Ovanstående tabell refererar till europeiska fordon provade enligt den europeiska körcykeln ECE R49. I USA återfinns ett flertal tillverkare av tunga naturgasmotorer. Certifieringen av motorerna görs enligt en transient körcykel. Emissionskriterierna är satta beroende på fordonets användning, alltså finns det speciella krav för bussmotorer, lastbilsmotorer för fordon > 26 000 lb (11 800 kg), lastbilsmotorer för fordon > 8500 lb (3 860 kg) men \leq 26 000 lb. Det finns även speciella krav på naturgasdrivna tunga motorer, dessa gäller idag som lag i Kalifornien och kommer att gälla federalt från 1997.

I nedanstående tabell redovisas de sistnämnda kravkriterierna tillsammans med några exempel på typiska emissionsvärden dels från de amerikanska motortillverkarna dels från Volvo som nyligen provat den naturgasmotor för lastbilar 14-18 ton som utvecklats för LB 50-projektet enligt de amerikanska normerna. Volvos 10-litersmotor för naturgas har utvecklats och optimerats för att ge god körbarhet och låga emissioner enligt den europeiska körcykeln, Volvos värden är därför ej jämförbara med de amerikanska motorernas då de senare utvecklats och optimerats för den amerikanska cykeln.

Tabell 3.2 Emissioner från tunga motorer enligt US-FTP, [g/hp-hr]

	NO_x g/hp-hr	CO g/hp-hr	NMHC g/hp-hr	HC g/hp-hr	Part g/hp-hr	Ref.	Bränsle
GVW 8501- 14000 lb (1998) (4,0)	5,0	15,5	1,2	-	0,10		Naturgas
GVW > 14000 lb (1998) (4,0)	5,0	15,5	1,2	-	0,10		Naturgas
Detroit Diesel Series 50, 275 HP	2,7	2,5	0,6	-	0,03	13	Naturgas
Detroit Diesel Series 50, 260 HP	1,9	2,5	0,6	-	0,03	-"	Naturgas
Cummins L10, 240 HP	2,0	0,4	0,6	-	0,02	14	Naturgas
Hercules GTA 5.6, 190 HP	2,0	2,8	0,9	-	0,10	15	Naturgas
Volvo TG 103 250 HK	2,2	3,6	-	3,6	0,01	6	Naturgas

I tabellen anges kravnivåerna beroende på fordonets totalvikt (GVW, Gross Vehicle Weight) uttryckt i pounds (1 lb = 0,454 kg), emissionsnivåerna uttrycks i grams per horse power-hour

(1 g/hp-hr = 1,34 g/kWh). Uppmätta emissionsvärden från de olika motorerna är typvärden erhållna från genomförda provningar.

Ovanstående kravkriterier skärps upp ytterligare i de städer som innefattas i det sk Clean Fuel Fleet Program som för fordon mellan 8500 och 26000 lb införs att gälla från 1998, i Kalifornien gäller programmet redan idag för fordon mellan 8500 och 14000 lb. Kravnivåerna kommer att indelas i LEV, ILEV och ULEV där ULEV-kraven är de lägsta. Kravnivåerna för ULEV är:

NO _x + NMHC	2,5	g/hp-hr
CO	7,2	g/hp-hr
PM	0,05	g/hp-hr
HCHO	0,025	g/hp-hr

Ovanstående värden gäller samtliga bränsleslag. Intressant att notera är dels att kväveoxider och kolväten exkl. metan slås samman i en grupp vilket ger en direkt styrning mot lägre ozonbildningspotential dels att utsläppen av formaldehyd begränsas.

3.1.2 Emissioner från eftermarknadskonverterade motorer

Nedanstående tabell redovisar emissioner dels från en av biogasmotorerna till bussarna i Linköping, konverterad av Cylinderservice och provad av Marintek, båda företagen från Trondheim i Norge, ~~samt~~ dels från en av motorgasmotorerna till bussarna i Sundsvall, också denna konverterad av Cylinderservice och provad av Marintek.

Tabell 3.3 Emissioner från tunga motorer enligt ECE R49, [g/kWh]

	NO _x	CO	NMHC	HC	Part	Ref	Bränsle
Euro 2	7,0	4,0	-	1,1	0,15		Diesel
Scania Buss DS 1126 CO1	2,2	0,5	-	1,0	0,05	16	Biogas
Volvo Buss THD 102 KD	2,1	0,3	-	0,2	-	17	Motorgas

Båda bussarnas motorer är av lean-burn typ och är försedda med mekaniska reglersystem för gastillförseln. Det låga HC-värdet på motorgasbussen visar hur metanförekomsten i avgaserna påverkar emissionsvärdet. Motorgas innehåller bara små halter av metan medan däremot biogas i princip enbart innehåller metan, som till viss del passerar oförbränt genom motorn och som med sin stabila uppbyggnad är svår att helt oxidera i fordonets katalysator.

I övrigt visar även dessa resultat de gasformiga bränslenas låga utsläpp av kväveoxider och partiklar.

3.1.3 Emissioner från originaltillverkade fordon

3.1.3.1 *Provningar utförda på två naturgasdrivna bussar från Göteborgs Spårvägar, typ Volvo B 10 M, THG 103 KF*

Svensk Bilprovning, Motortestcenter, MTC, [ref. 18] har redovisat resultat från genomförda provningar med två naturgasdrivna Volvo-bussar från Göteborgs Spårvägar. Bussarna är tillverkade av Volvo och representerar detta företags senaste kommersiella modell. Bussarna valdes slumpmässigt ut bland de bussar som går i daglig trafik i Göteborgs tätort.

Provning av reglerade emissioner

Reglerade emissioner uppmättes på samma sätt som vid provning av dieselfordon med det undantaget att metan mättes separat. Bränslemätningen fungerade ej under provtagningarna varför alla bränslemängdsuppgifter har beräknats.

Två simulerade ECE R49 (A 30) test utfördes för varje fordon vilka gav följande emissionsnivåer:

Tabell 3.4 Resultat från simulerat ECE R49-prov (A30) [g/kWh]

	CO g/kWh	HC g/kWh	NO _x g/kWh	Part. g/kWh	Bränsleförbr. ber, g/kWh
Fordon 1	0,01	0,17	0,49	-0,019	240
	0,00	0,05	0,55	-0,011	240
Fordon 2	0,01	0,38	0,36	-0,004	233
	0,01	0,64	0,55	-0,008	235

Mätresultaten visar på låga utsläpp speciellt vad gäller HC och NO_x. De låga HC-värdena indikerar en god förbränning såväl som en god katalysatorfunktion. MTC betecknar NO_x-emissionerna som extremt låga och har lagt ned ett stort arbete för att verifiera och hitta eventuell felkällor, detta har inte givit annat resultat än att mätvärdena efterhand har godkänts som riktiga.

MTC påpekar dock att motorerna inte utvecklade den effekt som de skall göra enligt datablad, vidare var λ -värdet högre än vad tillverkaren anger som riktvärden. Gränsen mot dålig körbarhet p.g.a. det höga luftöverskottet var nära vilket bla indikeras i nedan redovisade transientprovningar, som redovisar varierande HC-värden vilket tyder på att motorn misstänkt vid några tillfällen.

Såsom tidigare nämnts finns det idag ingen normerad europeisk körcykel för tunga fordon på chassiedynamometer. För att simulera det transienta körmönstret för en buss i stadstrafik använder därför MTC den sk Braunschweig-cykeln [ref. 19]. Då denna inte är helt normerad kan den inte användas för att entydigt jämföra provresultat erhållna från olika fordon eller bränslen men den ger en tillräckligt indikation på emissionsnivåerna om resultat från samma laboratorium jämförs.

Vid provning enligt Braunschweig-cykeln, redovisar MTC följande resultat.

Tabell 3.5 CO-, HC-, NO_x, CO₂ och partiklar vid provning av fordon enligt Braunschweigcykeln [g/km]

	CO g/km	HC,D g/km	HC,M g/km	Metan g/km	NO _x g/km	CO ₂ g/km	Partiklar g/km	Bränsle,ber g/km
Fordon 1								
Medelvärde	0,03	3,00	3,67	-	2,56	1396	0,022	510
Standardavvikelse	0,01	1,74	2,67	-	0,12	34	0,004	14
Fordon 2								
Medelvärde	0,16	1,09	1,33	1,23	3,13	1128	0,008	442
Standardavvikelse	-	0,05	0,07	0,06	0,22	2	0,001	2

CO- och partikelemissionerna var generellt låga.

HC-emissionerna från fordon nr 1 varierade under körningarna, standardavvikelsen uppgår till nästan 60% av medelvärdet. Detta tyder på att motorn misstänkt vilket kan ha sin förklaring i att motorns luftöverskottet varit för högt och att gränsen för körbarhet legat nära. Totalkolväten är redovisade med två värden, dels som HC,D, dvs kolväten mätt och beräknat som diesel, dels som HC,M, dvs kolväten omräknade utifrån den respons mätinstrumentet har på metan.

HC-emissionerna från fordon nr 2 består till över 90 % av metan om jämförelse görs mot total-kolväten beräknat som metan - HC,M. För fordon nr 1 saknas tillräckligt antal mätvärden för en medelvärdesberäkning, enskilda metanvärden ligger på mellan 82-89% av totalkolväteemissionerna.

NO_x-emissionerna var även de låga vilket visar att det är möjligt att bygga gasmotorer som ger låga emissioner även i transienta körcykler.

Provning av oreglerade emissioner

Mätning av oreglerade emissioner utfördes på fordon nr 1 vid körning enligt Braunschweig-cykeln och presenteras av MTC enligt följande:

Aldehyder

Formaldehyd - och acetaldehydemissionerna var låga. Inga kallstarteffekter kunde uppmätas, däremot kunde en svag formaldehydluft kännas vid kallstart. Formaldehydkoncentrationen varierade mellan 4 och 14 mg/km vid de olika provtillfällena och acetaldehydkoncentrationen på motsvarande sätt mellan <1 och 3 mg/km.

Alkener och alkoholer

De ospädda avgaserna analyserades med avseende på eten, propen och 1,3-butadien. Resultaten visar på nivåer <5 mg/km för varje typ av alken.

Avseende alkoholer var resultatet 5-6 mg/km metanol och <5 mg/km etanol.

Polycykliska aromatiska föreningar

Provuttaget bestod dels av partiklar och dels av substrat från den halvflyktiga fasen. Resultaten visar att partiklarna ej innehåller några PAC-föreningar utöver bakgrundsivån medan däremot medelvärdet för den halvflyktiga fasen (~100 µg/km) ligger i nivå med motsvarande värden från en modern dieselbuss utan katalysator körd på MK 1 - diesel.

MTC kan ej förklara varför emissionerna innehåller PAC-föreningar i den halvflyktiga fasen i nivå med MK 1 - diesel, eventuellt kan detta bero på att avgaserna innehåller smörjolja.

Smörjoljan kan häröra dels från motorn men också från kompressorstationen som komprimerar och levererar naturgasen till bussarna. MTC anger i rapporten att mätningen av gasförbrukningen ej kunnat utföras p.g.a. att gasmätaren nedsmutsats med olja från gasen. Kompressorstationen i Kville i Göteborg har ej ett väl fungerande oljesepareringsystem och detta kan vara orsaken till smörjoljeresterna i avgaserna.

Biologiska test

Två olika biologiska test utfördes, Ames' test och TCDD-receptorbindningstest. De biologiska testen är indikatortester, som visar om det finns anledning att tro att icke önskad biologisk aktivitet finns i avgaserna. Eftersom liten biologisk aktivitet förväntades på grund av de låga halterna av polycykliska aromatiska kolväten slogs de tre provextrakten ihop. Det finns därför inget spridningsmått på analyserna.

Ames´ test utförs med avgasextrakt på särskilt framodlade stammar av bakterien *Salmonella typhimurium*. Dessa stammar är bredspecifika, dvs de svarar med mutationer efter påverkan av många av de polycykliska aromatiska kolväten, som finns i fordonsavgaser. Enheten är reverteranter (återmutanter) per meter körsträcka.

Resultaten av Ames´ test visade en mycket låg mutagen aktivitet i avgasproven.

Resultatet av TCDD-receptorbindningstesten indikerar mycket låg TCDD-aktivitet i partikelfasen medan däremot aktiviteten i den halvflyktiga fasen var högre och i nivå med prover från bussar körda med dieselolja miljöklass 1. Eventuellt är det rester från smörjolja som ger utslag även i denna provning.

3.1.3.2 *Provningar utförda på tre naturgaslastbilar inom LB50-projektet, Volvo FL 10*

Inom det sk LB 50-projektet, som syftar till att introducera 30 naturgas- och 20 biogasdrivna lastbilar på den svenska marknaden, genomförs omfattande uppföljning av såväl reglerade som oreglerade emissioner. Proven utförs på chassiedynamometer vid Svensk Bilprovnings anläggning i Jordbro, biologiska test utförs av Stockholms Universitet. Den första provomgången genomfördes i januari 1996, uppföljande redovisning kommer där-
efter att ske i april 1997 samt april 1998.

Vid tidpunkten för denna rapport utgivande föreligger ej slutgiltigt utvärderade resultat från Svensk Bilprovning, Motortestcenter avseende mätning av reglerade emissioner dels i den simulerade ECE R49-cykeln och dels i Braunschweigcykeln. Resultaten har bearbetats av Karl-Erik Egebäck, Autoemission och presenteras nedan:

Tabell 3.6 *Resultat från simulerat ECE R49-prov, medelvärde av 2 prov per fordon*

	CO g/kWh	HC g/kWh	NO _x g/kWh	Part. g/kWh	Bränsleförbr, ber, g/kWh
Fordon 1	0,02	1,49	1,52	0,01	227
Fordon 2	0,15	0,61	2,02	0,005	227
Fordon 3	0,01	0,87	1,44	0,005	225
MV	0,06	0,99	1,66	0,007	

Tabell 3.7 *Resultat från prov enligt Braunschweigcykeln, medelvärde av 3 prov per fordon*

	CO g/km	HC,D g/km	HC,M g/km	Metan g/km	NO _x g/km	Partiklar g/km	CO ₂ g/km	Bränsle,ber g/km
Fordon 1	0,18	1,32	1,43	1,39	4,46	0,01	1121	455
Fordon 2	3,00	2,27	2,47	2,60	5,42	0,01	1143	460
Fordon 3	0,39	2,51	2,73	3,14	3,49	0,01	1153	484

Kolumnen HC,D anger totalolväteutsläppen mätta och beräknade som vid mätning på diesel-drivna fordon.

Kolumnen HC,M anger totalolväteutsläppen mätta som dieseldrivna fordon med beräknade med hänsyn till responsfaktorn för metan.

Kolumnen Metan anger kolvätehalten mätt och beräknat som metan. Utsläppen av kolväten domineras helt av oförbränt metan, onoggrannheten i mätningar och beräkningar gör att en entydig procentsats ej kan beräknas.

Kommentarer nedan till de olika utsläppsnivåerna, såväl reglerade som oreglerade emissioner, är hämtade ur en preliminär rapport daterad den 12 april 1996 enligt:

CO: Förväntat låga värden utom för fordon 2 särskilt vid prov enligt busscykeln. Kan bero på oförmånlig reglering av luft-bränsleförhållandet vid transienter men även vid konstant-körning.

HC: Den slutsats man kan dra är att den absolut största andelen av kolväten utgörs av metan.

NO_x: Värdena måste bedömas som godtagbara utom i fallet med fordon 2, som ligger högre vilket tyder på att justeringen av luft-bränsleförhållandet inte är optimalt, se även kommentarerna angående CO.

Eten/propen: Mycket låga värden, under detektionsgränsen för använt analysinstrument.

Butadien: Ungefär på samma nivå eller något högre än för dieseldrivna bussar, provresultaten är ej de förväntade och separat utredning av orsaken pågår.

Metanol/etanol: Mycket låga nivåer.

NO₂/NO_x: Ett relativt högt förhållande vilket troligen har att göra med den starkt oxiderande katalysatorn.

PAH: Mycket låga värden för partikelproven. För semivolatila fasen ligger värdena också lågt men som summavärde troligen inte lägre än för en dieseldriven miljöbuss. En jämförelse gentemot ett dieseldrivet fordon är dock ej riktig då PAH-profilen för gasfordon skiljer sig påtagligt från PAH-profilen från dieseldrivna fordon.

Nitro-PAH: Mycket låga värden.

Mutagenisitet: Låga nivåer både vid test av partikelfas och semivolatil fas. Värdena ligger i nivå med dieseldrivna miljöbussar och provmetodens tillämplighet utreds för närvarande i samarbete med Stockholms Universitet.

TCDD receptor affinitet: Se kommentarer avseende mutagenisitet.

3.1.4 Emissioner från eftermarknadskonverterade fordon

3.1.4.1 *Provningar utförda på en biogasdriven buss från Linköping Trafik AB, typ Scania DS 1126 CO1*

Svensk Bilprovning, Motortestcenter, MTC, [ref. 20] har redovisat resultat från genomförda provningar med en biogasdriven Scania-buss från Linköping. Bussen har konverterats till gasdrift av Marintek i Norge.

Provresultaten kan inte anses representativa för vad som kan åstadkommas med en gasdriven buss i dag. Bl a noteras i rapporten att

- Bussen är konverterad av en konverteringsfirma. Fordonsleverantören har ej medverkat.
- Konverteringen brister bl a vad gäller styrning av luft/bränsleflödena till motorn. Vid provningarna finns en representant från Marintek närvarande för att justera dessa.
- Enligt utredningen var driften av bussen instabil under provningarna.
- Biogasens sammansättning var ej känd och provningarna utfördes enligt utredningen med olika sammansättningar av biogasen.

- Utredningen anmärker på att bussens oxidationskatalysator inte har möjlighet att oxidera metan då denna var utvecklad för dieseldrift.
- Bränslemätningen fungerade ej tillfredsställande under mätningarna.

Sammanfattningsvis kan konstateras att med ovanstående osäkerhetsfaktorer kan provresultaten inte anses representativa vad avser reglerade emissioner.

Vad gäller oreglerade emissioner så uppvisar dessa förhållandevis bra provresultat trots de kvalitativa bristerna på fordonet.

Provning av reglerade emissioner

Provning i motorbänk vid Marintek gav generellt låga utsläpp av reglerade emissioner, se kapitel 3.1.2. Motsvarande provningar i s k 13-mode cykeln vid MTC [ref. 21], som simulerar ECE R49-provning på chassiedynamometer, gav ej lika bra resultat bla beroende på de förhållanden som redovisats ovan.

MTC utförde två provningar med samma fordon vilket gav följande emissionsnivåer:

Tabell 3.8 Resultat från 13-mode prov [g/kWh]

	CO g/kWh	HC g/kWh	NO _x g/kWh	Part. g/kWh	Bränsleförbr. ber, g/kWh
Prov 1	0,00	1,42	3,77	-	275
Prov 2	0,00	1,56	5,11	0,005	276

Koloxidutsläppet vid konstantbelastning låg på bakgrunds-nivån. Kolväteutsläppet var högt vilket bla indikerar dålig katalysatorfunktion.

NO_x-utsläppen vid de två proverna skiljer sig anmärkningsvärt från varandra. En förklaring kan enligt rapporten ligga i att gasen haft olika sammansättning vid de två proven, andra förklaringar kan vara den instabilitet som bussen visade vid provningarna eller de oklarheter i samband med provtagningarna som gör att man kan misstänka att fel begåtts.

Såsom tidigare nämnts finns det idag ingen normerad europeisk körcykel för tunga fordon på chassiedynamometer. För att simulera det transienta körmönstret för en buss i stadstrafik använder därför MTC den sk Braunschweig-cykeln. Då denna inte är helt normerad kan den inte användas för att entydigt jämföra provresultat erhållna från olika fordon eller bränslen men den ger en tillräckligt indikation på emissionsnivåerna om resultat från samma laboratorium jämförs.

Vid provning enligt Braunschweig-cykeln, redovisar MTC följande resultat.

Tabell 3.9 CO-, HC-, NO_x, CO₂ och partiklar vid provning av fordon enligt Braunschweigcykeln [g/km]

	CO g/km	HC,D g/km	HC,M g/km	NO _x g/km	CO ₂ g/km	Partiklar g/km	Bränsle, ber g/km
Medelvärde	0,17	4,27	4,66	8,14	1265	0,01	504
Standard- avvikelse	0,02	0,28	0,31	0,25	13	0,001	5

Totalkolväten är redovisade med två värden, dels som HC,D, dvs kolväten mätt och beräknat som diesel, dels som HC,M, dvs kolväten omräknade utifrån den respons mätinstrumentet har på metan.

I tabellen ser vi att CO-emissionen är låg, 2-vägs-katalysatorn har haft god verkan medan däremot HC-utsläppet ej reducerats och är ca 25 gånger större än CO-utsläppet. Katalysatorn har alltså inte brutit ner metanhalten i avgaserna vilket ger ett förhållandevis högt HC-utsläpp. Resultaten är inte förvånande då bussen är utrustad med en dieselkatalysator som ej anpassats för metangasdrift. NO_x-utsläppet är 1-2 g/km lägre än från provningar utförda med en dieselbuss, troligtvis förklaras den ringa skillnaden av att bussens mekaniska reglersystem inte förmått anpassa motorns drift på ett optimalt sätt under det transienta körförloppet. Partikelutsläppet är däremot mycket lågt, det kol som finns i partiklarna härrör troligen enbart från smörjoljan enligt författaren.

Bränsleförbrukningen mättes med en massflödesmätare, kalibrerad för att mäta en blandning av 95 % metan och 5 % koldioxid. Denna mätning fungerade inte tillfredsställande och bränsleförbrukningen fick istället beräknas.

Provning av oreglerade emissioner

Metan, eten, propan och aldehyder

För analys av metan i avgaserna togs avgasprov i särskilda taddråsar för analys. Analyserna gav resultaten 5,8, 5,4 och 4,9 g metan/km för de tre proven, vilket är högre än vid de ordinära total-HC-analyserna. Provtagningsmetoden är inte lika exakt, som totalkolvätemetoden, men den visar att det kolväteutsläpp, som fanns i avgaserna efter katalysatorn bestod av metan.

Eten och propen låg under detektionsgränsen för analysmetoden, dvs < 1 volym-ppm i provet, vilket motsvarar mindre än en 1/25-del HC-utsläppet.

Prov togs även för analys av formaldehyd och acetaldehyd. Efter proven uppmärksammades att en pump varit felkopplad under provet med följd att luft från provcellen pumpats in i provtagningsledningen före provuttaget, varför dessa prov inte är representativa.

Polycykliska aromatiska kolväten (PAH)

Analyser av polycykliska aromatiska kolväten har utförts på avgasprover tagna under busscykelproven. Uppdelningen i partikelfas och semivolatil, halvflyktig, fas är provtagnings teknisk. Partiklarna samplas på ett glasfiberfilter, belagt med teflon, och en polyuretanskumplugg fångar upp den halvflyktiga PAH, som passerat filtret. Extrakt från dessa prov delas för PAH-analys och biologiska test.

Partikelfasen visade mycket låga PAH-halter. I halvflyktiga fasen var nivån som i avgaser från en buss körd på MK2-dieselolja, enligt författaren beror detta troligtvis på smörjoljerester i avgaserna.

Biologiska test

Två olika biologiska test utfördes, Ames' test och TCDD-receptorbindningstest. De biologiska testen är indikatorer, som visar om det finns anledning att tro att icke önskad biologisk aktivitet finns i avgaserna. Eftersom liten biologisk aktivitet förväntades på grund av de låga halterna av polycykliska aromatiska kolväten slogs de tre provextrakten ihop. Det finns därför inget spridningsmått på analyserna.

Ames' test utförs med avgasextrakt på särskilt framodlade stammar av bakterien *Salmonella typhimurium*. Dessa stammar är bredspecifika, dvs de svarar med mutationer efter påverkan av många av de polycykliska aromatiska kolväten, som finns i fordonsavgaser. Enheten är revertanter (återmutanter) per meter körsträcka.

Resultaten av Ames' test visar att ingen mutagenaktivitet fanns i avgasproven, varken i partiklarna eller den semivolatila fasen.

Resultatet av TCDD-receptorbindningstesten var för partiklarna ett IC₅₀-värde på 501 mg/ml för den semivolatila fasen (PUB) 540 mg/ml, vilket är en lägre aktivitet än vad som uppmätts på prover från buss, körd med dieselolja av miljöklass 1.

3.1.5 Bulleremissioner

Motorbullret från ett gasdrivet fordon är lägre än motsvarande dieseldrivna fordon, förutsatt att motorerna ljudisolerats på samma sätt. Den lägre ljudnivån kan förklaras bl.a. av skillnaden i kompressionstryck mellan Diesel- och Ottocykeln, dieselnns höga kompressionstryck ger fullt naturligt ett högre förbränningsljud. Motorbullret har relevans då fordonet accelererar eller då fordonets hastighet understiger 40-50 km/h, över denna nivå domineras ljudbilden av andra ljudkällor och då framförallt från däcken.

Tyvärr är de ljudmättnormer som tillämpas ej utvecklade för att mäta bullernivåerna vid tex stadsbusstrafik utan dessa koncentreras istället på buller från genomfartstrafik av lastbilar. Antalet ljudmätningar som genomförts på stadsbusstrafik är därför mycket fåtaliga och egentliga jämförelser är därför svåra att göra. Vid en enkel ljudmätning på stadsbusstrafiken i Malmö [ref. 22] konstaterades ljudnivåskillnader på upp till 4 dBA, i efterhand har det dock riktats kritik mot mätningarna då naturgasbussarnas lägre bullernivå inte kom fram på ett riktigt sätt i studien.

Vid samtal med busschaufförer och passagerare förs däremot ofta de gasdrivna bussarnas lägre bullernivå och mindre vibrationer fram som den mest påtagliga skillnaden i den dagliga driften jämfört med en dieselbuss.

3.2 Lätta fordon

3.2.1 Reglerade emissioner från originaltillverkade fordon

Nedan angivna emissionsvärden har erhållits från fordonstillverkarna.

Emissionsvärden är typvärden rapporterade från fordonstillverkarna.

Emissionsvärdena är i huvudsak hämtade från broschyrmaterial. Endast fordon som är kommersiellt tillgängliga medtas i sammanställningen.

Tabell 3.10 Emissioner från personbilar enligt FTP-cykeln [g/km]

	NO _x	CO	NMHC (NMOG)	HC	Part	CO ₂	Ref
MK I	0,25	2,1	0,078	0,25	0,05	–	
MK II	0,25	2,1	0,16	0,25	0,05	–	
ULEV	0,124	1,056	0,025	–	–	–	
Kalifornien							
Volvo 940							23
Bensin	0,052	1,61	0,101	0,12	–	281	
Naturgas	0,043	0,317	0,021	0,066	–	225	
Volvo 850							24
Bensin	0,16	0,8	0,10	–	–	263	
Naturgas	0,06	0,3	0,02	–	–	210	
Chrysler							25
Ram Van, g	0,23	1,2	0,02				
Ram Van, b	0,35	3,6	0,24				
Dodge Ram, g	0,11	0,9	0,03				
Dodge Ram, b	0,36	2,58	0,18				
Mini Van, g	0,06	0,40	0,006				
Mini Van, b	0,25	0,65	0,131				

NMOG (Non Methane Organic Compounds) eller sk reaktiva kolväten inkluderar även tex formaldehyd och acetaldehyd samt andra kol-väte-syre föreningar.

ULEV (Ultra Low Emission Vehicle) är i dag de hårdast angivna kraven i världen på personbilar, som ej är eldrivna. Kraven är formulerade och antagna av de kaliforniska myndigheterna att gälla för 2% av nybilsförsäljningen från och med 1997. Andelen av nybilsförsäljningen som måste uppfylla ULEV kommer successivt att öka för att år 2003 uppgå till 15%.

ULEV-kraven motsvarar ungefär halverade gränsvärden enligt den svenska miljöklass I-normen, dock saknas hållbarhetskraven. Resultaten visar att såväl Volvos 940-modell som 850-modell i gasdrift har möjlighet att kvalificera sig som ULEV i Kalifornien.

Samtliga redovisade provningar är utförda med naturgas, Volvo har även utfört provningar med biogas. Provresultaten är likvärdiga men en lägre halt av reaktiva kolväten har noterats troligtvis beroende på av biogas enbart innehåller metan och koldioxid [ref. 26].

Volvo har beslutat att inte fortsätta marknads lanseringen av 940-modellen i naturgasutförande utan förbereder i stället i en marknadsintroduktion av 850-modellen, de första leveranserna har skett under våren 1996.

Volvo har inför denna leverans certifierat fordonen enligt den europeiska kör-cykeln för personbilar, nedan redovisas uppnådda emissioner och jämförelse görs såväl med bensin- och dieselversionerna av 850-modellen.

Tabell 3.11 Emissioner från personbilar enligt ECE-cykeln [g/km]

	HC+NO _x g/km	CO g/km	CO ₂ g/km
Volvo 850			
Naturgas	0,19	0,14	207
Bensin	0,23	0,82	265
Diesel	0,70	0,57	~190

I tabellen ovan slås totalcolväten inklusive metan och kväveoxider samman i en gemensam grupp. Naturgasens miljö- och hälsofördel avseende tex utsläpp av försurande och ozonbildande, såväl som för människan irriterande, kväveoxider samt reaktiva kolväten framgår ej av tabellen. Jfr föregående tabell där kolväten presenteras exkl. metan.

3.2.2 Reglerade och oreglerade emissioner från eftermarknads-konverterade fordon

3.2.2.1 Reglerade och oreglerade avgasemissioner från lätta bensin-, diesel-, motorgas- och naturgasdrivna fordon

I en studie från TNO [ref. 27] har ett tiotal personbilar och lätta lastbilar emissionstestats. Bilarna var av s k "dual fuel"-typ (bensin/LPG) och i vissa fall "triple fuel"-typ (bensin/LPG/CNG) och försedda med modern och i vissa fall avancerad teknik.

I testen ingick 5 st dieseldrivna och 5 st bensindrivna fordon. Gasdriften erhöles genom en s k eftermarknadskonvertering av de bensindrivna fordonen. Totalt erhöles 17 olika kombinationer av fordon/bränsle; 5 diesel, 5 bensin, 5 LPG (Liquified petroleum gas = motorgas) och 2 CNG (Compressed Natural Gas). Bedömningsunderlaget blir med antalet fordon inte likvärdigt, CNG-fordonen representeras endast av två fordon vilket gör att eventuella fel på något av fordonen får stor genomslagskraft. Bland konstaterades hög oljeförbrukning på ett av CNG-fordonen vilket gav höga genomsnittliga partikelutsläpp.

Studien genomfördes bl a för att undersöka om gasdrivna fordon fortfarande har lägre emissioner än bensin- och dieseldrivna trots att tekniken och därmed också emissionsvärdena för de senare väsentligt förbättrats de senaste åren.

Mätningarna genomfördes under 5 olika körcykler. Den reglerande europeiska körcykeln (UDC + EUDC), både med kallstart och varmstart, samt den reglerade US-FTP. TNO har själva definierat 2 egna körcykler, dels en som är representativ för holländsk stadstrafik, dels en som skall representera rusningstrafik. Speciell vikt lades i utredningen på att karaktärisera de olika bränslenas utsläpp av icke reglerade ämnen.

Mätningarna genererade nära 10.000 individuella mätresultat och utredarna sökte olika vägar för att sammanväga de olika mätresultaten för att möjliggöra en presentation av arbetet. Översiktligt sammanställdes genomsnittliga data för respektive bränsle bl a genom att vikta de olika körcyklerna. Vidare grupperades emissionerna utifrån sin respektive miljöpåverkan enligt följande:

Lokala toxiska effekter

Under denna rubrik samlades emissioner av CO, NO₂, partiklar och aldehyder såsom formaldehyd, acrolen och acetaldehyd.

Då den direkt hälsofarliga påverkan är relevant ur lokal synpunkt har resultaten presenterats och bedömts per körcykel. Att medelvärdesberäkna de olika körcyklerna anser utredarna ger ett felaktigt resultat, speciellt då höga emissionstoppar erhöles i en av körcyklerna. Följande resultat erhöles vid mätningarna:

Tabell 3.12 Lokala toxiska effekter

CO (g/km)				
	Bensin	LPG	CNG	Diesel
Stadstrafik	3,0	1,2	0,7	0,7
Euro-kall	2,0	1,0	0,4	0,7
Euro-varm	0,5	0,5	0,3	0,5
US-FTP	1,1	0,9	0,5	0,7
Rusn. trafik	4,5	7,4	0,2	2,0

Partiklar. (mg/km)				
	Bensin	LPG	CNG	Diesel
Stadstrafik	7	5	12	101
Euro-kall	11	6	11	85
Euro-varm	4	6	3	74
US-FTP	15	5	25	94
Rusn. trafik	8	10	6	157

NO ₂ (mg/km)				
	Bensin	LPG	CNG	Diesel
Stadstrafik	50	60	10	220
Euro-kall	20	20	10	200
Euro-varm	10	10	10	170
US-FTP	10	20	10	210
Rusn. trafik	30	30	10	490

Formaldehyd + Acrolen + Acetaldehyd (mg/km)				
	Bensin	LPG	CNG	Diesel
Stadstrafik	3,9	2,4	1,2	30
Euro-kall	4,4	3,6	0,9	33
Euro-varm	2,3	0,4	0,1	22
US-FTP	3,9	2,4	0,4	32
Rusn. trafik	5,4	6,3	0,2	96

Tabellen ovan redovisar direkt toxiska effekter av emissionerna uppdelat på respektive kör-cykel. Diesel visar höga emissioner för NO₂, partiklar och aldehyder. Emissionerna ligger ca en 10-potens högre än motsvarande emissioner för de andra bränslena. Bensin uppvisar generellt höga värden för CO. LPG visar höga värden av CO i rusningstrafikcykeln. Detta förklaras av att motorns bränslesystem för LPG helt enkelt inte klarade att reglera tillräckligt bra vid denna körsituation. De naturgasdrivna fordonen visar bäst resultat för CO, NO₂ och aldehyder, medan LPG har lägst utsläpp av partiklar. Det förhållandevis höga utsläppen av partiklar från de naturgasdrivna fordonen berodde bl a på att ett av de två fordonen uppvisade en högre oljeförbrukning än normalt.

Långsiktigt toxiska effekter

Dessa effekter kan bli signifikanta efter en längre tids exponering. I studien samlades alla cancerogena ämnen under denna rubrik. Grupperna definierades såsom PAH-föreningar, lägre aromater såsom bensen, toluene och xylen (fortsättningsvis kallade BTX-emissioner) samt de lägre aldehyderna.

Följande resultat erhöles:

Tabell 3.13 Långsiktigt toxiska effekter

	Bensin	LPG	CNG	Diesel
PAH (µg/km)	9	5,5	4,0	62
BTX (mg/km)	42	3	2	4
Lägre aldehyder (mg/km)	3,5	2,5	0,5	29

Resultaten visar återigen höga värden för diesel vad gäller aldehyder men även PAH-föreningar. Bensin visar högst värden för BTX-föreningar. De gasformiga bränslena ligger på en låg nivå. Speciellt notabelt är dock skillnaden mellan CNG och LPG avseende aldehyder. CNG ligger här generellt på en lägre nivå även om den lokalt toxiska effekten beaktas. Se föregående avsnitt.

Regionala och globala effekter

I denna grupp samlas alla emissioner som anses ha en regional eller global effekt. Effekterna grupperas såsom sommarsmog, vintersmog, försurning och växthuspåverkan. Uttunning av

ozonlagret faller normalt också inom denna definition men avgaser från fordon bidrar ej till en uttunning av ozonlagret.

För att uppskatta sommarsmog potentialen har den relativa reaktiviteten för de mätta avgaskomponenterna beräknats baserat på POCP-konceptet (POCP- Photochemical Ozone Creation Potential), som anses bäst beskriva europeiska förhållanden. Enheten är eten-ekvivalenter.

För vintersmog är emissioner av partiklar och SO₂ väsentliga. Med beaktande av de låga SO₂-utsläppen från trafiksektorn beslöts att enbart relatera vintersmog potentialen till partikelemissionerna. Skillnaden jämfört med redovisningen av de lokalt toxiska effekterna är att i denna sammanställning presenteras ett viktat medelvärde för samtliga körcykler.

Försurning är beräknad genom att hänsyn är tagen till försurningspotentialen för NO_x och SO₂, enheten är mmol H⁺. Emissionerna av SO₂ har ej uppmätts utan i stället beräknats baserat på energiförbrukning och bränslets svavelinnehåll.

Växthuspåverkan beräknades genom att utnyttja den s k GWP-skalan publicerad av "the Intergovernmental Panel on Climate Change". Både direkta och indirekta effekter har beräknats. Tidshorisonten har satts till 100 år.

Följande resultat erhöles

Tabell 3.14 Regionala och globala effekter

	Bensin	LPG	CNG	Diesel
Sommarsmog (etenekv. mg/km)	195	130	70	305
Vintersmog (partiklar totalt mg/km)	9	6	11	84
Försurning (mmol H ⁺ /km)	5,0	3,0	3,5	18
Växthuspåverkan (CO ₂ -ekv., g/kg)	240	210	200	235

Tabellen visar stora skillnader avseende sommarsmog-potentialen, medan vintersmog-potentialen ligger på samma nivå för bensin, LPG och CNG dock är diesel här väsentligt högre. Även då det gäller försurning visar diesel högre värden än övriga bränslen. Då det gäller växthuspåverkan kan man se en klar skillnad mellan de gasformiga bränslena och de övriga.

Sammanfattning

Utredarna har kvalitativt bedömt de olika bränslena och redovisat detta i nedanstående tabell.

Tabell 3.15 Sammanfattning av effekter

Lokala toxiska effekter	Bensin	LPG	CNG	Diesel
CO	o	o/+	++	+
NO ₂	o	o	+	--
Partiklar	o/+	+	o	-/-
Lägre aldehyder	o	o	+ /+++	-/-
Sammanfattning	o	o/+	+ /+++	-/-

Långsiktigt toxiska effekter	Bensin	LPG	CNG	Diesel
PAH	o	+	+	-
BTX	-	o	o	o
Lägre aldehyder	o	o	+	-
Sammanfattning	-/o	o/+	+	-

Regionala och globala effekter	Bensin	LPG	CNG	Diesel
Sommarsmog	-	o	+	--
Vintersmog	o	o/+	o	-
Förurning	o	o/+	o/+	-
Växthuspåverkan	-/o	o	o/+	-/o
Sammanfattning	-/o	o/+	o/+	-

Sammanfattning av effekter	Bensin	LPG	CNG	Diesel
Lokala toxiska effekter	o	o/+	+ /+++	-/-
Långsiktigt toxiska effekter	-/o	o/+	+	-
Regionala och globala effekter	-/o	o/+	o/+	-

Förklaring till symboler

- ++ mycket bättre än genomsnittet för de fyra jämförda bränslena
- + bättre än genomsnittet för de fyra jämförda bränslena
- o genomsnitt för de fyra jämförda bränslena
- sämre än genomsnittet för de fyra jämförda bränslena
- mycket sämre än genomsnittet för de fyra jämförda bränslena.

Utredningen avslutas med följande sammanfattning från utredarna.

Bensindrivna fordon

De bensindrivna fordonen visar klara kallstarteffekter med väsentligt högre emissioner. Fordonen visar också den sämsta växthuspåverkan av de fyra provade bränslena. I övrigt ligger de bensindrivna fordonen ungefär på genomsnittet förutom vad gäller BTX-emissioner och sommarsmog-potential där emissionerna är lägre än genomsnittet.

Dieseldrivna fordon

Utredarna är kritiska mot emissionerna från de provade dieseldrivna fordonen som nästan utan undantag är sämre än genomsnittet trots att en hög dieselkvalité, bla med svavel < 0,03%, användes.

Gasdrivna fordon

Utredarna är däremot positiva till motsvarande emissioner från de gasdrivna fordonen. T ex är kallstarteffekterna inte lika markerade som från bensin- och dieseldrivna fordon. Utredarna påpekar också att oljekonsumtionen från en av de CNG-drivna bilarna var högre än normalt, vilket får genomslag dels i partikelutsläppen och dels i sammanställningen av vinter- och sommarsmog-potential.

4 LIVSCYKELANALYSER

4.1 Life of Fuels

I rapporten Life of Fuels av Ecotrafic AB från 1992 redovisas totala energianvändningen, luftburna emissioner och totala miljöpåverkan, som är förenade med den fullständiga energikedjan för drivmedel dvs från primärkällan till och med slutanvändningen i fordonet.

För att underlätta jämförelse mellan de olika drivmedlen sammanställs de individuella resultaten i energiresursanvändning (fossil och förnyelsebar), växthusgasutsläpp (CO₂-ekvivalenter) respektive försurande utsläpp (NO_x-ekvivalenter).

Beräkningen av energiresursanvändningen har utförts på tre olika typfordon nämligen personbil, medeltung lastbil och stadsbuss. Resultaten redovisas i nedanstående tabell

Tabell 4.1 *Jämförelse mellan olika drivmedel avseende energiresursanvändning i olika fordon*

Drivmedel	Personbil MJ/vkm	Medeltung lastbil MJ/vkm	Stadsbuss MJ/vkm
City diesel	-	11,7	19,0
Bensin	4,1	-	-
Propan (motorgas)	3,4	12,2	19,7
Naturgas	3,5	13,1	21,1
Biogas, lusern	5,8	21,6	34,8
Metanol, naturgas	4,4	14,9	24,1
Metanol, Salix	6,7	22,4	36,2
Metanol, skogsavfall	6,5	21,7	35,0
Etanol, spannmål	-	25,3	40,9
Etanol, Salix	-	31,9	51,6
Etanol, skogsavfall	-	25,3	40,9
RME	-	15,0	24,2

Tabellen ovan visar att energiomsättningen generellt är mycket högre i det biomassebaserade systemet än i det fossilbaserade. Detta beror på den högre energiinsatsen för att producera och konvertera biomassan. Förbrukning av fossila resurser är emellertid avsevärt lägre för de biomassebaserade kedjorna, förutsatt att biomassa används för att generera processenergin och för att framställa tex konstgödning.

Naturgas och motorgas ger ett lägre energiutnyttjande än bensin vid personbilsdrift medan däremot resursutnyttjandet blir något högre än diesel vid användning i tunga fordon. Det sistnämnda beror på att verkningsgraden för en dieselmotor är något högre än en motor som byggs på Ottoprocessen dvs den typ av motor som används för gasdrift, men även för bensindrif i tex personbilar.

Bidraget till emissionerna av växthusgaser är från biokedjorna mindre än hälften av det från fossilolja-kedjorna, vilket redovisas i tabell 4.2. Tabellen innehåller också en sammanställning av försurningspotentialen, som domineras av kväveoxidemissioner. Diesel- och växtolja visar de högsta värdena, medan lägst värden erhålls då katalytisk NOx-reduktion av avgaserna kan utnyttjas. Biokedjorna ger ganska höga bidrag till NOx-utsläpp vid produktions- och konverteringsstegen.

Tabell 4.2 Växthuseffekter och försurningspotential från olika drivmedel avseende stadsbussdrift, biobaserade växthusutsläpp är ej medtagna

Drivmedel	Växthusgaser CO ₂ -ekvivalenter g/MJ bränsle	Försurande gaser NO ₂ -ekvivalenter mg/MJ bränsle
City diesel	96	950-1180
Propan (motorgas)	75	380
Naturgas	74	330
Biogas, lusern	27	450
Metanol, naturgas	89	680
Metanol, Salix	19	600
Metanol, skogsavfall	19	580
Etanol, spannmål	40-42	830-1100
Etanol, Salix	30-32	840-1110
Etanol, skogsavfall	21-23	750-980
RME	32-33	1050-1300

De gasformiga drivmedlen i ovanstående tabell ger ett lägre utsläpp av växthusgaser än dieselolja och avsevärt lägre utsläpp av försurande ämnen. Även jämfört med biobaserade drivmedel ger motorgas och naturgas betydligt lägre försurande utsläpp medan däremot utsläppen av växthusgaser, såsom de definieras, är högre

4.2 Jämförande litteraturstudie av producerade rapporter kring livscykelanalyser av drivmedel

Inom Alternativbränsleutredningens ram har Magnus Blinge, CTH sammanställt en litteraturstudie där ett större antal livscykelanalyser jämförts. Magnus Blinge har därefter jämkat samman de olika resultaten till en tabell enligt nedan. Blinge har vid sammanjämkningen i huvudsak utnyttjat Life of Fuel samt en studie utförd av DeLuchi, som utgångspunkt då dessa anses mest relevanta.

Noterbart är att båda studierna är utförda 1992 och att vissa data ej är relevanta med dagens måttmätt. Därav diskuteras för närvarande att inom Alternativbränsleutredningens ram att utföra en

kompletterande analys där data bla från mer moderna fordon presenteras. Blinge har dock i det distribuerade konceptet till rapporten daterat 960317 valt att presentera värden för diesel hämtade från en studie utförd av Celsius 1994. I denna studie har nyare dieselmotorteknik använts som utgångspunkt vilket gör att jämförelser med äldre teknik för alternativa motorer ej blir relevant. Nedanstående tabell är hämtad från detta första koncept av analysen daterat 960317.

Tabell 4.3 *Rekommenderade utsläppsnivåer ur ett livcykelperspektiv enligt Blinge.*

Enheter per fordon-skilometer	Energi MJ	CO ₂ g	SO _x mg	NO _x mg	CO mg	HC mg	CH ₄ mg
Personbil:							
Bensin	4	250	110	600	6000	1000	200
LPG	3,60	270	92	770	1700	720	170
Metanol (NG)	4,5	240	60	900	6000	300	430
Metanol (Bio)	6,7 0,5*	43	12	800	6200	280	21
MTBE/ETBE	2,9	200	-	450	1800	800	-
Lastbil: (Diesel)	17	1200	300	11000	600	1000	100
LPG	21	1300	490	5800	2700	1300	900
CNG	21,1	1150	-	6000	3000	390	6500
Metanol (NG)	24	1300	310	10500	2400	1000	2300
Metanol (Bio)	36 3,0*	230	66	10200	2600	1000	50
Etanol (Vete)	40,8 4,0*	530	380	15400	5100	2100	-
Etanol (Trä)	51,0 3,7*	360	680	15200	6200	2800	-
Biogas	34,8 0,2*	130	-	7700	3600	600	14500
RME	25,0 6,9*	430	140	16000	1900	500	700

* Andel av energianvändningen som är fossil energi.

I den kommande slutrapporten från Blinge kommer data att presenteras på ett mer jämförbart sätt dvs studier från olika årtal kommer ej att jämföras såsom ovan. I nedanstående beräkning av CO₂-ekvivalenten kommer detta att beaktas.

4.3 Beräkning av CO₂-ekvivalenten

Den enligt många uppfattning viktigaste miljöfrågan är utsläppen av s k växthusgaser.

Klimatet på jorden beror bl a på sammansättningen av de gaser som finns i atmosfären. Solstrålningens förmåga att värma jorden förstärks således av att det finns gaser i atmosfären som släpper igenom solstrålningen men inte släpper ut värmeutstrålningen från jorden. Utan dessa gaser skulle jordens medeltemperatur sjunka från ca 15° C till ca -18° C.

Gaser som påverkar balansen mellan solinstrålning och värmeutstrålning kallas växthusgaser, eftersom fenomenet i princip är samma som råder i ett växthus. Växthusets glasytor släpper igenom solstrålningen men hindrar växthusvärmens att avgå till omgivningen.

Den rikligast förekommande växthusgasen är koldioxid (CO₂). Andra växthusgaser är metan (CH₄), dikväveoxid (lustgas, N₂O), ozon (O₃) och klorerade fluorcarboner (CFC, även kallade freoner). Även vattenånga i atmosfären har en växthuseffekt.

Vissa gaser bidrar indirekt till växthuseffekten såsom kolmonoxid (CO), kväveoxider (NO_x) och flyktiga organiska föreningar (VOC). Dessa ingår nämligen i processer som bildar troposfäriskt ozon. I troposfären (nedre delen av atmosfären, 10-15 km höjd) är ozon en växthusgas.

Genom mänskliga aktiviteter ökar halten av växthusgaser i atmosfären. Förbränning av fossila bränslen är den viktigaste utsläppskällan men växthusgaser släpps också ut genom:

- förbränning eller avverkning av mer skog än vad som återväxer (avverkning av tropisk regnskog är ett typiskt exempel)
- industriella utsläpp av naturfrämmande substanser
- sättet att bruka jordar
- ökad djurhållning (ökade metanutsläpp)
- ökad deponering av nedbrytbart organiskt avfall på soptippar
- naturliga källor

De olika växthusgaserna har olika stor påverkan på den från jorden återutstrålade värmen. En lustgasmolekyl har således 250 gånger större värmeabsorberande förmåga än koldioxid. De olika växthusgaserna har också olika livslängd i atmosfären. Om exempelvis en given koldioxidmolekyl finns kvar i atmosfären i 120 år finns en metanmolekyl kvar endast 10 år.

För att kunna jämföra de olika gasernas växthuseffekt har FN:s klimatorgan IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) utarbetat s k GWP-faktorer där GWP står för Global Warming Potential. GWP-faktorn anger den aktuella gasens växthuseffekt vid ett utsläpp av 1 kg jämfört med växthuseffekten vid utsläpp av 1 kg koldioxid. Eftersom livslängden för de olika gaserna är olika varierar GWP-faktorn med tiden efter utsläppet.

I nedanstående tabell anges GWP-faktorn för såväl några direkta växthusgaser som för några gaser med indirekta effekter.

Tabell 4.4 GWP-faktorer för några olika gaser

	Livslängd	GWP-faktor efter		
	år	20 år	100 år	500 år
<i>Direkta växthusgaser</i>				
Koldioxid	120	1	1	1
Metan	10	63	21	9
Dikväveoxid	150	270	290	190
CFC 11	60	4 500	3 500	1 500
CFC 12	130	7 100	7 300	4 500
<i>Gaser med indirekt växthuseffekt</i>				
Kolmonoxid		7	3	2
Kväveoxider		30	7	2
Flyktiga organiska ämnen (VOC)		31	11	6

Blinge har i det tidigare kapitlet inte angivit någon CO₂-ekvivalent. I ett livscykel perspektiv används ofta 100 år, som ett mått på om ett utsläpp ingår i det naturliga kretsloppet eller inte.

Nedan beräknas en CO₂-ekvivalent baserat på ovanstående faktorer hämtade ur kolumnen som motsvarar respektive emissions påverkan efter 100 år.

Beräkningarna är endast utförda på dieseldrivna fordon då datamängderna för dessa är angivna för samtliga alternativa fordonbränslen. I tabellen anges värden för diesel dels baserat på studien från Life of Fuels från 1992 och dels från Celsius från 1994, värdena från Life of Fuels är ur jämförelsesynpunkt den mest relevanta då fordon ur samma generation då jämförs.

Tabell 4.5 Beräkning av CO₂-ekvivalenten

Bränsle	CO ₂ g/km	NOX g/km	CO g/km	HC g/km	CH ₄ g/km	CO ₂ -ekv. g/km
Diesel, LoF 1992	1368	17	0,6	0,7	0,5	1507
(Diesel, Celsius 1994)	1158	10,3	2	1,5	0,089	1254
LPG	1300	5,8	2,7	1,3	0,9	1382
CNG	1150	6	3	0,39	6,5	1342
Metanol (NG)	1300	10,5	2,4	1	2,3	1440
Metanol (Bio)	230	10,2	2,6	1	0,05	321
Etanol (Vete)	530	15,4	5,1	2,1	0	676
Etanol (Trä)	360	15,2	6,2	2,8	0	516
Biogas	130	7,7	3,6	0,6	14,5	506
RME	430	16	1,9	0,5	0,7	568

Blinge påpekar i rapporten att rapporterade värden ej är att betrakta som en absolut sanning utan pekar på i vilken riktning som resultaten pekar. Resultaten visar tydligt skillnaden mellan de fossila och icke fossila bränslena med ett ungefärligt förhållande på mellan 2:1 och 3:1.

Den avsevärda förbättringen av diesel från 1992 till 1994 förklaras av dieselmotorutvecklingen, motsvarande sänkning av utsläppsvärdena har skett för de gasformiga bränslena likväl som för övriga alternativa bränslen. De förhållandevis höga utsläppen av metan från natur- och biogasdrivna fordon är även de av äldre datum och härrör dels från antagna utsläpp i samband med produktion och distribution och dels från konverterade äldre motorer. Det har i ett flertal studier konstaterats att utsläppen av metan från utvinning- och distribution av naturgas är ytterst marginell, åtminstone vad gäller moderna produktions- och distributionsanläggningar.

5 PRODUKTIONSVOLYM OCH PRODUKTIONS-KOSTNAD

5.1 Energigasmarknaden

Energigasmarknaden består av naturgas, gasol, stadsgas, biogas, koksugns- och hyttgas samt vätgas. Under 1994 användes följande mängder energigaser i Sverige [ref. 28]:

	TWh
Naturgas	8,7
Gasol	6,0
Stadsgas	0,4
Biogas	1,2
Koksugns- och hyttgas	6,0
Vätgas	3,0
Summa	25,3 TWh

5.2 Naturgas

Det befintliga naturgasnätet sträcker sig från Södra Skåne till Göteborg, naturgasen utvinns i den danska delen av Nordsjön och transporteras via en rörledning genom Danmark, under Öresund till Klagshamn söder om Malmö.

Användningen fördelar sig på c:a 25% för bostads- och lokalsektorn inklusive mindre industri, c:a 30% till fjärrvärme och kraftvärme och slutligen c:a 45 % till större industri.

Marknadspotentialen för ovanstående sektorer inom det befintliga systemet fram till år 2010 är bedömd till c:a 14 TWh/år. Potentialen inom transportsektorn, framförallt lokalbussar och kortare varutransporter, bedöms under samma förutsättningar vara c:a 0,8 TWh/år [ref. 29].

I ovannämnda referens har naturgaspotentialen i Mellansverige bedömts till 24,8 TWh/år exkl. transporter. Den totala marknadspotentialen för naturgas till lokalbussar och kortare varutransporter bedöms uppgå till c:a 1,6 TWh/år. De potentialer som är angivna representerar enbart två kundsegment tex saknas personbilar i bedömningen.

Det bör speciellt noteras att ovanstående angivna potentialer motsvarar vad som i ett konkurrensutsatt läge kan uppnås under den angivna tidsperioden, den totala potentialen är betydligt större och begränsas endast av transiteringskapaciteten i rörledningsnätet. Den totala potentialen för det idag i drift varande römnätet mellan Malmö och Göteborg är c:a 22 TWh, kapaciteten i nätet kan dessutom höjas med c:a 50% genom installation av kompressorer längs sträckan.

Miljöeffekterna av ökad naturgasanvändning i Mellansverige medför totalt för samtliga segment, inklusive transporter, att utsläppen av svavel minskar med över 5000 ton/år, kväveoxidutsläppen minskar med över 10 000 ton NO_x/år, koldioxidutsläppen sänks med över 1 100 000 ton/år och stoftutsläppen minskar med över 6000 ton/år. Dessutom reduceras utsläppen av tungmetaller med naturgas samt mängden restprodukter som tex behöver deponeras.

Enligt riksdagsbeslut skall naturgasintroduktionen i Sverige ske på kommersiella grunder, dvs naturgasen skall introduceras på marknaden i fri konkurrens gentemot övriga tillgängliga energislag. Detta möjliggörs genom att en marknadsmässig prissättning tillämpas. För att en kund skall välja naturgas krävs att hans totala kostnader, inräknat investering, drift och underhåll, kvalitetsförbättring mm, blir lägre jämfört med alternativa energislag. Vid leverans till kunder med mindre uttag, tex småhus, tillämpas prislistor. Denna prissättningsfilosofi tillämpas i de flesta länder som har naturgasdistribution. Ju större andel naturgas i den totala energiomsättningen i ett land desto fler kunder betalar enligt en fast prislista.

Naturgas till fordonsdrift prissätts i princip på samma sätt dvs gasens pris baseras på kundens alternativkostnad för bensin respektive diesel, med beaktande av övriga driftskostnader. Kundens ökande anläggningskostnader såsom tex högre inköpskostnader för fordonen måste betraktas såsom en miljöinvestering, som skall ställas i relation till kundens övriga kostnader för en minskad miljöpåverkan.

Ovanstående prissättning har möjliggjorts efter regeringsbeslut [ref. 30] avseende att energiskatt skall tas ut med ett reducerat belopp under åren 1995-1999. Beslutet innebär att den totala skatten på naturgas till fordonsdrift uppgår till 84,44 kr/MWh., den idag gällande då naturgas används för tex bostadsuppvärmning (1995), istället för 205,83 kr/MWh. Regeringen får i särskilda fall medge nedsättning av eller befrielse från energiskatt på bränslen som används i försöksverksamhet inom ramen för pilotprojekt som syftar till att utveckla mer miljövänliga bränslen. Regeringen har därmed ansett att naturgasdrift av fordon uppfyller dessa villkor. Om regeringen inte medgett nedsättning hade skattebelastningen blivit så stor att utvecklingsverksamheten avstannat.

5.3 Gasol

Gasol är handelsnamnet för petroleumgaserna propan och butan eller blandningar av dessa. Vid atmosfärstryck och normal temperatur är gasolen i gasform, men omvandlas till vätska genom komprimering. Detta gör det möjligt att transportera stora mängder gasol i tankbil eller järnvägsvagn.

Största delen av gasolen till den svenska marknaden kommer från Nordsjön men kan också framställas genom raffinering av råolja.

Branschen är rikstäckande med gasollager både på öst- och västkusten med de största lagermöjligheterna i Stenungsund, Göteborg, Karlshamn, Sundsvall och Piteå.

Merparten, 96%, av gasolen används i industrin och i värmeverk, övrig användning sker dels i några lokala gasolnät för bostaduppvärmning, som motorgas samt via flaskdistribution till text byggverksamhet och fritidsverksamhet.

Gasol i form av motorgas levereras dels till industrin för drift av olika typer av truckar och dels till personbilar. Motorgas till tyngre fordon levereras enbart till driften av de två miljöoptimerade bussarna i Sundsvall.

5.4 Biogas

Allmänt

Biogas är en naturlig nedbrytningsprodukt som erhålls då biologiskt nedbrytbart organiskt dvs kolinnehållande material bryts ner i syrefria miljöer. Processen fortgår spontant i ett stort antal naturliga miljöer såsom i myrar, sumpmarker, sjöbottnar och i magen på exempelvis idisslare och termiter.

Biogasprocessen användes i människans tjänst för nedbrytning av organiskt avfall av olika typ. Exempel på detta är rening av avloppsvatten, stabilisering av reningsverksslam och rötning av fast avfall som organisk fraktion ur hushållsavfall. Biogas som utvinns ur avfallsdeponier brukar benämnas deponigas.

Biogas är en blandning mellan främst metan och koldioxid samt, vid deponigasutvinning, även syre och kvävgas som sugts in i uttagssystemet från atmosfären.

Gasens energivärde varierar beroende av rötråvara och produktionssätt mellan 4,5 och 8 kWh/Nm³. Efter uppgradering för fordonsdrift till ett metaninnehåll på c:a 95 % och med resterande del som koldioxid erhålls ett värmevärde kring 9,5 kWh/ Nm³.

Nuvarande produktionsvolym

Det finns för närvarande ca 220 anläggningar i Sverige där biogas produceras. Fördelningen av dessa på olika verksamheter och uppskattad energiproduktion redovisas i tabell 1.

Tabell 5.1 Antal och energiproduktion från svenska biogasanläggningar 1995

Anläggningstyp	Antal	Energiproduktion (TWh/år)
Slamröttningsanläggningar	150	0,6
Deponigas-anläggningar	60	0,45
Spillvattenrening mm	10	0,15
Totalt	220	1,2

Behandling av reningsverksslam genom slamrötning sker för närvarande vid cirka 150 kommunala röttningsanläggningar i Sverige och energiproduktionen uppgick 1994 till ca 0,6 TWh gas. Gasen har historiskt till övervägande delen använts för intern värmeproduktion men andelen verk med anläggningar för kraftvärmeproduktion har ökat de senaste åren.

Den första anläggningen för uttag av deponigas togs i drift 1983 på Spillepengens avfallsupplag i Malmö. Från 1986 har sedan antalet anläggningar ökat kraftigt till i nuläget 60 stycken. Från de deponigas-anläggningar som var i drift 1994 producerades ca 90 miljoner /Nm³ deponigas.

Den insamlade gasen användes i de flesta fall för fjärrvärmeproduktion men intresset för kraftvärmeproduktion i gasmotorer är stort och förekommer i dag på ett 10-tal platser. Vid 3 anläggningar utnyttjas inte gasen för något ändamål utan facklas av, antingen beroende på att avståndet till lämplig gasanvändare är för långt eller att anläggningens produktionskapacitet fortfarande är under utredning.

Energiuttaget från svenska deponigasanläggningar var 1994 knappt 450 kWh varav ca 10 % omvandlades till elkraft.

Förutom system för deponigasuttag och rötning av reningsverksslam finns i Sverige ett tiotal anläggningar av övrig typ, exempelvis reningsanläggningar inom socker- och massaindustrin och anläggningar för rötning av gödsel med eller utan inblandning av andra rötråvaror som slakteriavfall. Den totala energiproduktionen från de senare anläggningstyperna bedöms till årsligen ca 0,15 TWh gas.

Utvecklingstendenser

Utbyggnaden av deponigasen i Sverige fortgår alltså och för närvarande genomförs deponigasundersökningar vid ett 30-tal kommuner. Ytterligare utbyggnad på några 10-tals platser kan bli aktuell. Den kvarvarande outnyttjade, praktiskt utvinningsbara, energimängden från deponigas i Sverige kan uppskattas till årsligen 2.400 GWh.

Biogasutvinning ur hushållsavfall sker i Sverige i huvudsak med deponigasteknik. Främst utnyttjas vertikala perforerade rör som borrar eller drivs ner i färdigupplagd deponi. Ur rören utvinns sedan deponigas med hjälp av uttagsfläkt eller kompressor. Med nyare teknik kan även deponigasuttag ske från deponier i aktiv drift. Detta sker genom utläggning av perforerade horisontella gasdräner på olika nivåer i takt med att deponin växer i höjdlid. Uttaget av gas sker här vanligtvis med samma typ av uttagssystem som användes för vertikala brunnar.

Den första reaktorbaserade fullskaleanläggningen i Sverige för rötning av hushållsavfall driftsattes i Borås i början av 1995. Kapaciteten hos denna är cirka 20.000 årston. Ytterligare en fullskaleanläggning är för närvarande under upphandling till Norrköpings kommun och intresset är stort bland kommunerna för tekniken. Försök med reaktorrötning av hushållsavfall har i pilotskala genomförts i bland annat Ludvika, Borlänge, Uppsala och Eslöv.

Utbyggnaden av anläggningar för slamrötning i Sverige är i stort sett avslutad men optimeringar och ombyggnationer som kan öka gasproduktionen förekommer. De flesta redan byggda anläggningarna besitter vanligtvis en överkapacitet som kan nyttjas för att tillföra extern rötråvara, vilket kan öka gasproduktionen. Ett intresse till att utnyttja producerad biogas för kraftvärmeproduktion eller fordonsbränsle finns i många kommuner. I sådana sammanhang kan de nämnda optimerings och produktionshöjande insatserna bli aktuella.

Utveckling av ny rötningsteknik för kommunalt slam i Sverige förekommer för närvarande i stort sett inte alls då området är "färdigutbyggt". De projekt som finns inom området har mer karaktären av optimering av befintliga rötningssystem med installation av modern värmväxlar och omblandningsteknik.

På gasanvändningssidan förekommer viss teknikutveckling av anläggningar för "alternativ" gasanvändning som exempelvis kraftvärmeproduktion eller fordonsdrift.

Ett antal aktiviteter pågår för närvarande i Sverige när det gäller biogasproduktion ur andra råvaror än reningsverksslam. Några av de planerade anläggningarna och den tänkta gasanvändningen redovisas i tabell 2.

Tabell 5.2 Planerade anläggningar för biogasproduktion

Kommun	Rötråvara	Planerad gasanvändning	Beräknad energiproduktion
Helsingborg	Slakteriavfall, fettslam	Kraftvärme	Ingen uppgift
Kil	Slakteriavfall, hushållsavfall	Värme	2,2 GWh/år
Kristianstad	Slakteriavfall, (hushållsavfall)	Kraft/värme	Ingen uppgift
Kungsör	Växtnmaterial	Värme	17 GWh/år
Linköping	Slakteriavfall, gödsel	Fordonsdrift	40 GWh/år
Norrköping	Hushållsavfall	Fordonsdrift, (kraftvärme)	14 GWh/år
Skara	Avloppsslam, slakteriavfall	Värme	Ingen uppgift
Trollhättan	Avloppsslam, fiskavfall	Värme, fordonsdrift	5,5 GWh/år
Uppsala	Slakteriavfall, matavfall mm	Fordonsdrift	8,2 GWh/år

Rötningsteknik för spillvatten har undergått en intensiv utveckling de senaste 20 åren och ett flertal " mogna " system finns på marknaden. Tekniken har fått en förhållandevis bred spridning över världen och den teknikutveckling som pågår är främst inriktad på en anpassning av de utvecklade systemen till spillvatten från industrier främst utanför livsmedelssektorn. Utbyggnaden av anläggningar i Sverige kommer troligtvis att gå långsamt även i fortsättningen på grund av att industrin har färdigutbyggda reningssystem som bygger på "konventionell" teknik. Vid ut- och ombyggnader av systemen kan dock anaerobiteknik vara ett alternativ.

Biogaspotential

Med total biogaspotential avses den teoretiskt maximala biogasmängd som kan utvinnas vid totalutrötning av definierade rötråvaror från ett visst geografiskt område och över en viss tidsperiod. Av den totala potentialen kan endast en viss del praktiskt utnyttjas av processmässiga, ekonomiska eller logistiska skäl. Denna del kan benämnas "utnyttjningsbar potential".

Den totala potentialen för biogasproduktion ur organiskt avfall och industriellt avloppsvatten bedöms till årigen ca 12 TWh gas varav ca 6 - 8 TWh kan vara möjligt att utnyttja. Av den nämnda potentialen kommer c:a 50% från kommunala rötvaror av typen hushållsavfall och reningsverksslam och resterande del kommer från industriellt spillvatten och avfall tex rester från livsmedelsindustrin, som idag används som djurfoder.

Biogas kan förutom från avfallsprodukter även produceras från för ändamålet odlad gröda. I de fall 600 000 ha av Sveriges 2,9 miljoner ha åkermark dvs c:a 20% tas i anspråk för odling av biogasråvara blir energipotentialen i storleksordningen 12 TWh gas/år. Kostnaden för rötråvaran blir dock för närvarande motsvarande 250 kr/MWh gas, vilket gör ett utnyttjande ekonomiskt mindre fördelaktigt med de nuvarande priserna på de etablerade bränslena.

Produktionskostnader

Produktionskostnader för deponigas från olika anläggningar i Sverige är i dagsläget inte sammantaget redovisade. En utredning som klarlägger förhållandena är dock under produktion i Renhållningsverksföreningens regi. När det gäller försäljningspriset för gasen finns för närvarande uppgifter på priser mellan 45 och 230 kr/MWh. Medelpriset till värmeproducerande kund kan uppskattas till mellan 110 och 120 kr/MWh.

Produktionskostnaden för biogas producerad vid kommunala slamrötningsanläggningar sätts oftast till noll eftersom gasen uppkommer som en restprodukt vid slamstabiliseringen. Det är alltså den biologiska stabiliseringen som är huvudmålet vid behandlingen. I de fall gasen försäljs till annan part används oftast alternativprissättning, dvs priset sätts i förhållande till priset på det bränsle som ersätts.

Kostnaden för produktion av biogas från gröda uppgår, beroende på anläggningsstorlek, till i storleksordningen 350 - 500 kr/MWh, varav kostnaden för grödan uppgår till ca 250 kr/MWh. Priset för grödan är mycket beroende av vilka trädesregler och subventioner som kan komma från staten. Med en värdering av exempelvis fördelen med "öppna landskap" och gödsling med organiska gödselmedel kan kostnaden för gröda för biogasproduktion komma att sänkas.

Kostnaden för uppgradering av biogas till fordonskvalitet är beroende av ett antal faktorer som tex rågasflödets storlek, renhetskraven på produktgasen, mängd och typ av icke önskvärda gaser i rågasen, finansiella kostnader, utnyttjandegraden och använd reningsteknik. Beroende av de nämnda faktorerna uppgår reningskostnaden till mellan 50 och 150 kr/MWh.

Kostnader för komprimering - och tankningsanläggningar är också beroende av ovannämnda faktorer i mer eller mindre omfattning och uppgår till i storleksordningen 70 - 110 kr/MWh.

Sammantaget blir därmed kostnaden för uppgradering, komprimering och tankning av biogas totalt 120 - 260 kr/MWh.

REFERENSER

- 1 Samtal med Lars Hansson, Motorgasteknik i Göteborg. 1995-12-05.
- 2 Volvo THG 103 KF CNG Engine, Key Performance Targets. Volvo 95-11-03.
- 3 Volvo THP 103 KF Gas Engine, Key Performance Targets. Volvo 95-11-03. LPG definierat som 55% propan och 45% butan.
- 4 Volvo THG 103 KF CNG Engine, Key Performance Targets. Volvo 95-11-03.
- 5 Kravnivå inom LB50-projektet, NUTEK 5623- 93-01619, projektnr 9301619-1.
- 6 Volvo Truck Corporation, LB 50 Emissionsresultat, Magnus Dahlgren, 1995-01-08.
- 7 Scania, brev från Rolf Paulert, 1994-01-11
- 8 Scania, telefax från Kjell Sekkenes, 1995-11-27
- 9 Oy Sisu-Auto AB, Datablad SISU SK 181 LPG VK
- 10 Iveco CNG Powered Bus and Truck for Transport Systems in the Metropolitan Area, Mr M, Cavallo; Metha-Motion, Amsterdam 1993, Conference Proceedings.
- 11 Mercedes-Benz. Linienomnibusse, O405 N/O 405 GN/O 405 NÜ, broschyr material
- 12 Samtal med Magnus Dahlgren, Volvo Lastvagnar, 1995-11-29.
- 13 Detroit Diesel Corporation, Stan Miller, underlag erhållet vid studiebesök 1996-01-31
- 14 CARB, Executive order A-21-80, 1992-08-12.
- 15 CARB, Executive order A-289-3, 1993-03-30.
- 16 Norrköping - Linköping Trafik AB, Broschyr Bio-Methane
- 17 Motorgasdrivna bussar i Sundsvall. NUTEK R 1994:60, KFB-rapport 1995:13.
- 18 Emissions from two CNG fueled buses. AB Svensk Bilprovning, Kerstin Grägg, MTC 9405 A, 95-12.
- 19 Fahrzyklus für Stadtlinien Omnibusse, utvecklad vid Universitet i Braunschweig.
- 20 Provningar med en biogasdriven buss från LITA. AB Svensk Bilprovning, Kerstin Grägg, MTC 9434, 1995/02.
- 21 Samtal med Kerstin Grägg, Svensk Bilprovning Motortestcenter, 1995-11-28.
- 22 Malmö Miljöförvaltning. Bussbullermätningar på Engelbrektskatan i Malmö, maj 1993.
- 23 Volvos naturgasfordon, Methane, Volvo AB 1995.
- 24 Technical Data Volvo 850 Bi-fuel. Konferensbidrag av Birger Agnetun, Volvo Personvagnar. Metha Motion, London 1995.
- 25 Datablad från Chrysler Corporation´s
- 26 Samtal med Birger Agnetun, Volvo Personvagnar 1995-12-01.

-
- 27 Regulated and unregulated exhaust gas components from LD vehicles on petrol, diesel, LPG and CNG. TNO Industrial Research, 26 oktober 1993
 - 28 Verksamhetsberättelse 1994 inklusive energigasöversikt. Svenska Gasföreningen.
 - 29 Naturgas och bibränsle i samverkan. ÅF-Energikonsult. 1995-06-01.
 - 30 Finansdepartementet, Fi95/2112, dossier 631. 1995-06-21.

Hans-Åke Maltesson

Gasformiga bränslen, typvärden på kemisk sammansättning

		Naturgas vol %	Propan 95 vol %	Deponigas vol %	Rötgas slamrötning vol %
Metan	CH ₄	91,14	<0,01	45	68
Etan	C ₂ H ₆	5,0	0,9		
Propan	C ₃ H ₈	1,8	97,0		
I-butan	C ₄ H ₁₀	0,35	Totalt		
N-butan	C ₄ H ₁₀	0,5	1,5		
I-pentan	C ₅ H ₁₂	0,13	Totalt		
N-pentan	C ₅ H ₁₂	0,1	0,5		
Hexan	C ₆ H ₁₄	0,08			
"Ej metan kolväte"				< 10 ppm	< 10 ppm
Koldioxid	CO ₂	0,6		35	32
Kväve	N ₂	0,3		16	0,2
Syre	O ₂			4	spår
Vätgas				spår	spår
Svavelväte				< 10 ppm	< 10 ppm

Övriga data

Undre värme- värde [kWh/Nm ³]	10,85	26,0	4,5	6,8
Densitet [kg/m ³]	0,81		1,27	1,12
Relativ densitet	0,62	1,55	0,98	0,87

96-05-23

RAPPORTFÖRTECKNING

SGC Nr	Rapportnamn	Rapport datum	Författare	Pris kr
001	Systemoptimering vad avser ledningstryck	Apr 91	Stefan Grudén TUMAB	100
002	Mikrokraftvärmeverk för växthus. Utvärdering	Apr 91	Roy Ericsson Kjessler & Mannerstråle AB	100
004	Krav på material vid kringfyllnad av PE-gasledningar	Apr 91	Jan Molin VBB VIAK	50
005	Teknikstatus och marknadsläge för gasbaserad minikraftvärme	Apr 91	Per-Arne Persson SGC	150
006	Keramisk fiberbrännare - Utvärdering av en demo-anläggning	Jan 93	R Brodin, P Carlsson Sydkraft Konsult AB	100
007	Gas-IR teknik inom industrin. Användnings- områden, översiktlig marknadsanalys	Aug 91	Thomas Ehrstedt Sydkraft Konsult AB	100
009	Läcksökning av gasledningar. Metoder och instrument	Dec 91	Charlotte Rehn Sydkraft Konsult AB	100
010	Konvertering av aluminiumsmältugnar. Förstudie	Sep 91	Ola Hall, Charlotte Rehn Sydkraft Konsult AB	100
011	Integrerad naturgasanvändning i tvätterier. Konvertering av torktumlare	Sep 91	Ola Hall Sydkraft Konsult AB	100
012	Odöranter och gasolkondensats påverkan på gasrörssystem av polyeten	Okt 91	Stefan Grudén, F. Varmedal TUMAB	100
013	Spektralfördelning och verkningsgrad för gaseldade IR-strålare	Okt 91	Michael Johansson Drifttekniska Institut. vid LTH	150
014	Modern gasteknik i galvaniseringsindustri	Nov 91	John Danelius Vattenfall Energisystem AB	100
015	Naturgasdrivna truckar	Dec 91	Åsa Marbe Sydkraft Konsult AB	100
016	Mätning av energiförbrukning och emissioner före o efter övergång till naturgas	Mar 92	Kjell Wanselius KW Energiprodukter AB	50
017	Analys och förslag till handlingsprogram för området industriell vätskevärmning	Dec 91	Rolf Christensen ÅF-Energikonsult Syd AB	100
018	Skärning med acetylen och naturgas. En jämförelse.	Apr 92	Åsa Marbe Sydkraft Konsult AB	100

96-05-23

RAPPORTFÖRTECKNING

SGC Nr	Rapportnamn	Rapport datum	Författare	Pris kr
019	Läggning av gasledning med plöjteknik vid Glostorp, Malmö. Uppföljningsprojekt	Maj 92	Fallsvik J, Haglund H m fl SGI och Malmö Energi AB	100
020	Emissionsdestruktion. Analys och förslag till handlingsprogram	Jun 92	Thomas Ehrstedt Sydkraft Konsult AB	150
021	Ny läggningsteknik för PE-ledningar. Förstudie	Jun 92	Ove Ribberström Ove Ribberström Projekt. AB	150
022	Katalog över gastekniska FUD-projekt i Sverige. Utgåva 4	Aug 92	Svenskt Gastekniskt Center	150
023	Läggning av gasledning med plöjteknik vid Lillhagen, Göteborg. Uppföljningsproj.	Aug 92	Nils Granstrand m fl Göteborg Energi AB	150
024	Stumsvetsning och elektromuffsvetsning av PE-ledningar. Kostnadsaspekter.	Aug 92	Stefan Grudén TUMAB	150
025	Papperstorkning med gas-IR. Sammanfattning av ett antal FUD-projekt	Sep 92	Per-Arne Persson Svenskt Gastekniskt Center	100
026	Koldioxidgödning i växthus med hjälp av naturgas. Handbok och tillämpn.exempel	Aug 92	Stig Arne Molén m fl	150
027	Decentraliserad användning av gas för vätskevärmning. Två praktikfall	Okt 92	Rolf Christensen ÅF-Energikonsult	150
028	Stora gasledningar av PE. Teknisk och ekonomisk studie.	Okt 92	Lars-Erik Andersson, Åke Carlsson, Sydkraft Konsult	150
029	Catalogue of Gas Techn Research and Development Projects in Sweden (På engelska)	Sep 92	Swedish Gas Technology Center	150
030	Pulsationspanna. Utvärdering av en demo-anläggning	Nov 92	Per Carlsson, Åsa Marbe Sydkraft Konsult AB	150
031	Detektion av dräneringsrör. Testmätning med magnetisk gradiometri	Nov 92	Carl-Axel Triumf Triumf Geophysics AB	100
032	Systemverkn.grad efter konvertering av vattenburen elvärme t gasvärme i småhus	Jan 93	Jonas Forsman Vattenfall Energisystem AB	150
033	Energiuppföljning av gaseldad panncentral i kvarteret Malörten, Trelleborg	Jan 93	Theodor Blom Sydkraft AB	150
034	Utvärdering av propanexponerade PEM-rör	Maj 93	Hans Leijström Studsvik AB	150

96-05-23

RAPPORTFÖRTECKNING

SGC Nr	Rapportnamn	Rapport datum	Författare	Pris kr
035	Hemmatankning av naturgasdriven personbil. Demonstrationsprojekt	Jun 93	Tove Ekeborg Vattenfall Energisystem	150
036	Gaseldade genomströmningsberedare för tappvarmvatten i småhus. Litteraturstudie	Jun 93	Jonas Forsman Vattenfall Energisystem	150
037	Verifiering av dimensioneringsmetoder för distributionsledningar. Litt studie.	Jun 93	Thomas Ehrstedt Sydkraft Konsult AB	150
038	NOx-reduktion genom reburning med naturgas. Fullskaleförsök vid SYSAV i Malmö	Aug 93	Jan Bergström Miljökonserterna	150
039	Pulserande förbränning för torkändamål	Sep 93	Sten Hermodsson Lunds Tekniska Högskola	150
040	Organisationer med koppling till gasteknisk utvecklingsverksamhet	Feb 94	Jörgen Thunell SGC	150
041	Fältsortering av fyllnadsmassor vid läggning av PE-rör med lägningsbox.	Nov 93	Göran Lustig Elektro Sandberg Kraft AB	150
042	Deponigasens påverkan på polyetenrör.	Nov 93	Thomas Ehrstedt Sydkraft Konsult AB	150
043	Gasanvändning inom plastindustrin, handlingsplan	Nov 93	Thomas Ehrstedt Sydkraft Konsult AB	150
044	PA 11 som material ledningar för gasdistribution.	Dec 93	Thomas Ehrstedt Sydkraft Konsult AB	150
045	Metoder att höja verkningsgraden vid avgaskondensering	Dec 93	Kjell Wanselius KW Energiprodukter AB	150
046	Gasanvändning i målerier	Dec 93	Charlotte Rehn et al Sydkraft Konsult AB	150
047	Rekuperativ aluminiumsmältugn. Utvärdering av degelugn på Värnamo Pressgjuteri.	Okt 93	Ola Hall Sydkraft Konsult AB	150
048	Konvertering av dieseldrivna reservkraftverk till gasdrift och kraftvärmeprod	Jan 94	Gunnar Sandström Sydkraft Konsult AB	150
049	Utvecklad teknik för gasinstallationer i småhus	Feb 94	P Kastensson, S Ivarsson Sydgas AB	150
050	Korrosion i flexibla rostfria insatsrör (Finns även i engelsk upplaga)	Dec 93	Ulf Nilsson m fl LTH	150

96-05-23

RAPPORTFÖRTECKNING

SGC Nr	Rapportnamn	Rapport datum	Författare	Pris kr
051	Nordiska Degelugnsprojektet. Pilot- och fältförsök med gasanvändning.	Nov 93	Eva-Maria Svensson Glafo	150
052	Nordic Gas Technology R&D Workshop. April 20, 1994. Proceedings.(På engelska)	Jun 94	Jörgen Thunell, Editor Swedish Gas Center	150
053	Tryckhöjande utrustning för gas vid metallbearbetning -- En förstudie av GT-PAK	Apr 94	Mårten Wärnö MGT Teknik AB	150
054	NOx-reduktion genom injicering av naturgas i kombination med ureainsprutning	Sep 94	Bent Karll, DGC P Å Gustafsson, Miljökons.	100
055	Trevägs-katalysatorer för stationära gasmotorer.	Okt 94	Torbjörn Karlelid m fl Sydkraft Konsult AB	150
056	Utvärdering av en industriell gaseldad IR-strålare	Nov 94	Johansson, M m fl Lunds Tekniska Högskola	150
057	Läckagedetekteringssystem i storskaliga gasinstallationer	Dec 94	Fredrik A Silversand	150
058	Demonstration av låg-NOx-brännare i växthus	Feb 95	B Karll, B T Nielsen Dansk Gasteknisk Center	150
059	Marknadspotential naturgaseldade industriella IR-strålare	Apr 95	Rolf Christensen Enerkon RC	150
060	Rekommendationer vid val av flexibla insatsrör av rostfritt i villaskorstenar	Maj 95	L Hedeén, G Björklund Sydgas AB	50
061	Polyamidrör för distribution av gasol i gasfas. Kunskapssammanställning	Jul 95	Tomas Tränkner Studsvik Material AB	150
062	PE-rörs tålighet mot yttre påverkan. Sammanställning av utförda praktiska försök	Aug 95	Tomas Tränkner Studsvik Material AB	150
063	Naturgas på hjul. Förutsättningar för en storskalig satsning på NGV i Sverige	Aug 95	Naturgasbolagens NGV- grupp	150
064	Energieffektivisering av större gaseldade pannanläggningar. Handbok	Aug 95	Lars Frederiksen Dansk Gasteknisk Center	200
065	Förbättra miljön med gasdrivna fordon	Aug 95	Göteborgs Energi m fl	150
066	Konvertering av oljeeldade panncentraler till naturgas. Handbok.	Nov 95	Bo Cederholm Sydkraft Konsult AB	150

96-05-23

RAPPORTFÖRTECKNING

SGC Nr	Rapportnamn	Rapport datum	Författare	Pris kr
067	Natargasmodellen. Manual för SMHI:s program för beräkn av skorstenshöjder	Dec 95	Tingnert B, SKKB Thunell J, SGC	150
068	Energigas och oxyfuelteknik	Dec 95	Ingemar Gunnarsson Energi-Analys AB	150
069	CO ₂ -gödning med avgaser från gasmotor med katalysator	Dec 95	Bent Karll Dansk Gasteknisk Center	150
070	Utvärdering av naturgasförbränning i porösa bäddar	Mar 96	Henric Larsson Lunds Tekniska Högskola	150
071	Utvärdering av naturgasdrivna IR-boostar i ugn för pulverlackering	Nov 95	Ole H Madsen Asger N Myken	150
072	Sammanställning av emissionsdata från naturgas-, biogas- o motorgasdrivna fordon	Jun 96	Hans-Åke Maltesson Svenskt Gastekniskt Center AB	150
A01	Fordonstankstation Naturgas. Parallellkoppling av 4 st Fuel Makers	Feb 95	Per Carlsson Göteborg Energi	50
A02	Uppföljning av gaseldade luftvärmare vid Arlövs Sockerraffinaderi	Jul 95	Rolf Christensen Enercon RC	50
A03	Gasanvändning för färjedrift. Förstudie (Endast för internt bruk)	Jul 95	Gunnar Sandström Sydkraft Konsult	0
A04	Bussbuller. Förslag till mätprogram	Jun 95	Ingemar Carlsson Ecotrans Teknik AB	50
A05	Värmning av vätskor med naturgas - Bakgrund till faktablad	Okt 95	Rolf Christensen Enerkon RC	50
A06	Isbildning i naturgasbussar och CNG-system (Endast för internt bruk)	Nov 95	Volvo Aero Turbines Sydgas, SGC	0
A07	Större keramisk fiberbrännare. Förstudie	Jan 96	Per Carlsson Sydkraft Konsult	50
A08	Minskande av utsläpp vid avfallsförbränning med hjälp av naturgas	Maj 96	H Palmén, M Lampinen et al Helsingfors Tekniska Högskola	50



Svenskt Gastekniskt Center AB

S-205 09 MALMÖ
Telefon: 040-24 43 10
Telefax: 040-24 43 14

KFS AB, LUND