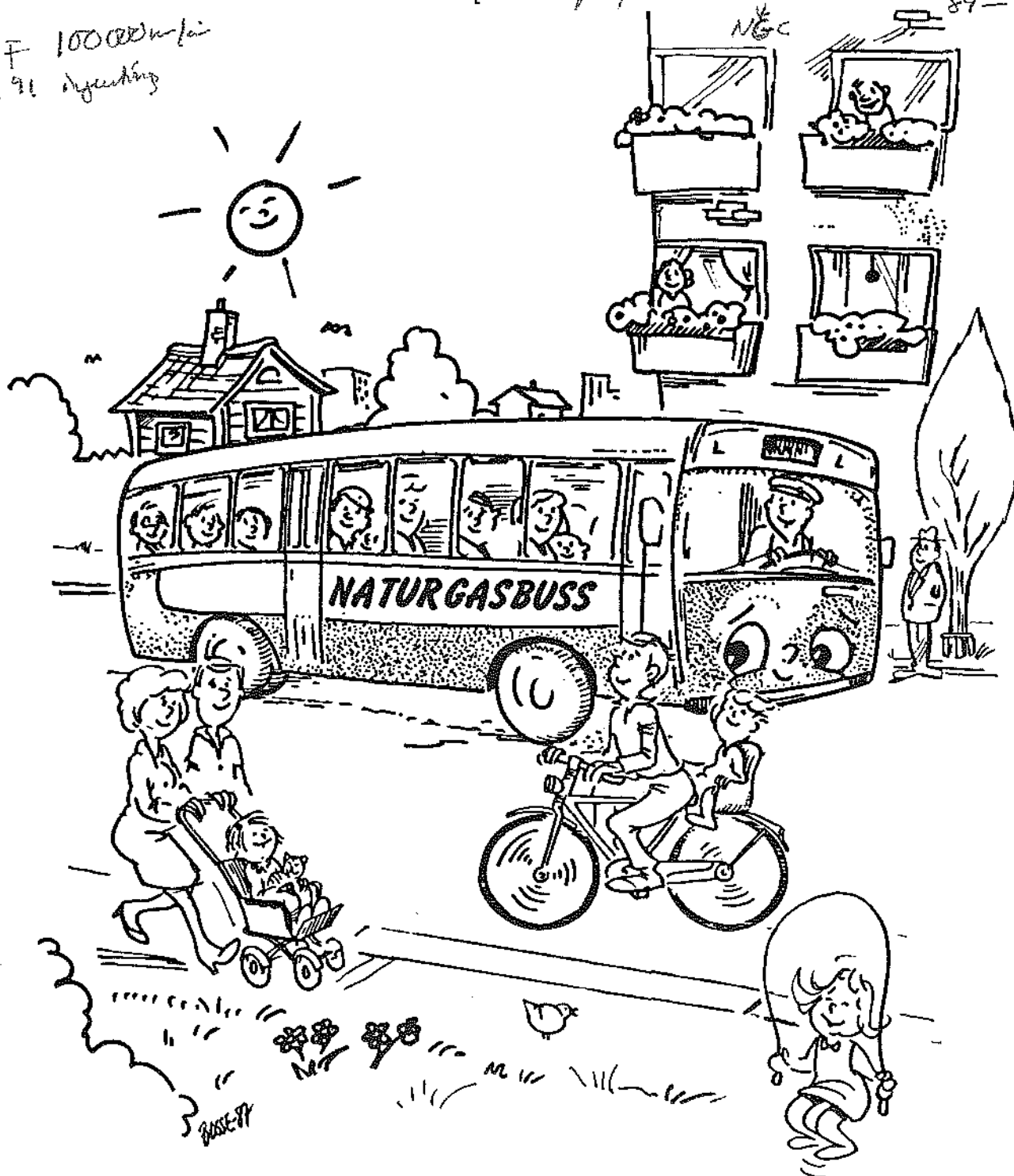


FÖRSTUDIE AV DEMONSTRATIONSPROJEKT MED NATURGAS- OCH BIOGASDRIVNA BUSSAR

1988 Björn Svensson slutade
Nils Erik Carlstedt
Nordiska Gasbussprojektet - Finansier, skivetransporter
89 - Tove

F 100 000 kr
Pr. 91 skattning



Rapportdel



TFB meddelande
NR 11



STU-information
NR 630 - 1987

Vattenfall

MAJ 1987

Författare Mats Ekelund, Göran Fermbäck, Bernt Karlsson Titel (svenska/engelska) Naturgas- och biogasdrivna bussar - förstudie av demonstrationsprojekt Sammanfattning (svenska) För att naturgas ska kunna vinna insteg som alternativt drivmedel i Sverige bör man vara förvissad om att den i en utvecklad motor-konfiguration kan erbjuda signifikant förbättrade emissionsvärden. Förstudiens slutsats, baserat på ett antal kontakter, är att en utveckling av motorer för naturgasdrift bör kunna ge önskat resultat. Tekniska förändringar och optimeringar för att nå dessa låga emissionsvärden är troligtvis möjliga att utföra. Ett demonstrationsprojekt bör också innehålla utveckling av lättviktstanksystem samt infrastruktur i form av tankstationer även i praktiska driftprov. TFBs dnr 168/86-6012	Serie Nr TFB-meddelande 11 + sep bilagedel (ingår även i STUs publikationsserie) ISBN ISSN 0283-9105 Publiceringsdatum Juni 1987 Utgivare Transportforskningsberedningen, Svenska lokaltrafikföreningen, Styrelsen för teknisk utveckling, Vattenfall Sammanfattning (engelska) In order to give natural gas a position as an alternative fuel in Sweden it should be clear that an optimized engine configuration could meet demands for significantly seduced exhaust emissions. The report tells, after a number of contacts, that it could be worth developing engines for use of natural gas. Technical optimications and changes are supposed to be available in order to reach low emission levels. An R&D project should also include the development of a tanksystem and infrastructure such as filling stations.
---	---

TFB-rapporter försäljs genom Liber Distribution, 162 89 Stockholm.
Tel 08-739 96 00.

Övriga TFB-publikationer (TFB-meddelande, TFB-stencil, TFB-nytt m fl) beställs och erhålles direkt från Transportforskningsberedningen. Man kan dessutom abonnera på TFB-meddelande inom olika delområden samt på nyhetsbladet TFB-nytt.

Sovjet-tog nu på gas

Sovjetunionen har udviklet prototypen til et lokomotiv, der kører på naturgas. Et ombygget diesel-lokomotiv er nu klar til prøvekørsel.

Dieselmotoren er ændret med bl.a. et nyt kontrolsystem, så den kan forbrænde naturgassen uden problemer, oplyser det sovjetiske nyhedsbureau APN. Prototypen kører på en blanding af gas og dieselolie, idet olien er nød-

vendig for sikker antænding af gassen. Samme princip har HT i øvrigt anvendt i sin naturgasdrevne forsøgsbus.

Det er tanken senere at gå over til ren gasdrift, hvilket dog kræver først installation af gnisttændingssystem i dieselmotoren. Det er umuligt at antænde gassen i cylindrene ved kompressionsvarmen alene.

Lokomotivet kan ifølge en sovjetisk ekspert medbringe gas nok til to dages kørsel. Gassen lagres komprimeret i syv tryktanke. Hvis det nye lokomotiv kommer i daglig drift, skal det især ske på banestrækninger i tæt befolkede områder. Forklaringen er, at naturgas som brændstof er meget lidt forurenende.

jan

B. Bodlund for kassen

Per C

FÖRSTUDIE AV DEMONSTRATIONSPROJEKT MED NATURGAS- OCH BIOGASDRIVNA BUSSAR

SIDA

FÖRORD	1
SAMMANFATTNING	3
FÖRKORTNINGAR OCH BEGREPP	5
1. INLEDNING	6
1.1 Bakgrund	6
1.2 Målsättning	8
1.3 Målgrupp	8
1.4 Avgränsningar	8
2. MOTIV OCH FÖRUTSÄTTNINGAR FÖR DEMONSTRATIONSPROJEKT	9
2.1 Motiv	9
2.2 Krav i praktiska demonstrationsprojekt	9
2.3 Förutsättningar	9
2.4 Demonstrationsprojekt	11
3. INFRASTRUKTUR OCH ENERGITILLGÅNGAR	12
3.1 Naturgastillförsel	12
3.2 Naturgasens egenskaper	14
3.3 Tankningsanläggning	15
3.4 Säkerhet	17
3.5 Beredskapsaspekter	18
4. FORDONSTEKNIK	20
4.1 Tankar	20
4.2 Bränslesystem	21
4.3 Motorkonvertering	24
4.4 Förbrukningstal	25
4.5 Teknik för emissionsbegränsningar	26
4.6 Säkerhet	30
5. KOSTNADER FÖR STORSKALIG DRIFT	32
5.1 Förutsättningar	32
5.2 Bränslekostnader	32
5.3 Tankningsanläggning	33
5.4 Konvertering av bussar	34
5.5 Kostnadssammanställning	35
5.6 Rekommendation	36

6.	MILJÖ	37
6.1	Emissionskrav för bussar	37
6.2	Bränslets sammansättning	38
6.3	Emissionsmätning av naturgasdrivna bussar	39
6.4	Mutagena effekter	40
6.5	Miljöeffekter vid tillförsel av naturgas	41
6.6	Miljöeffekter vid tillförsel av biogas	42
7.	PROVBÄNKSKÖRNINGAR	43
7.1	Allmänt	43
7.2	Provplatser	44
7.3	Prov av tekniska alternativ	46
7.4	Kostnader	48
7.5	Rekommendationer	48
8.	DEMONSTRATIONSPROJEKT MED NATURGASDRIVNA BUSSAR	49
8.1	Allmänt	49
8.2	Plats för demonstrationsprojektet	49
8.3	Lokalisering av tankplats och depå	50
8.4	Förslag till genomförande	50
8.5	Kostnadssammanställning	51
8.6	Rekommendationer	52
9.	DEMONSTRATIONSPROJEKT MED BIOGASDRIVNA BUSSAR	53
9.1	Allmänt	53
9.2	Förädling av biogas	53
9.3	Lokalisering av förädlings- och tankningsanläggning	58
9.4	Förslag till genomförande	61
9.5	Investerings- och driftkostnader för biogas- produktionsanläggning	61
9.6	Kostnadssammanställning	62
9.7	Rekommendationer	63
10.	SVENSKA UTVECKLINGSMÖJLIGHETER AV TEKNIK FÖR BIO- OCH NATURGASDRIVNA FORDON	64
10.1	Allmänt	64
10.2	Katalysatorer	64
10.3	Blandningsutrustning	64
10.4	Lagringstankar	65
10.5	Motorutveckling för naturgas som drivmedel	65
10.6	Rationell tankningsutrustning	66
	REFERENSLISTA	67

Bilagor i separat häfte

BILAGA 1:	Budgetoffert från ORF
BILAGA 2:	Budgetoffert från TNO
BILAGA 3:	Presentationsmaterial från United Stirling

FÖRORD

Miljöfrågorna ställs alltmer i fokus då persontransporter diskuteras. Dieseldrivna bussar är en typ av fordon som ofta utsätts för hård kritik för sin, enligt många mening, negativa inverkan på luftmiljön speciellt i tätorter. Vi avser inte att här diskutera huruvida kritiken är berättigad eller ej. Det kan dock konstateras, att bussarnas andel av luftföroreningarna i begränsade områden i tätorter är ganska stor och blir proportionellt än större, då katalytisk rening av avgaser från personbilar slagit igenom med full kraft mot mitten eller slutet på 1990-talet. Det är rimligt att anta, att emissionskraven på bussar på längre sikt kommer att bli minst desamma, som man redan nu formulerat och beslutat om för lätta bensindrivna fordon. De bestämmelser beträffande emissioner från tunga fordon, där dieseldrift dominerar, som föreslagits börja gälla fr o m 1995 års modeller, är med säkerhet endast att betrakta som ett steg på vägen mot mycket strängare krav.

Mot bakgrund av denna situation bör prioriteringen av utvecklingsinsatser på drivsystem för bussar alltmer gå mot satsningar på emissionsförbättrande åtgärder. Inte minst busstrafikföretagen, som har ett hårdnande tryck på sig att vidta åtgärder mot avgaserna, pressar nu på för att utvecklingen mot ny dieselmotorteknik eller annan "miljövänligare" teknik skall gå snabbare och ske mera målmedvetet.

Det är i denna situation, som föreliggande förstudie har tillkommit. Den har utarbetats på uppdrag av en grupp intressenter bestående av bl a Transportforskningsberedningen (TFB), Styrelsen för Teknisk Utveckling (STU), Svenska Lokaltrafikföreningen (SLTF), Vattenfall, Volvo och Saab-Scania. TFB, STU och Vattenfall har svarat för kostnaderna. Förstudien är utarbetad av en projektgrupp bestående av Ragnar Thörnblom, SL (projektledare), Thomas Carlqvist, Vattenfall (projektsekreterare) samt tre konsulter, där Mats Ekelund, HB Eken, varit huvudredaktör. De övriga konsulterna har varit Göran Fermback, Theorells, och Bernt Karlsson, K-Konsult.

Förstudien kan sägas vara ett slags nulägesbeskrivning av naturgastekniken för bussdrift kombinerad med rekommendationer om bänkprouvningsförsök med motorer och demonstrationsförsök med bussar i linjetrafik, där naturgasens (biogasens) potential som miljövänligt bränsle för bussdrift skall undersökas.

Naturgas är ett av flera drivmedelsalternativ, som tros ha en god potential när det gäller möjligheter till låga emissionsnivåer för avgaser vid fordonsdrift. I ett läge, när naturgasen tycks bli ett för alla de nordiska länderna politiskt mycket intressant energialternativ, framstår det som angeläget att drivmedelstillämpningen på fordon undersöks ur alla aspekter, inte minst vad gäller miljöfrågorna.

I denna förstudie förekommer begreppet **"signifikant förbättrade emissionsvärden"**. Med detta menas en emissionsnivå, som kan sägas motsvara den, som kan uppnås med trevägskatalysator på en välutvecklad modern bensindriven personbilmotor. Begreppet har **inget samband med förslag till lagkrav** för tunga fordon i Sverige eller någon annanstans i världen. I stället menas härmed en kravnivå, som **skulle tänkas kunna bli uppställd** för bussar på mycket lång sikt och som kan vara en målsättning för utveckling av naturgasdrift för

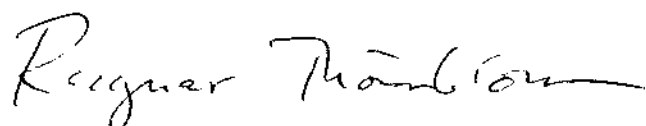
sådana fordon. Utvecklingen bör då vara stegvis upplagd så, att om potentialen hos naturgasen inte befinnes medge så låga emissioner, så skall utvecklingen avbrytas till förmån för andra alternativ, som kan vara intressantare.

I denna förstudie har ambitionen varit att avstå från spekulativa resonemang och argumenteringar i polemik med andra drivmedel eller tekniska lösningar. Sådant kan ibland förekomma i studier av olika slag, men en objektiv och saklig debatt gagnas inte därav. Förhoppningsvis skall förstudien därför inte ses som en partsinlaga från naturgasintressenter, utan istället betraktas som i första hand en "State-of-the-Art" studie med presentationer av idéer omkring fortsatt projektarbete och utveckling.

Förstudien får gärna citeras om källan anges. Vår förhoppning är att lösryckta bitar ur materialet placeras i sitt rätta sammanhang och inte används så att missförstånd uppstår.

Slutligen är det projektgruppens förhoppning att materialet i förstudien ska utgöra tillräcklig grund för fortsatta diskussioner och beslut.

Stockholm i maj 1987



Ragnar Thörnblom
Projektledare

SAMMANFATTNING

Målsättningen med denna förstudie är att undersöka huruvida man genom att genomföra demonstrationsprojekt med naturgasdrivna och biogasdrivna bussar skulle kunna påvisa att signifikant förbättrade emissioner från busstrafik kan uppnås. Dessutom är målsättningen att beskriva hur sådana demonstrationsprojekt kan utformas. Studien visar att demonstrationsprojekt kan vara meningsfulla att genomföra.

I demonstrationsprojekt med naturgas/biogas jämförs miljöeffekter i förhållande till hittills tillämpad och provad teknik. Inriktningen är att avgöra om det är meningsfullt att bedriva forskning och utveckling kring motorer, tanksystem och infrastruktur mm för bussdrift. Bakgrunden är att nu gällande eller föreslagna lagstiftning beträffande emissioner enligt miljödepartementet på lång sikt kommer att skärpas kraftigt.

Begreppet **"signifikant förbättrade emissionsvärden"**, är en nivå avsevärt lägre än vad man med dagens teknik uppnår med serieproducerade dieselmotorer. **Det bör kraftigt understrykas att målsättningen är formulerad i denna förstudie och inte refererar till lagkrav.** Värdena är så valda att kravnivån i stort kan sägas vara den samma som för bensindrivna personbilar med trevägskatalytisk avgasrening.

TNO, Delft, Holland och Ontario Research Foundation i Toronto, Kanada, bedömer dessa nivåer som möjliga att nå med Ottokonverterade naturgasdrivna tunga dieselmotorer av den typ som används i bussar.

För att minska emissionerna och nå uppställda mål kan t ex följande utrustning och teknik enskilt eller i kombination provas på en naturgasdriven motor:

- o Trevägs-katalysator
- o Lambda sond
- o Oxiderande katalysator (tvävägs-katalysator)
- o Luftöverskott
- o Laddluftkylning (intercooler), kompressor (turbo)
- o Avgasåtercirkulation
- o Blandarutrustning
- o Förändrat förbränningsrum
- o Förändring av kamaxeltider

Arbetet med denna rapport har visat att det inte går att hämta erfarenheter från projekt med höga krav på emissioner från annat håll i världen. Det är därför ett alltför stort steg att för emissionsprövning påbörja ett demonstrationsprojekt direkt med naturgasdrivna bussar i trafik.

Erfarenheter från tidigare Ottokonverterade bussmotorer visar att omfattande och metodisk komponent- och motorutveckling behövs för att uppfylla de nämnda emissionsmålen. Denna utveckling kan endast göras i ett motorlaboratorium. Utprovning av fordonstanksystem och för fordonssdrift erforderlig infrastruktur kan med fördel ske parallellt med denna motorutveckling. För sådana funktionsprov kan bussar med optimerade naturgasmotorer användas.

Då motorer, fordonstanksystem och infrastruktur har utvecklats, så att uppsatta mål har blivit uppnådda, är det lämpligt att sammanföra dessa system i demonstrationsprojekt. Först i samband med detta kan miljöeffekter i praktisk drift studeras.

I såväl Malmö som Stockholm finns ett intresse för att genomföra demonstrationsprojekt med naturgas, biogas och andra alternativa drivmedel för bussar. På båda dessa orter finns sammanlagt 6 st bussar med Ottokonverterade dieselmotorer, vilka f n används för LPG prov. Dessa skulle kunna användas för kommande demonstrationsprojekt.

Naturgas kommer troligtvis inte att finnas i Stockholm förrän en bit in på 1990-talet. Biogas kan produceras och förädlas till naturgasnivå i Henriksdals avloppsreningsverk, som därmed kan användas som gasproducent för en av SL:s större bussdepåer, Söderdepån. Denna depå, som är närbelägen, är av flera skäl lämplig för biogasdrivna bussar. Gasen i Henriksdalsverket skulle räcka till att driva 100-125 bussar.

Som slutsats av rapportens nulägesinventering och de uttalanden som gjorts av TNO och ORF ges i denna rapport rekommendationer om utveckling/prov i olika steg enligt följande:

- o Motoroptimering mot uppställda emissionsmål
- o Med motoroptimering parallell utveckling och funktionsprovning av tanksystem och infrastruktur
- o Demonstrationsprojekt med bussar i linjetrafik och med utnyttjande av resultaten från de två ovanstående punkterna. Projektomfattningen är då i mindre skala varvid miljöeffekter i verklig drift särskilt studeras.
- o Försök i stor skala omfattande en hel bussdepå med sikte på studier av såväl miljöeffekter som ekonomi, teknik och administration.

Det kan under motoroptimeringsarbetet och de inledande teknikförsöken visa sig nödvändigt att i sidoordnade eller separata projekt vidareutveckla sådana komponenter som erfordras för att nå emissionsmålen. Exempel på sådana komponenter är katalysatorer, blandningsutrustning, lagringstankar och tankningsutrustning.

Projektgruppen har en förhoppning om att förstudien utgör tillräckligt underlag för beslut om och utformning av ytterligare projekt.

FÖRKORTNINGAR OCH BEGREPP

Ames test	Se kap 6.4
Bar/mbar	Enhet för tryck
CNG	Compressed Natural Gas. Vedertagen förkortning för komprimerad naturgas
CO	Koloxid
ECE	Economic Commission for Europe
ECE R49	Mätning efter 13 mode-cykeln
EGR	Exhaust Gas Recycling, avgasåtercirkulation
EPA	Environment Protection Agency, USA:s SNV
FUD	Forskning, Utveckling, Demonstration
g/bhp	Emissionsmängd i förhållande till producerat arbete
g/kWh	Emissionsmängd i förhållande till producerat arbete
HC	Kolväteföreningar
LPG	Liquified Petroleum Gas, "motorgas" vid fordonsanvändning
ML	Malmö Lokaltrafik
Mutagenicitet	Se kap 6.4
NG	Naturgas
NGV	Natural Gas for Vehicles, Naturgas för fordon
Nm ³	Normalkubikmeter
NO _x	Kväveoxider
ORF	Ontario Research Foundation, Toronto, Kanada
Partiklar	Rökpartiklar bestående av bl a sot och svavel
R 49	Regulation no 49
R 49 modifierat	Nationella skärpningar av R 49 krav
Signifikant förbättrade emissionsvärden	Kravnivåer för emissioner, som endast formulerats i denna förstudie, se kap 2.3
SL	Storstockholms Lokaltrafik
SLTF	Svenska Lokaltrafikföreningen
SNV	Statens naturvårdsverk
SOU	Statens Offentliga Utredningar
TNO	The Netherlands Organization for Applied Scientific Research (Road-Vehicles-Research Institute, Departement of Internal Combustion Enging) Delft, Holland
Transient	Normerad emissionsprovningsmetod för att mäta avgasinnehåll. Metoden bygger på en, så långt möjligt, verklighetsanpassad körcykel. Denna metod kräver omfattande resurser.
13 mode	Normerad emissionsprovningsmetod för att mäta avgasinnehåll. Metoden bygger på förenklat körsätt.
US Fed	Federala USA bestämmelser, mätning sker efter transient-cykeln

1. INLEDNING

1.1 Bakgrund

Den första naturgasen kom till Sverige 1985. Det s k Sydgasprojektet tog då sin början. Naturgas från Danmark kom till Skåne för att i huvudsak användas som processenergi i industrin, men också som energi för uppvärmning. Det planeras en vidare utbyggnad av gasledningsnätet till Stockholm/Gävle.

För närvarande förs diskussioner med Norge, Sovjet och flera länder på den kontinentala delen av Europa om leveranser av naturgas till Sverige.

Inom landet har även sökande efter naturgas förekommit. Det mest kända är borrhningarna i Siljansringen, som delvis bygger på nya teorier om var gas kan finnas. På Östgötaslätten finns mindre fyndigheter av gas. Försök med utvinning av gas ur kolkvalitéter genom kemiska processer har förekommit.

Med början 1984 och planerad avslutning under sommaren 1987 genomför Storstockholms Lokaltrafik och Malmö Lokaltrafik försök med sammanlagt sex bussar (tre Volvo och tre Scania) på annat gasformigt bränsle, i detta fall LPG. Ett av motiven till detta försök var förväntningen om bättre emissioner vilket dock inte uppnåddes.

I augusti 1986 arrangerades en världskonferens om gasformiga bränslen för fordon, i huvudsak naturgas, i Vancouver, Kanada.

I december 1986 färdigställde Vattenfall med en FUD-rapport med rubriken "Naturgasdrivna fordon".

Transportforskningsberedningen (TFB) samlade i november 1986 intresserade parter från industri, näringsliv och myndigheter till diskussion om förutsättningar för och möjligheter till FUD-verksamhet med naturgas för fordon.

I december 1986 samlade Nordisk Ministerråds energistyrelse intressenter från Sverige, Norge, Danmark och Finland för liknande diskussioner.

I januari 1987 samlades åter den grupp, som samlats hos TFB i november 1986, för konkreta diskussioner. På mötet fattades beslut om framttagande av denna rapport.

Vad blir resultatet av denna?

Under 1987 kommer Vattenfall att genomföra en studie med rubriken "Internationell bevakning och utvärdering med avseende på teknik, ekonomi och miljö av fordonsdrift med naturgas".

Utländska studier hävdar att naturgas som drivmedel kan förbättra luftkvalitén.

Den senaste tidens händelser har skapat en allt bättre grund för diskussioner, undersökningar och även hårdvaruprov med naturgas som drivmedel för fordon. Eftersom naturgasen i dagsläget är planerad att dras till Stockholm/Gävle via Göteborg, kommer en stor del av Sveriges befolkning att kunna betjänas av naturgasen.

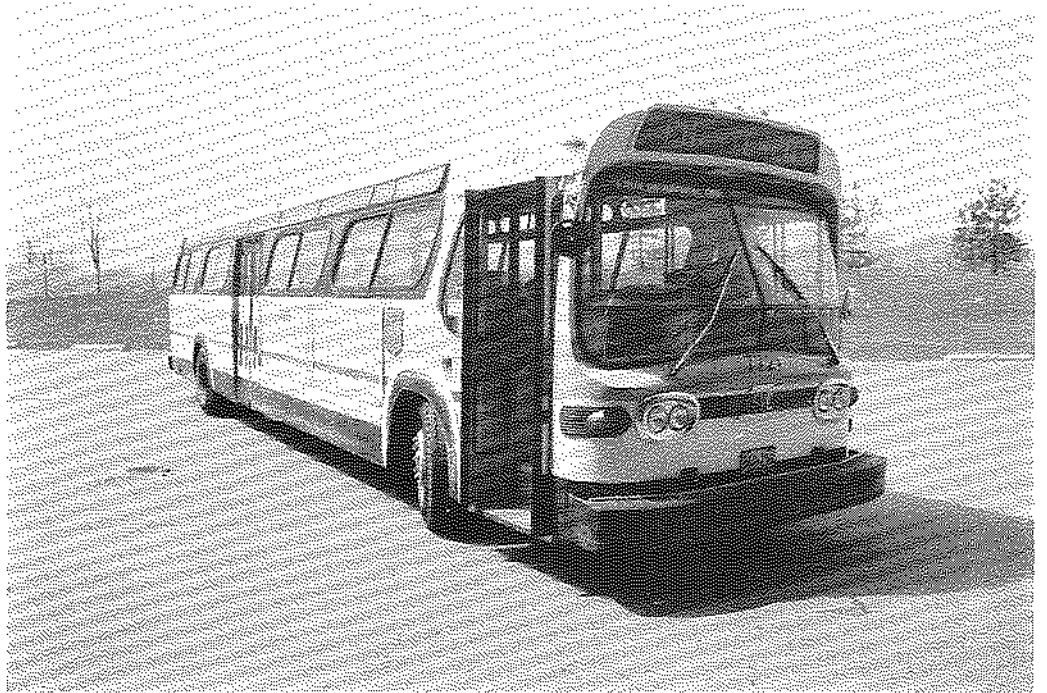


Bild 1:1 Naturgasdriven buss, Hamilton, Ontario, Kanada

1.2 Målsättning

Målsättningen med denna förstudie är att undersöka om man kan uppnå signifikant förbättrade emissioner från naturgas- och biogasdrivna bussar.

Målsättningen är också att beskriva hur demonstrationsprojekt med naturgas- och biogasdrivna bussar kan utformas. Krav, motiv och förutsättningar beskrivs i kapitel 2. **Med demonstrationsprojekt avses i denna förstudie driftförsök med bussar i linjetrafik.**

1.3 Målgrupp

Innehållet i denna förstudie vänder sig till:

- o Riks-, landstings- och kommunalpolitiker
- o Statens Naturvårdsverk och andra myndigheter
- o Svenska Lokaltrafikföreningen
- o Svenska forsknings- och utvecklingsorganisationer
- o Motor- och komponenttillverkare
- o Svenska naturgasdistributörer

1.4 Avgränsningar

I studien diskuteras möjlig teknik för busstrafik. För övrig fordonsanvändning kan denna förstudie eventuellt ge vägledning för val av teknik.

Produktionen av biogas, i den förädlade form som krävs, medger endast drift av begränsade fordonsflottor.

Naturgasen finns sommaren 1987 i Skåne och längst västkusten upp till Falkenberg. Våren 1988 kommer gasen till Göteborg och 1992-93 beräknas komma till Stockholm/Gävle.

2. MOTIV OCH FÖRUTSÄTTNINGAR FÖR DEMONSTRATIONSPROJEKT

2.1 Motiv

Motivet till att genomföra demonstrationsprojekt är att undersöka om man med användandet av naturgas/biogas kan nå en signifikant positiv miljöeffekt i förhållande till hittills tillämpad och provad teknik. Inriktningen är att prova om det är meningsfullt att bedriva forskning och utveckling kring motorer, tanksystem och infrastruktur mm för bussdrift. Bakgrunden är att nu gällande eller föreslagna lagstiftning beträffande emissioner på lång sikt med säkerhet kommer att skärpas kraftigt.

2.2 Krav i praktiska demonstrationsprojekt

I denna förstudie har följande krav uppställts på praktiska demonstrationsprojekt.

- o Signifikant förbättrade emissioner ska kunna uppnås (se kapitel 2.3). Detta bör preliminärt kunna påvisas i inledande komponentprov.
- o Rimlig ekonomi vid storskalig drift
- o Fullgod säkerhet hos tekniska systemet
- o Tryggad tillförsel av drivmedlet
- o Tillräckliga prestanda hos bussar
- o Gällande bestämmelser för fordon ska med rimliga medel kunna uppfyllas

2.3 Förutsättningar

Inför studien finns erfarenheter från prov med LPG drivna bussar i Malmö och i Stockholm. Målformuleringen för dessa prov var annorlunda jämfört med vad som formuleras i denna förstudie. Vid genomförandet av i denna rapport skisserade demonstrationsprojekt finns alltså vissa erfarenheter att bygga vidare på. Konvertering av dieselmotorer till Ottomotorer har tex redan skett. Erfarenheten från användning av gasformiga bränslen i bussar finns också, liksom erfarenhet av dessa bränslens emissioner.

En viktig lärdom av proven med LPG som bränsle är att emissions-optimering av en dieselmotor vid byte av drivmedel kräver ett omfattande utvecklingsarbete, vilket måste utföras i laboriemiljö.

Forskningen och utvecklingen kring dagens dieselmotorer syftar till att hålla jämna steg med lagstiftningen i de länder där tillverkarna har sina intressanta marknader.

För mätning av emissioner förekommer i huvudsak två skilda metoder. Dessa är 13 mode-cykeln och transient-cykeln, där den senare är en modernare, dyrare och mera verklighetsanpassad metod. Vid mätningarna registreras f n fyra viktiga emissionsbeståndsdelar (CO, HC, NO_x och partiklar).

Då emissionskrav formuleras, tillämpas fn i Europa i huvudsak 13 mode-cykeln och i Nordamerika transient-cykeln. Enskilda mätningar enligt dessa båda metoder får inte direkt jämföras med varandra pga mätmetodernas principiella skillnader.

Kravnivåer i stort kan dock jämföras i mera generella termer.

I denna förstudie används begreppet **"signifikant förbättrade emissionsvärden"**, vilka är avsevärt lägre än vad man med dagens teknik uppnår med serieproducerade dieselmotorer. **Det bör kraftigt understrykas att kravnivån är formulerad i denna förstudie och inte refererar till lagkrav.** Värdena är så valda att målen i stort kan sägas vara den samma som kraven för bensindrivna personbilar med trevägskatalytisk avgasrening. Enligt de båda ovan beskrivna mätmetoderna kan följande två tabeller beskriva de uppsatta **"signifikant förbättrade emissionsvärdena"** i relation till gällande föreslagen lagstiftning för dieselmotorer.

	CO	HC	NO _x	Partiklar
US fed 1991 transient (g/kWh)	20.8	1.7	6.7	0.33
Signifikant förbättrade emissionsvärden (g/kWh) enligt denna förstudie	2	1	2	0.1

Tabell 2:1 Emissionsvärden i jämförelse enligt transient-cykeln

Värdena i tabell 2:1 överensstämmer inte helt med de värden som angivits vid kontakterna med THO och ORF. Detta beror på att det under hand har funnits anledning att justera värdena.

	CO	HC	NO _x	Partiklar
ECE R 49 13 mode modifierad (g/kWh)	11.2	2.5	14.4	Ej redovisat
Enligt svenskt förslag 1995 (g/kWh)	4.9	1.2	9.0	0.1
Signifikant förbättrade emissionsvärden enligt denna förstudie (g/kWh)	1	1	2	0.05

Tabell 2:2 Emissionsvärden i jämförelse enligt 13 mode-cykeln

De signifikant förbättrade emissionsvärdena i tabell 2:2 är valda så att de kan anses motsvara värdena i tabell 2:1.

2.4 Demonstrationsprojekt

Studien beskriver ett förfaringssätt där motorer med kringutrustning optimeras i provbänk och sedan för demonstrationsprojekt monteras i bussar. Motiven till detta beskrivs närmare i kapitel 7.

Resultaten av inledande bänkprov utvärderas. Utvärderingen resulterar i slutsatser om och hur demonstrationsprojekt kan genomföras. I sådana projekt utvärderas:

- o Emissionsnivåer i verkliga tal, i relation till lagkrav och i relation till denna studies målsättning.
- o Praktiska erfarenheter av naturgasfrågor vid naturgasdrift (tankning, risker och rutiner)
- o Ekonomiska faktorer
- o Möjligheter att köra fordonsflottor på förädlad biogas.
- o Fordonets körbarhet, tillgänglighet och produktionsförmåga.

Två lokaltrafikföretag har visat intresse för eller har för avsikt att genomföra prov med bio-/naturgasdrivna bussar. Dessa företag är Malmö Lokaltrafik och Storstockholms Lokaltrafik.

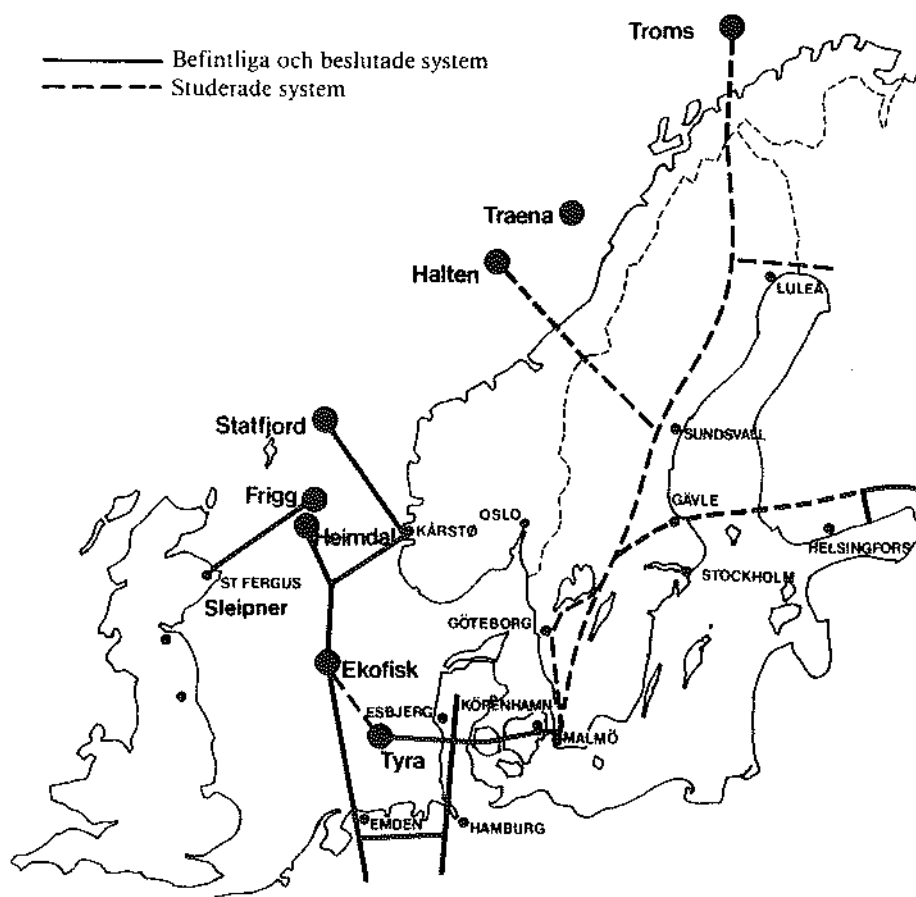
3. INFRASTRUKTUR OCH ENERGITILLGÅNG

3.1 Naturgastillförsel

Gaskällor och tillförselvägar

Sverige har idag inga egna naturgastillgångar som är lämpade för direkt användning som fordonsbränsle. Tillgången på bio- eller rötgas är på sina håll god vilket antyds i kap. 9. För närvarande måste vi således importera all den gas som är tänkt att användas i fordon.

Tillgången på gas i vår omvärld är god och leveranser kan ske från både Danmark, Sovjet och Norge. Nedanstående figur visar möjliga importvägar och Sydsveriges förbindelse med det västeuropeiska gasnätet. Naturgas från kontinenten kan nå Sverige under vissa förutsättningar, nämligen om Sverige skulle importera stora gasvolymmer söderifrån, eller om någon störning av produktionen i de danska Nordsjöfälten skulle inträffa.



Figur 3:1 Framtida tillförsel av naturgas till Sverige

Gastillgången bakom de tre beskrivna införelsevägarna är betydande och deras beräknade varaktighet framgår av följande tabell.

	Tillgångar miljarder m ³	Varaktighet år
Danmark	150	60
Norge	3 000	100
Sovjet	35 000	140

Tabell 3:1 Naturgastillgångar i Sveriges omgivning.

Varaktigheten är beräknad som den tid tillgångarna räcker med ett årligt uttag på dagens nivå. Nya fynd förlänger hela tiden tillgångarnas varaktighet.

Naturgasen förs in i Sverige genom import av dansk gas till Sydgasnätet. Stamledningen i detta nät har genom riksdagsbeslut dimensionerats för att klara en större import än vad som är aktuell i första etappen. Den fortsatta utbyggnaden är beslutad upp till Göteborg och ledningen är idag driftsatt upp till Årstad som ligger några km utanför Falkenberg.

En fortsatt utbyggnad är planerad upp till Stockholm/Gävle men något slutligt beslut är ännu inte fattat.

Utbyggnaden upp till Stockholm/Gävle skulle kunna ske med en enda tillförselväg via Öresundsledningen från Danmark. Denna situation är dock ur beredskapssynpunkt inte tillfredsställande och därför utreds även andra tillförselalternativ.

De två mest aktuella alternativen är köp av rysk eller norsk gas. Den ryska gasen kan föras in i landet via det finska nätet och en sjöledning i Bottenhavet till Stockholm/Gävle.

Den norska gasen kan levereras via flera alternativa vägar. Ur leveranssäkerhetssynpunkt vore det fördelaktigt att få en tillförsel norrifrån exempelvis från Haltenbanken.

Vattenfall genomför djupgasborrningar i Siljansringen baserade på teorier om gasens uppkomst uppställda av professor Thomas Gold. Gasen skulle kontinuerligt bildas i jordens inre och stiga genom manteln och skorpan ut i atmosfären. Gasen skulle kunna fångas upp om det i manteln fanns ett område med poröst berg under ett tätt lock. Dessa förutsättningar kan eventuellt vara uppfyllda inom Siljansringen som är en gammal meteornedslagsplats.

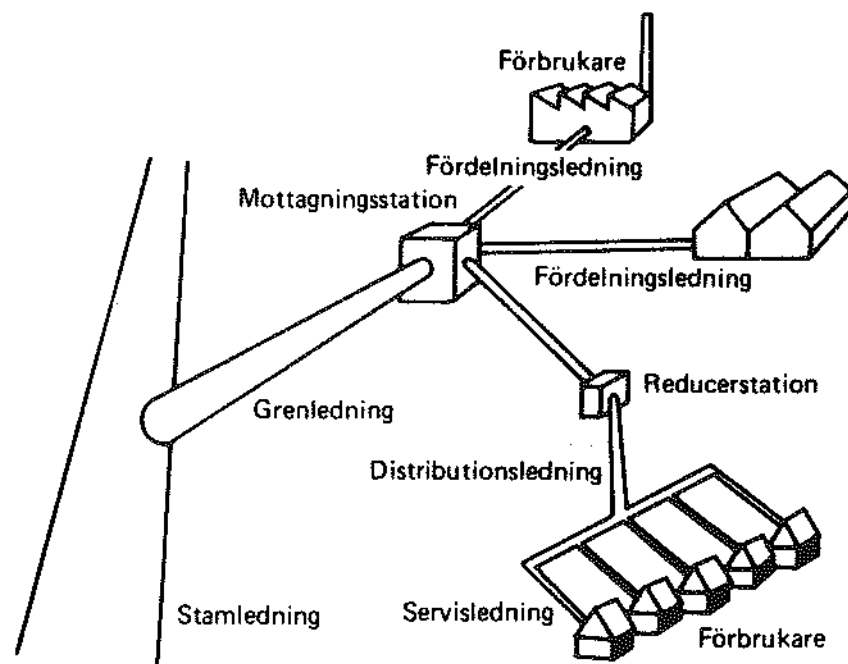
Vattenfall driver för närvarande ett projekt med syfte att borra ned till 7 500 meters djup. Borrdjupet var i april 1987 ca 4 000 meter.

Den totala importvolymen av naturgas är ca 220 miljoner m³ per år motsvarande ca 2,3 TWh.

Transport av naturgas

Naturgasleveranserna till Sverige sker enbart via fasta rörsystem med en kontinuerlig förbindelse mellan gaskällan och konsumenten. En alternativ möjlighet är att köpa flytande naturgas (LNG) som levereras med båt från exempelvis Algeriet. Den vätskefasiga naturgasen förångas sedan och levereras på vanligt sätt genom ett system av rörledningar.

Det system av rörledningar som transporterar och distribuerar gasen utformas i princip som fig. 3:2



Figur 3:2 Rörledningssystem för naturgas

Stamledningen och grenledningarna utgör högtryckssystemet och är dimensionerat för ett högsta tryck av 80 bar. Beroende på driftförutsättningarna kan trycket i olika delar av detta system variera mellan 12 och 80 bar.

I mottagningsstationen reduceras gasens tryck till normalt 4 bar och distribueras sedan ut till de enskilda konsumenterna. I vissa fall reduceras gasens tryck i ytterligare ett steg ned till 100 mbar. I mottagningsstationen sker också en mätning av levererad gasmängd.

Vid en eventuell uppbyggnad av ett system för fyllning av gasdrivna fordon är den naturliga placeringen av en tankningsanläggning i distributionsnätets 4 bars system.

3.2 Naturgasens egenskaper

Naturgas är en gas som utvinns på samma sätt som olja. Gasens sammansättning varierar mellan olika källor. Huvudbeståndsdelarna är metan (CH_4) som är blandat med tyngre kolväten såsom etan (C_2H_6), propan (C_3H_8) och butan (C_4H_{10}). De flesta naturgaser innehåller

också varierande mängder obrännbara beståndsdelar såsom kvävgas (N_2), koldioxid (CO_2) och syre (O_2).

De gaser som är aktuella för import till Sverige har följande sammansättning enligt Vattenfalls rapport "Naturgas Hälsa Miljö".

Typ av naturgas		Dansk gas	Tysk gas	Sovjet	Troms
Kemisk sammansättning					
Metan CH_4	vol %	91,1	88,7	98,9	91,6
Etan C_2H_6	vol %	4,7	5,3	0,2	3,6
Propan C_3H_8	vol %	1,7	1,6	0,0	1,1
Butan C_4H_{10}	vol %	1,4	0,6	0,0	0,4
och tyngre kolväten					
Koldioxid CO_2	vol %	0,5	1,4	0,0	2,4
Kvävgas N_2	vol %	0,6	2,4	0,9	0,9
Övre värmevärde (MJ/Nm ³)		43	42	37	41
Undre värmevärde (MJ/Nm ³)		39	37	34	37
Relativ densitet		0,62	0,63	0,56	0,62

Tabell 3:2 Jämförelse mellan olika typer av naturgas

Relativ densitet är gasens täthet i förhållande till luftens täthet.

Förutom dessa komponenter tillsätts en mindre mängd luktmedel i form av tetrahydrothiophen (C_4H_8S). Luktmedlet tillsätts i Klagshamn där gasen förs in i Sverige och avsikten är att en person med normalt luktsinne skall kunna känna "gasluk" vid koncentrationer som ligger lägre än 1/5 av gasens undre explosionsgräns. Naturgasen har ett explosionsområde mellan 5 och 15 volymprocent vid blandning med luft.

I motorbränslesammanhang är naturgasen relativt långsamt brinnande och svårantändlig. Detta innebär att en gasmotor måste ha en tidigare tändtidpunkt än motsvarande bensinmotor.

En positiv egenskap hos naturgasen är det mycket höga oktantalet 130 (RON) i jämförelse med premiumbensinens 98. Detta möjliggör att motorer kan utformas med högre kompressionsförhållande och därmed få en bättre verkningsgrad.

3.3 Tankningsanläggning

Lagringen av naturgas i fordon sker i normala fall under högt tryck i cylinderformade behållare. Det maximala lagringstrycket varierar beroende på system mellan 200 bar och 300 bar.

Tankanläggningen måste således kunna leverera gas vid tryck mellan 1 bar (tanken är tom) och 200-300 bar då tanken är helt full. Tankningen sker enligt två skilda principer, snabb resp. långsam fyllning.

Den långsamma fyllningsprincipen innebär att ett eller flera fordon kopplas direkt till en gemensam gaskompressor som sakta bygger upp trycket parallellt i alla fordon. Beroende på kompressorns kapacitet i förhållande till antalet fordon tar denna process vanligen mellan en

och sex timmar. Det normala förfarandet är att göra detta under natten. När fullt tryck uppnåtts slås kompressorn automatiskt ifrån.

Fördelarna med denna typ av anläggning är att kompressorkapaciteten kan väljas något lägre då längre tid står till förfogande vid tankningen. Den temperaturhöjning som gasen får vid komprimeringen hinner också utjämnas vilket innebär en bättre fyllnadsgrad i fordonets lagringstankar.

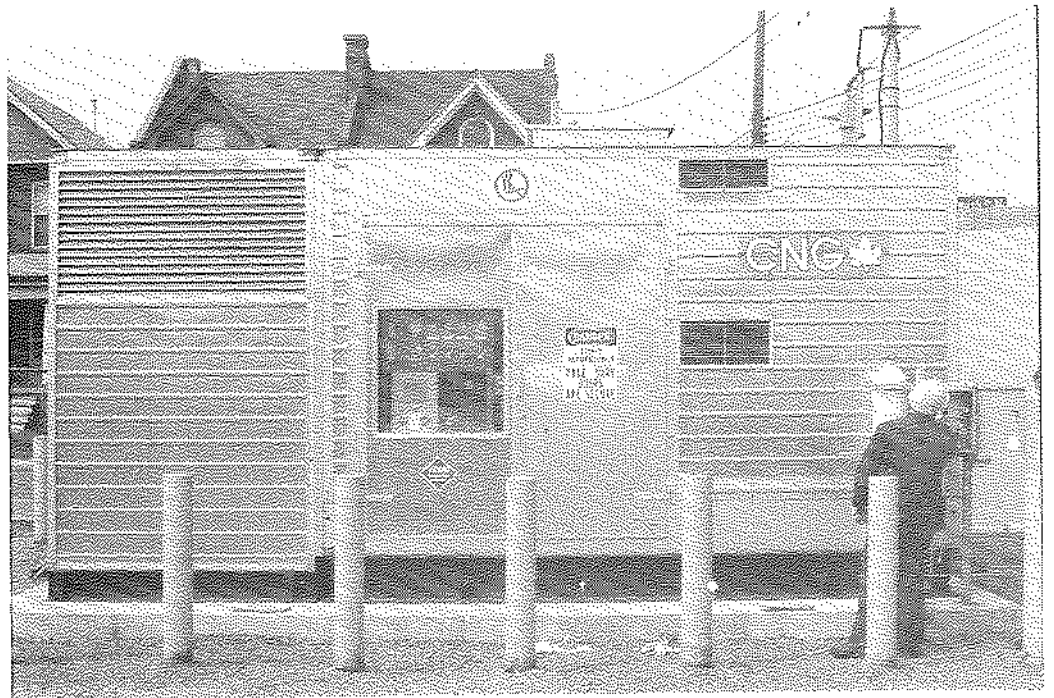


Bild 3:1 Kompressorstation för långsam fyllning

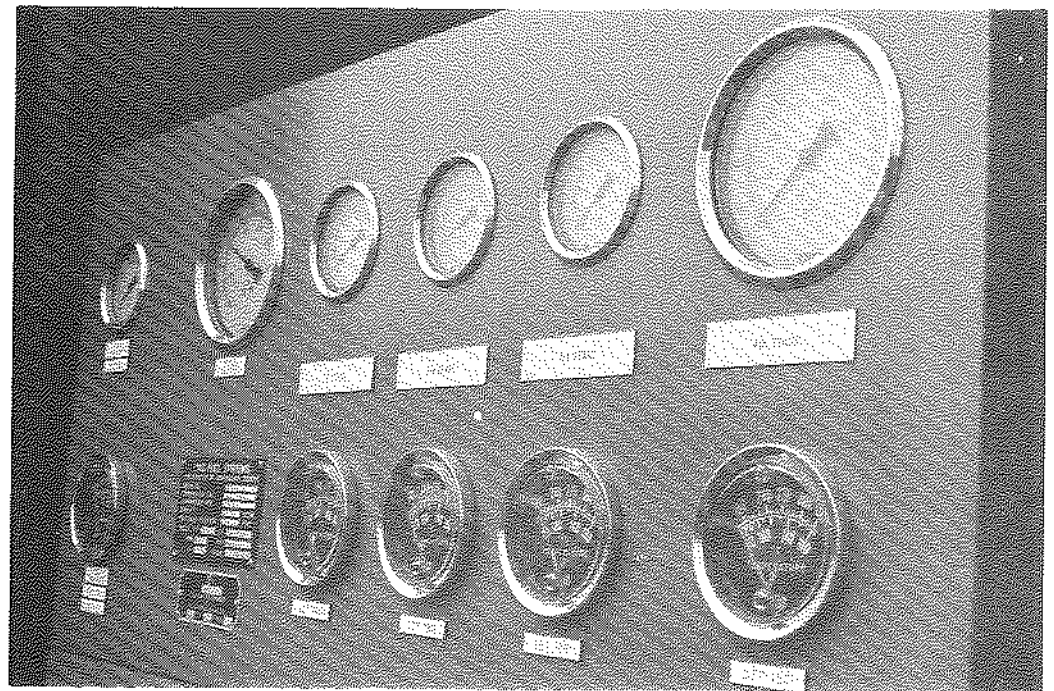


Bild 3:2 Tryckstegsmanometrar i kompressoranläggning

Det andra systemet med snabbfyllning utnyttjas på tankanläggningar av typ konventionella "mackar". Här lagras gasen i ett batteri av stål cylindrar, s k mellanlager, vid ett tryck på ca 350 bar. Vid tankningen ansluts mellanlagret till fordonets tankar och gasen strömmar från cylindrarna med högre tryck till tankarna i fordonet. Proceduren tar ca 5 minuter från helt tom till fylld tank. Fördelen med systemet är att fordonet kan fyllas på kort tid.

Kompressorerna måste arbeta upp ett högre tryck än vad som krävs i fordonet vilket innebär en högre energikostnad för komprimeringen. Detta kan i viss mån undvikas genom att använda fler mellanlager med olika tryck som successivt kopplas in vartefter trycket i fordonets lagringstankar stiger. Denna omkoppling mellan olika mellanlager sker helt automatiskt under tankningsförloppet.

De kompressorer som används är kolvkompressorer där gasen komprimeras i flera steg, vanligen 3 till 5 st. Mellan stegen kylls gasen för att öka kompressorernas totala verkningsgrad.

Energiåtgången är ca 0,3 kWh per m³ naturgas vilket är ca 3% av gasens energiinnehåll och ca 10% av den mekaniska energi som gasen, efter förbränning i fordonets motor, producerat.

Kompressorerna drivs normalt med en elmotor vilket ställer krav på att elmatning finns tillgänglig där tankanläggningen skall uppföras. Där elmatning saknas kan en gasmotordriven kompressor användas. Den förbrukar då 10-15% av den gasmängd som komprimeras.

Anslutningen av fordonet görs via en gasslang och ett speciellt munstycke som är utformat för att förhindra gasläckage.

Den gas som fylls i fordonet måste på något sätt mätas för att en kund skall kunna debiteras. Under fyllningsförloppet ändras hela tiden tryck och temperatur i tankningsanläggningens olika delar vilket försvårar flödesmätningen. För detta ändamål har det utvecklats en speciell typ av mätare som direkt mäter massflödet. Någon kompensering för tryck och temperatur behöver därmed inte göras.

3.4 Säkerhet

Användningen av naturgas är en av de minst olycksdrabbade former för energianvändning som tillämpas. Orsaken är att hela distributionen sker i fast installerade rörledningar med förhållandevis få arbetsmoment där människor kan skadas.

Den största riskkällan är kundernas installationer där bristfällig hantering och eftersatt underhåll kan leda till olyckstillbud.

I Holland, som är ett av de största gasanvändarländerna i Europa, har antalet olyckor per miljon abonnenter och år minskat från 110 år 1952, till 20 år 1982.

Den vanligaste orsaken till olyckor hos konsumenterna är förgiftning genom den koloxid som bildas vid förbränningen i en dåligt skött eller dåligt justerad värmeapparat med avgasröret mynnande inomhus (mycket ovanliga i Sverige). Den näst största olycksrisken är brand eller explosion.

Vid distribution av naturgasen från gaskällan och ut till konsumenten sker mycket få tillbud och detta är den säkraste delen av naturgas-systemet. De olyckor som händer orsakas till största delen vid grävarbeten där ledningen skadas av entreprenadmaskiner.

Vid användning av naturgas som motorbränsle tillkommer ett led i distributionskedjan, tankningsanläggningen. Riskkällorna är främst läckage av gas från kompressorer och otäta anslutningar mot fordonen.

Vad gäller säkerhetsaspekt på fordon hänvisas till avsnitt 4.6.

Även de tankar som används för mellanlagring på en snabbtankningsanläggning är en säkerhetsrisk. I dessa tankar finns en betydande energimängd lagrad som kan frigöras vid exempelvis brand inom området.

För att öka säkerheten vid tankning förses kopplingsmunstycket där fyllningsslangen ansluts med en kontakt som förhindrar start av fordonet så länge tankningen pågår. Andra typer av liknande åtgärder kan användas för att höja säkerheten om det visar sig vara nödvändigt.

Jämförs tankning av gas med tankning av bensen är olycksriskerna avsevärt färre vid gastankning. Gasen är hela tiden innesluten i tryckkärl eller rörledningar och kan därmed inte blandas med luften så att en explosiv blandning uppstår. Vid tankning av bensen finns alltid en viss mängd av bensenånga blandad med luft i proportioner inom explosionsområdet. Det är endast avsaknaden av en tillräckligt stor gnista som förhindrar att varje tankningstillfälle slutar med en explosion.

En av de säkerhetsmässigt största fördelarna med naturgasen i jämförelse med alla andra flytande bränslen är att gasen vid ett läckagetillbud stiger uppåt och försvinner från platsen. Flytande bränslen ligger istället kvar på marken och utgör en brandfara ända till de sanerats.

3.5 Beredskapspekter

Den gas som idag distribueras till naturgaskonsumenterna förs in i Sverige via Danmark som är den enda befintliga införselvägen. Ett leveransavbrott innebär att samtliga konsumenter påverkas. Denna situation kommer att kvarstå tills ytterligare en inmatningspunkt i systemet blir verklighet.

För att förbättra beredskapssituationen vid en eventuell störning tecknas en del stora konsumenter på avbrytbara kontrakt. Detta innebär att dessa konsumenter behåller sin oljeeldningsmöjlighet och vid en eventuell gasbrist växlar bränsle. På detta sätt kan förbrukningen i gasnätet minskas radikalt och den mängd gas som finns lagrad i ledningsnätet kan räcka till övriga konsumenter i flera dagar, även vid ett fullständigt avbrott i leveranserna från Danmark. För att ytterligare öka uthålligheten vid leveransavbrott planeras underjordiska naturgaslager kombinerat med nödförsörjning av propan/luft.

Propan/luft blandningen har förbränningsegenskaper som liknar naturgasens och kan ersätta denna vid förbränning i pannor och liknande.

Som bränsle i CNG-fordon duger den däremot inte p g a skilda fysikaliska egenskaper såsom kondensationstryck och liknande. En fyllningsstation för CNG-fordon måste således kopplas till den del av naturgasnätet som alltid planeras ha sin försörjning tryggad.

Sannolikheten för att ett leveransavbrott skall ske är dock mycket liten. Energidistributionen med hjälp av ledningsbunden naturgas är ett av de mest pålitliga system som finns. Om man definierar ett leveranssäkerhetsindex som den genomsnittliga gasmängd som inte levererats dividerat med den mängd som skulle ha levererats om något avbrott ej skett, får detta index ett värde på 1×10^{-4} för det svenska nätet. Detta är en lika låg riskfaktor som vilket annat nu tillämpat energidistributionssystem som helst. Denna siffra täcker samtliga leveransavbrottsrisker från gaskällan i nordsjön och fram till den enskilda gaskonsumenten. Genom att en bussflotta konverterad till CNG inte har något alternativt bränsle kommer dessa konsumenter att prioriteras vid ett leveransbrott vilket ökar leveranssäkerheten avsevärt.

4. FORDONSTEKNIK

4.1 Tankar

Lagringen av naturgas i fordon kan ske enligt tre principer: komprimering, absorption eller i flytande form. Den vanligaste formen är komprimering till ett tryck mellan 200 bar och 300 bar och lagring i cylinderformade tankar.

Lagringssystemet består av ett fyllningsmunstycke, ledningar till och från tankarna, säkerhetsventiler, manuella avstängningsventiler på varje tank och en tryckreduceringsventil i ledningen fram till motorn. Totalvolymen för lagret beror på erforderlig kapacitet och maximalt lagringstryck. Ju högre lagringstrycket är desto mer gas på en given volym.

För en innerstadsbuss krävs en körsträcka på minst 300 km mellan tankningarna och med en förbrukning på ca 5.5 m^3 gas per 10 km måste totalt 165 m^3 gas lagras på bussen. Med ett maximalt lagringstryck på 200 bar behövs ca 700 liters lagringsvolym. Med 300 bars tryck behövs ca 500 liters volym.

Tankarna utformas som cylindrar med en diameter mellan 100 mm och 300 mm och kan tillverkas i olika material såsom stål, glasfiberarmerad plast eller armerad aluminium. Cylindrarnas längd anpassas efter montageutrymmet i fordonen.

Det höga lagringstrycket ställer stora krav på cylindrarnas hållfasthet och därmed blir godstjocklekarna i cylinderväggarna stora. Tillverkas behållarna i stål resulterar detta också i hög vikt. Andra material än stål ger möjligheter att reducera lagrets vikt, tabell 4:1 ger totalvikten för några olika tanktyper.

	Cylinderdimensioner mm			Antal	Tank-vikt ca
	längd mm	diameter mm	volym liter		
Stål	980	316	60	11,7	700
Stål/glasfiber	1118	356	81	8,5	560
Aluminium/ glasfiber	1200	-	75	9,3	500
Komposite					350

Tabell 4:1 Tankvikt för ett fordonslager med 200 bars tryck och 700 liters volym

Ovanstående siffror gäller enbart lagringstankarnas vikt. Den lagrade naturgasen är inte medräknad.

För att kunna placera tillräckligt stor tankvolym i bussen måste fler utrymmen än den befintliga dieseltankens plats utnyttjas. Beroende på chassiutförande kan olika utrymmen under bussen användas för att placera tankarna. Finns inte tillräcklig plats under bussen kan t ex taket utnyttjas.



Bild 4:1 Naturgastankar placerade på undersidan av bussen

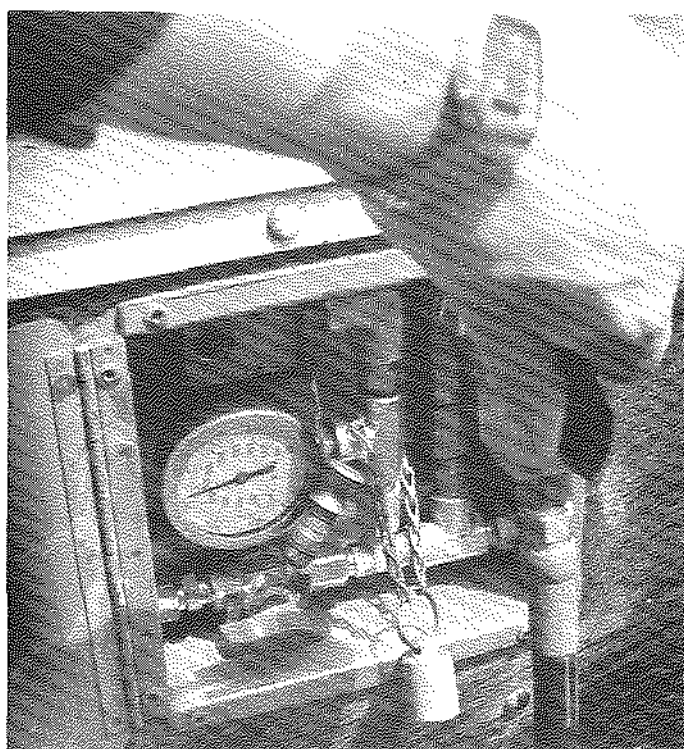


Bild 4:2 Fyllningsanslutning vid tankning med tryckmanometer

4.2 Bränslesystem

Bränslesystemets huvudkomponenter är tryckreglerutrustning, blandare samt eventuell styrutrustning. Är fordonet utrustat för två-bränsledrift i någon form tillkommer utrustning för det andra bränslesystemet.

Utformningen av systemet hänger samman med typen av motor. När det gäller dieselmotorer finns följande motoralternativ.

- o Blanddrift gas/diesel
- o Dieseltändning
- o Konvertering till Ottomotorer

Vidare kan vart och ett av ovanstående konverteringssätt kompletteras med turbokompressor eller utformas som sugmotor.

Vid blanddrift, som är den enklaste konverteringen, tillsätts naturgasen i insugsluften till motorn. Mängden naturgas styrs av belastningen så att gasflödet ökar vid högre motormoment och blir noll vid tomgång. Styrningen av NG-flödet sker på signal från motorns ordinarie insprutningspump samt tryck och eventuellt flöde i insugsröret. Systemen kan vara både mekaniskt och elektroniskt reglerade.

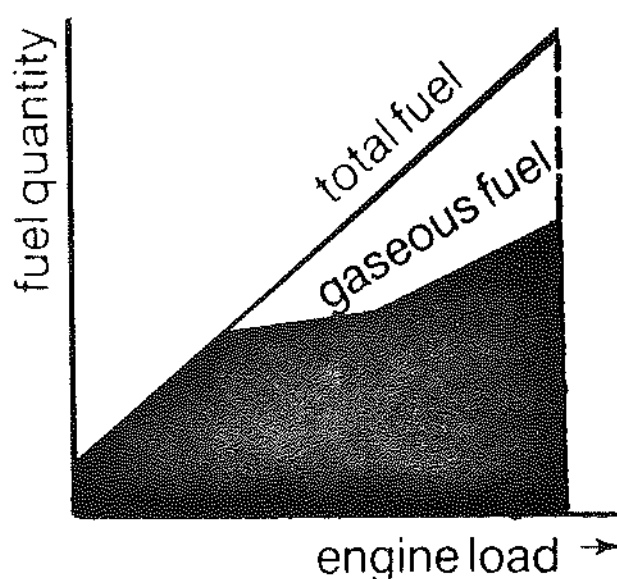


Fig 4:1 Bränslefördelning NG/diesel vid blanddrift

I systemen med dieseltändning sprutas endast en så stor mängd diesel in i förbränningsrummet att gas/luftblandningen kan antändas (fig 4:2). Vid full effekt motsvarar tänddieseln mellan 5% och 10% av den tillförda energin. Resterande bränsle tillförs i form av gas med insugsluften. Mängden diesel är i detta system relativt konstant i hela belastningsområdet och andelen av totalt tillförd bränslemängd stiger därför med sjunkande belastning. Systemet lämpar sig bäst för stationära motorer som har en hög och jämn belastning. Bränslesystemet utformas i princip på samma sätt som vid blanddrift.

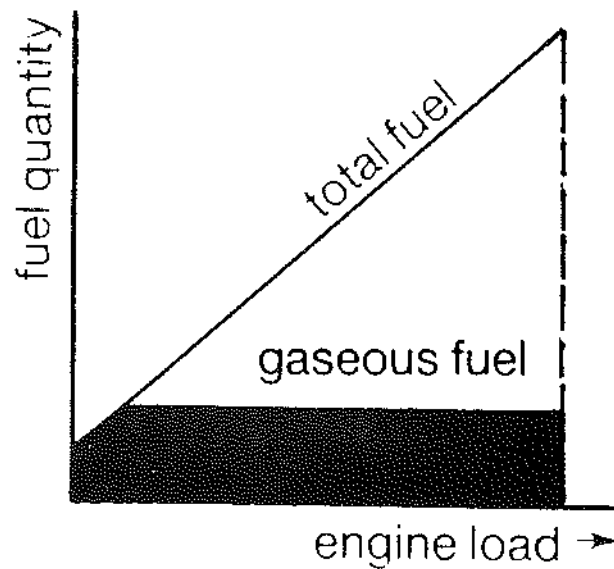


Fig 4:2 Bränslefördelning NG/diesel vid dieseltändning

Bränsletillförseln för en Ottomotor sker i sin enklaste form via en tryckregulator och en venturiblandare. Regulatorn är då inställd på ett tryck som ligger något under atmosfärstryck. Då motorn är stoppad stänger således tryckregulatorn helt eftersom trycket i venturiblandaren och insugsröret stiger till atmosfärstryck. När motorn startas sjunker det statiska trycket i venturin och motorn suger in gas och luft. Systemet kan utvecklas med hjälp av ett elektroniskt reglersystem som styr gastillförseln med ledning av en mängd insignaler.

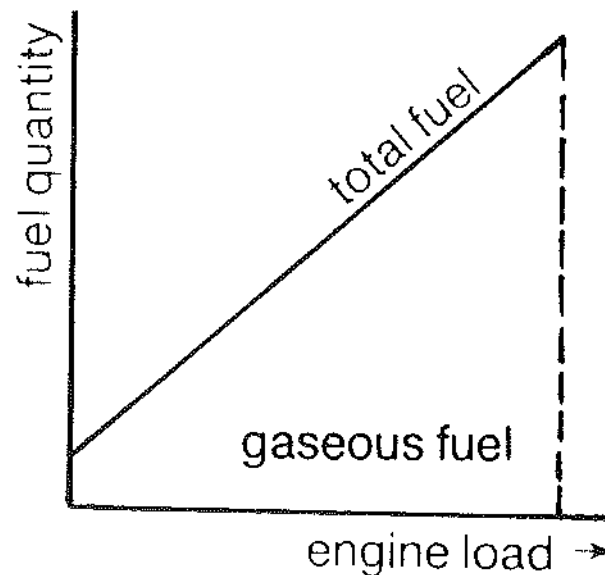


Fig 4:3 Bränsletillförsel NG i Ottomotor

Den tryckregulator som ingår i samtliga system förses ofta med värmning från motorns kylsystem. Värmningen är till för att kompensera den temperatursänkning som blir följd av tryckreduktionen från lagringstankarnas tryck till insugssystemets tryck.

4.3 Motorkonvertering

Bussar är nästan undantagslöst försedda med dieselmotorer och det är denna motortyp man måste utgå ifrån vid en konvertering till naturgasdrift. De möjligheter som finns är ombyggnad till blandbränsledrift eller ombyggnad till Ottomotor med gnisttändning av bränslet.

Den ur energisynpunkt mest intressanta konverteringsprincipen är ombyggnad till Ottomotor, av bl a följande anledningar:

- o Bussen förbrukar 100% naturgas.
- o Bussen behöver endast ett bränslesystem.
- o Denna motortyp har med dagens teknik visat sig bättre kunna nå låga emissioner.

Nackdelarna är:

- o Konverteringen av motorn är omfattande och emissionsoptimeringen kräver stora insatser i laboratoriemiljö.
- o Inget reservbränsle att tillgå.

Ombyggnaden från dieselmotor till Ottomotor innebär att topplocket förses med tändstift istället för insprutningsmunstycken. Vidare måste kompressionen sänkas till ca 12:1 och motorn förses med en gas/luftblandare.



Bild 4:3 Utformning av kolv efter sänkt kompression (dieselskolv med pik)

Med Ottomotorn följer också en möjlighet att utnyttja den katalytiska avgasreningen vilket skulle kunna möjliggöra en radikal sänkning av emissionsnivån i jämförelse med dagens dieslbussar. (se kap. 4.5)

4.4 Förbrukningstal

En stadsbuss med dieselmotor förbrukar ca 5 liter diesel per 10 km med stora variationer beroende på körförhållanden längs den aktuella körsträckan. De bussar som byggts om för drift på LPG och provkörts i Stockholm och Malmö har förbrukat ca 20% mer bränsle än dieslbussar räknat per energienhet. Förklaringen till den högre förbrukningen ligger till stora delar i att den ursprungliga dieselmotorn är resultatet av en lång utveckling med sikte på låg diesel-förbrukning. Den konverterade motorn är ur denna synpunkt mindre optimerad.

En annan förklaring är Ottomotorns lägre kompressionsförhållande som gör att den teoretiska verkningsgraden blir lägre. Den övre kompressionsgränsen för en naturgasmotor är ca 13:1 medan dieselmotorer ofta har ett kompressionsförhållande på 19:1.

Jämförs förbrukningssiffror från flera konverterade bussar visar sig naturgasförbrukningen ligga på ca $1,1 \text{ m}^3 \text{ NG}$ per liter diesel. Energiinnehållet i en Nm^3 naturgas motsvarar en liten diesel.

4.5 Teknik för emissionsbegränsningar

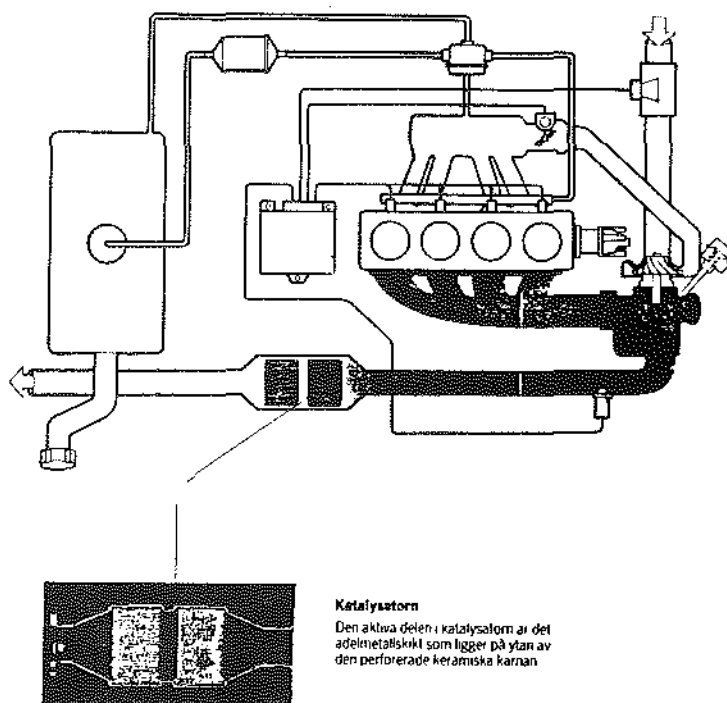
Ett av de starkaste argumenten för att införa naturgasdrivna fordon är möjligheterna att införa en effektiv avgasrening och därmed nå lägre emissioner än från dagens dieslbussar. Några miljökrav med undantag av rökbegränsning finns inte i Sverige. En frivillig målsättning bland trafikföretagen är att uppfylla de krav som gäller för USA 1988-90. Genom att utnyttja dagens bästa dieselteknik kan dessa krav redan nu uppfyllas av de svenska tillverkarna.

På personbilssidan kommer nya avgasbestämmelser 1989. För att uppfylla dessa krav måste biltillverkarna, med dagens kända teknik, införa katalytisk avgasrening. Förutom att begränsa utsläppen av CO, HC och NO_x har en katalysator en positiv effekt också när det gäller icke reglerade emissioner.

För att minska emissionerna och nå uppsatta krav kan följande utrustning och teknik enskilt eller i kombination användas på en naturgasdriven motor.

Trevägskatalysator

Ett sätt att begränsa emissionerna är att förse motorn med en trevägskatalysator som reducerar CO, HC, NO_x och oförbrända produkter. Förutom den oxiderande förmågan kan trevägskatalysatorn även reducera NO_x till rent kväve (N₂), vilket ingår som en naturlig del i luften. De syremolekyler som då frigörs oxiderar CO och HC.



Figur 4:4 Trevägskatalysator

Den reducerande reaktionen NO_x till N_2 och O_2 sker inte vid luftöverskott ($\text{Lambda} > 1$) i förbränningen. På samma sätt kan oxiderande reaktionen inte ske vid luftunderskott ($\text{Lambda} < 1$). För att det hela skall fungera krävs exakt stökiometrisk förbränning ($\text{Lambda} = 1$) med ett mycket snävt toleransområde på Lambdaskalan.

Lambda sond

Med en normal gasblandare eller förgasare klarar man inte att hålla bränsle/luftblandningen inom ett snävt definierat område. För att klara detta införs ett återkopplat reglersystem med följande funktion.

I motorns avgasrör mäts förbränningens Lambdavärde med en s.k. Lambdasond som är gjord för att ge en mycket exakt signal. Signalen från sonden matas in i en elektronisk styrenhet som jämför signalen med ett förinställt Lambdavärde. Vid en eventuell avvikelse påverkar styrenheten tillförseln av bränslet så att rätt blandningsförhållande och därmed Lambdavärde återtas. Vid stökiometrisk förbränning blir förbränningstemperaturen som högst vilket kan resultera i motorskador p.g.a. lokal överhettningar. Detta går dock att motverka.

Oxiderande katalysator (tvåvägskatalysator)

Den oxiderande katalysatorn kallas också tvåvägskatalysator p.g.a. att den initierar två oxiderande reaktioner i avgaserna

1. $2 \text{CO} + \text{O}_2 \text{ blir } 2 \text{CO}_2$
2. $\text{H}_x\text{C}_x + \text{O}_2 \text{ blir } \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$

De kvarvarande oförbrända beståndsdelarna i avgaserna reagerar på katalytisk väg med syre. Ett krav för att dessa reaktioner skall ske är att avgaserna innehåller ett luftöverskott. Den katalytiska reaktionen sker på en yta av någon ädelmetall som lagts på en stomme av keramiskt material.

Katalysatorer av denna typ har en mycket begränsad effekt på NO_x -halten i avgaserna. NO_x -halten kan istället begränsas vid förbränningen i motorn. En möjlighet att göra detta är genom en sänkning av förbränningstemperaturen genom ett extremt stort luftöverskott eller avgasåtercirkulation (EGR). Figur 4.5 visar hur avgasemissionerna påverkas av blandningsförhållandet mellan bränsle och luft (Lambda).

Luftöverskott

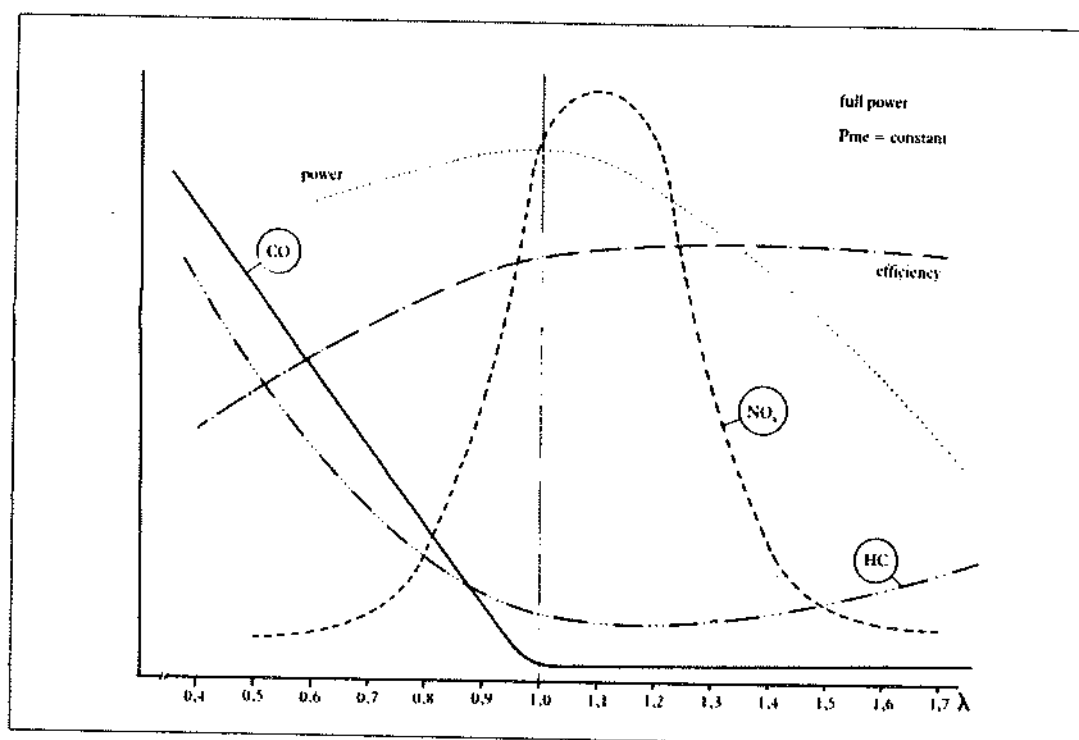


Fig 4:5 Avgaseffekter vid olika bränsleluftblandningar
(Källa: SNV Studsvik)

Mängden luft i förhållande till mängden bränsle mäts där utgångsläget, varken fet eller mager blandning, är ca 15,5 kg luft/kg bränsle för en dieselmotor ($\lambda = 1$, stökiometrisk blandning).

En ökning till luftöverskott, t ex $\lambda = 1,5$, sänker NO_x och CO. Priset för sänkningen är minskad effekt.

Laddluftkylning (intercooler), kompressor (turbo)

Gasformiga bränslen har större volym än ångorna från flytande bränslen och upptar därmed en större del av de tillgängliga insugsvolymer vilket totalt sett innebär att en mindre mängd bränsle/luft tillförs.

Ett sätt att kompensera denna effektförlust är att inför en kompressor som trycker in önskad gasmängd i cylindern. Komprimeringen av insugsluften medför också att temperaturen höjs vilket har en negativ effekt på både fyllnadsgraden (insugsluftens densitet sjunker vid stigande temperatur) och förbränningstemperaturen.

Dessa negativa effekter kan begränsas med en laddluftkylare som monteras mellan kompressorn och motorns insugsrör. Kylningen sker med motorns kylvatten eller omgivningsluften.

Laddluftkylaren har en positiv effekt på framför allt NO_x . De flesta nya bussmotorer är idag försedda med turbo (kompressor) och ibland även laddluftkylare. För att få ut samma effekt ur motorerna efter konverteringen måste även gasmotorerna utrustas med turbokompressor och laddluftkylare.

Avgasåtercirkulationen (EGR)

Bildandet av NO_x -molekyler beror på tillgången på kväve och syre (luft). Då ett luftunderskott uppstår kommer nästan allt tillgängligt syre att förbrukas i förbränningen.

Om avgaserna återförs minskar luftinblandningen och bildningen av NO_x -molekyler förhindras. Denna åtgärd minskar dock effektuttaget något. EGR minskar också temperaturen vid förbränning vilket ytterligare minskar NO_x bildningen.

Blandarutrustning

Många av de optimeringar som kan göras i en motor är avhängiga av att bränsle/luftblandningen kan styras mycket noggrant.

Med utveckling av venturin (insugningskanalen) kan styrutrustningens signaler omsättas i en noggrant reglerad blandning.

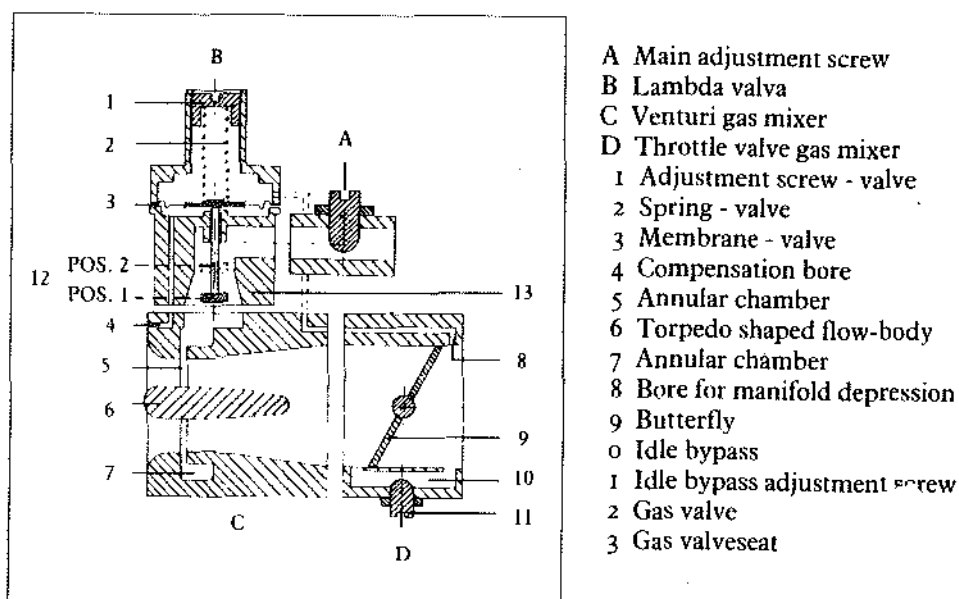


Fig 4:6 Mekaniska delen av en blandarutrustning, utvecklad av TNO där venturiutformningen är anpassad för att enkelt kunna svara på de regleringssignaler som ges av t ex en Lambda sond.

Förbränningsrummet

Vid Lambdavärden högre än ett föreligger ett luftöverskott vilket dels sänker halten oförbränt genom den rikligare tillgången på syre, dels NO_x -halten tack vare en lägre förbränningstemperatur. Den reaktion som svarar för bildandet av kväveoxid är nämligen starkt temperaturberoende och vid låga temperaturer under ca 700°C sker i stort sett ingen oxidation av luftens kväve.

En komplikation vid extremt stora luftöverskott är att förbränningskammarens utformning kan behöva ändras för att motorn skall gå rent och med tillräckligt hög effekt och verkningsgrad.

Allmän optimering

Utöver de beskrivna "direkta" metoderna för att reducera avgasemissioner kan en allmän optimering med sikte på lägre emissionstal ge en förbättring i jämförelse med dagens motorer. Gemensamt för denna typ av åtgärder är att de syftar till en effektiv och fullständig förbränning i motorn.

Blandarutrustningen, d v s de komponenter som reglerar luftmängd och bränsle/luftblandningen, kan förbättras avsevärt jämfört med den utrustning som finns på marknaden i dag. Genom en mer exakt styrning av blandningsförhållandet kan motorn fås att arbeta med det Lambdavärde som ur emissionssynpunkt har befunnits vara optimalt. Ett flertal tillverkare arbetar idag med denna utveckling vilken resulterat i system med en styrelektronik. Det slutliga blandningsförhållandet baseras därvid på en mängd insignaler från olika givare på motorn.

Förändring av kamtider kan ge en viss sänkning av framför allt mängden oförbränt drivmedel. I en motor som är optimerad med tanke på ett högt effektuttag läggs kamtiderna så att ett visst överlapp mellan insugsventilens öppning och avgasventilens stängning erhålls. Orsaken är att alla avgaser skall hinna tryckas ut med hjälp i första hand av kolvens rörelse men också av det högre trycket hos den inströmmande insugsluften. Ju större ventilöverlappet är desto mer av insugsgasen följer med avgaserna direkt ut och bidrar till en ökad halt av oförbrända produkter (HC). Med minskad överlappstid kan det maximala effektuttaget bli lägre men samtidigt förbättras motorn ur avgasemissionssynpunkt.

Ontario Research Foundation (ORF) i Kanada driver en utveckling av motorer för naturgas där ovanstående parametrar undersöks i syfte att ta fram en motor optimerad med tanke på emissioner och bibehållet effektuttag.

4.6 Säkerhet

Gas och gasfordon möts ibland med viss skepsis ur säkerhetssynpunkt. Hantering av gas uppfattas av många som riskfyllt. Denna inställning är troligtvis grundad på erfarenheter från den äldre kolbaserade stadsgasen, men den är inte riktig när det gäller naturgas. Naturgasfordon kan i många hänseenden anses vara minst lika säkra som dieselfordon och ur de flesta synvinklar säkrare än bensinfordon.

För naturgastankar i fordon är sannolikheten för ett läckage p g a yttre åverkan i samband med t ex en olycka ytterst liten. Tankarna är tryckkärl och är därför underkastade normerad provning.

Däremot kan avstängningsventiler och sammanbindande rörledningar skadas vid ett olyckstillbud. Dimensionerna på dessa komponenter är dock så små att gasutsläppen vid ett eventuellt brott sker under kontrollerade former.

Den utläckande gasen kommer från ett eller flera definierade ställen och stiger snabbt upp i atmosfären då metangasen, som är huvudbeståndsdel, är avsevärt lättare än luft. Skulle gasen av någon anledning antändas uppstår begränsade gasflammar. Jämförs situationen med ett läckage av diesel eller bensin, där den brännbara vätskan rinner ut okontrollerat på olycksplatsen, så är olycksriskerna mindre.

Vid en eventuell brand i ett gasfordon kan lagringstuberna hettas upp med åtföljande tryckstegring på gasen. För att undvika övertryck är tuberna försedda med säkerhetsventil eller motsvarande anordning.

5. KOSTNADER FÖR STORSKALIG DRIFT

5.1 Föreläggningar

De projekt med gasdrivna bussar som skisseras i denna rapport är demonstrationsprojekt utan ambitioner att vara lönsamma i jämförelse med dagens dieselbussar. Skulle dessa projekt falla väl ut kan storskalenprov omfattande en hel bussdepå bli aktuella och det är mot den bakgrunden som nedanstående kostnader har beräknats. De inledande utvecklingskostnader, som belastar en övergång till naturgasdrift, är således inte medtagna i denna kalkyl utan redovisas separat i kap. (8 och 9).

5.2 Bränslekostnader

Varken naturgasen eller rötgasen har något fastställt pris och bränslekostnaden kan därför inte beräknas i förväg. Genom att jämföra med dieseldrift kan däremot ett betalbart gaspris beräknas där gasdriften ger samma kostnader som dieseldriften.

Osäkerheten när det gäller naturgaspriset beror på gasbolagens sätt att prissätta gasen. Priset fastställs på grundval av kundens alternativkostnad och varierar således beroende på bränslet i den befintliga eldningsanläggningen, där gasen skall användas.

Jämför vi med dieseldrift och de genomförda LPG-försöken får vi följande kostnadsbild.

Totala drivmedelskostnaden för en dieseldriven stadsbuss är ca 6% av den totala kostnaden för investering drift och administration av bussystem.

	Diesel	Motorgas	Naturgas	Förädlad Rötgas
Förbrukning	5,0 l/10 km	11 l/10 km	5,5 Nm ³ /10 km	6,0 Nm ³ /10 km
Pris exkl energiskatt	0,80 kr/l	1,70 kr/l	1,08 kr/Nm ³	1,11 kr/Nm ³
Bränsleskatt	0,73 kr/l	0,92 kr/l	0,31 kr/Nm ³ *)	0
Kilometerskatt	1,90 kr/10 km	0	-	-
Totalkostnad kr/10 km	9,55	28,8	7,6	6,7

*) Nuvarande naturgasskatt

Tabell 5:1 Drivmedelkostnader 1987-05-01

Den antagna skatten på naturgas gäller för idag förekommande användning. Beslut finns inte huruvida drift av fordon med naturgas blir beskattad på annat sätt.

Beskattningen av LPG för olika ändamål är olika, vilket framgår av tabell 5:2.

	Skatte- sats	Energi- innehåll	Skatt per energienhet	
Naturgas	0,308 kr/Nm ³	10,8 kWh/Nm ³	0,029 kr/kWh	industriell användning mm
Gasol (LPG)	0,185 kr/kg	12,9 kWh/kg	0,014 kr/kWh	
Motorgas (LPG)	0,92 kr/l	6,5 kWh/l	0,14 kr/kWh	fordonsdrift

Tabell 5:2 Skattesatser på gasol och naturgas per energienhet

Huruvida denna skattepolitik även kommer att tillämpas på naturgas och rötgas är oklart. Högre skattesats för fordonsdrift med dessa gaser skulle öka totalkostnaden i tabell 5:1.

5.3 Tankningsanläggning

I ett storskaleprojekt blir tankningsanläggningen med all säkerhet utformad för i huvudsak långsam fyllning med inkoppling av bussarna på en uppställningsramp. Denna utrustning kompletteras med en snabbtankningsanläggning för enstaka tankningar då behov kan föreligga.

Investeringskostnaden för en tankningsanläggning dimensionerad för en bussdepå med 125 bussar beräknas uppgå till:

Långsam tankning	3 000 kkr
Snabb tankning	600 kkr
Totalt	3 600 kkr

Per fordon innebär detta en investering på 28 800 kr.

Avskrivningstiden för tankningsanläggningen sätts lika med bussarnas livslängd som är 17 år.

Driftskostnaderna för tankningsanläggningen består till största delen av elenergi för drift av kompressorn. Service och underhåll kan med rätt valda komponenter hållas på en mycket låg nivå eller 1% av investeringen vilket ger 36 kkr per år. Antar vi att bussarna i depån skall kunna fyllas under max 6 timmar och att bussarna i genomsnitt fyller bränsle för 150 km körning krävs en kompressorkapacitet på:

$$\frac{5,5 \times 15 \times 100}{6} = 1375 \text{ Nm}^3/\text{h}$$

där:

Gasförbrukningen	= 5,5 Nm ³ /mil
Genomsnittlig körsträcka	= 150 km/dygn vid dimensionerande dygn
Antalet bussar som tankas	= 125 bussar varav max 100 st samtidigt
Fyllningstid (under natten)	= 6 timmar

Effektbehovet för en kompressor med denna kapacitet ($1\,375\text{ Nm}^3/\text{h}$) är ca 360 kW. Hela denna energimängd omvandlas till värme och måste kylas bort i anläggningen via kylbatterier.

Kompressorn är eldriven och energibehovet per dygn uppgår till:

$$\frac{360 \times 6}{0,95} = 2\,300\text{ kWh}$$

där:

Effektbehovet = 360 kW

Drifttiden = 6 timmar

Elmotorns verkningsgrad = 95%

Med ett elpris på 0.26 kr/kWh blir årskostnaden för elenergin

$$2,3 \times 260 \times 300 = 180\text{ kkr}$$



Bild 5:1 Naturgasdrivna bussar uppkopplade för långsam tankning på ramp

5.4 Konvertering av bussar

Det motoralternativ som är mest lämpat att uppfylla de krav vi ställer på en naturgasdriven buss är en ren Ottomotor försedd med en eller flera anordningar för att begränsa avgasemissionen. Det är således frågan om en ny typ av motor som bör installeras i bussen vid tillverkningen eller vid renovering av den befintliga motorn.

Utöver motorn tillkommer också installation av naturgastankarna och bränslesystemet. Montaget av tankarna kräver både nya upphängningar och omflyttning av befintlig utrustning som är monterad under bussen.

Merkostnaden för en komplett naturgasdriven buss bedöms uppgå till totalt 75 000 kr. Denna kostnad avser en "serieproduktion" (ett hundratal) och innefattar inga utvecklingskostnader. Kostnaderna för utformning av naturgasdrivna ottomotorer redovisas i kapitel 7.

5.5 Kostnadssammanställning

Övergången till naturgasdrift i stor skala innebär vissa merkostnader i jämförelse med den normala dieseldriften. Dessa kostnader, som är redovisade i kap 4.3 och 4.4, måste bäras av ett lägre energipris om totalkostnaden skall vara densamma. Nedanstående beräkning av betalbart gaspris har gjorts med följande förutsättningar.

Förutsättningar

- o Lämplig storlek på bussbarken i en depå (t ex Söderdepån i Stockholm) 125 bussar
- o Fordonens livslängd = kalkyltid 17 år
- o Underhållskostnaderna för bussar vid naturgasdrift förutsättes för enkelhets skull vara desamma som vid dieseldrift och har därför uteslutits i denna kalkyl
- o Genomsnittlig körsträcka (nyare fordon körs mest äldre fordon körs minst) 40 000 km/år
- o Genomsnittlig körsträcka 110 km/dag (på årsbasis)
- o Naturgasförbrukning för buss
1 l diesel = 1,1 Nm³ NG 5,5 Nm³/10 km
- o Ränta (realränta) 6%

Den totala investeringen för hela projektet blir därmed:

Tankningsanläggning		3,600 kkr
Busskonvertering	125 x 0,075 =	9,400 kkr
	Totalt	13,000 kkr

Årskostnaden för denna investering blir med en annuitetsfaktor på 0,09544 (17 år och 6%)

$$0,09544 \times 13,000 \text{ kkr} = 1,300 \text{ kkr}$$

Driftskostnaderna för tankningsanläggning består av underhåll och elkraft till kompressorn för vilka årligen uppgår till:

Underhåll	50 kkr
Elkostnad	180 kkr
Totalt	230 kkr

Den totala årskostnaden för hela depån blir därmed:

$$1,300 + 230 = 1,530 \text{ kkr}$$

Den totala gasförbrukningen på hela depån uppgår årligen till:

$$125 \times 4\,000 \times 5,5 = 2,750,000 \text{ Nm}^3$$

Fördelas den årliga merkostnaden över den förbrukade naturgas-mängden erhålls en kubikmeterkostnad på:

$$\frac{1,530,000}{2,750,000} = 0,56 \text{ kr/Nm}^3$$

Om merkostnaden istället fördelas på antalet körda 10 km ökar totalkostnaden enligt tabell 5:1. med:

$$0,56 \times 5,5 = 3,08 \text{ kr}$$

Den totala kostnaden för naturgasalternativet ökar därmed från 7,6 kr till 10,7 kr ($7,6 + 3,08 = 10,68$). Detta skall jämföras med kostnaden för dagens dieseldrift som är 9,55 kr/10 km.

Av kalkylen framgår att man med för tillfället gällande priser och beskattning på diesel och naturgas kommer att ha jämförbara energikostnader.

På denna punkt synes naturgasen för närvarande skilja sig från andra drivmedelsalternativ.

5.6 Rekommendation

Efter avslutade teknik och demonstrationsprojekt (se kap 7,8 och 9) rekommenderas ett storskaligt försök omfattande en hel bussdepå. Ett sådant försök skulle inte bara ge svar på frågor om miljö och teknik utan även ge definitiva erfarenheter av ekonomi och administration.

6. MILJÖ

6.1 Emissionskrav för bussar

När det gäller miljökrav för busstrafik är studien begränsad till miljöbelastningen från bussarnas avgaser. I Sverige finns det för närvarande inga myndighetskrav annat än mätning av röktäthet vad avser avgasemission från tunga fordon. Däremot har Svenska Lokaltrafikföreningen en rekommendation till medlemmarna att kräva ett intyg från motortillverkarna, på att avgasemissionerna fyller kraven enligt US Fed 88-90 alternativt ECE R49 modifierat. Kraven framgår av tabell 6:1 och 6:2.

Emissionsmätningar kan göras efter olika mätnormer. Dessa normer beskriver ett specificerat körsätt vid vilket mätningarna sker. De vanligast förekommande mätnormerna är den som används i Nordamerika, ("transiencykeln") och den s k ECE R 49 mätnormen som används i Europa (13 mode-cykeln).

Olikheterna i mätmetoderna gör att det inte går att jämföra mätresultatet mellan mätmetoderna.

	CO	HC	NOx	Partiklar
US Fed 1988-90 transient (g/kWh)	20,8	1,7	8	0,8
US Fed 1991 transient (g/kWh)	20,8	1,7	6,7	0,33
US Fed 1994 transient (g/kWh)	20,8	1,7	6,7	0,13

Tabell 6.1 Stegvis skärpning av US Fed-krav

Kraven i US Fed 1988-90 kan i stort sett uppfyllas med dagens motorer.

	CO	HC	NOx	Partiklar
ECE R49 13 mode (g/kWh)	11,2	2,5	14,4	-
ECE R49-50% 13 mode (g/kWh), (prel förslag för Sverige fr o m 1995)	4,9	1,2	9,0	0,13

Tabell 6.2 Europeiska krav med förslag till svensk skärpning

I avsnitt 2.3 beskrivs vilka förutsättningar som ska gälla för att beslut om demonstrationsprojekt med naturgasdrivna bussar i linjetrafik skall vara meningsfulla att fatta.

I avsnittet skisseras "signifikant förbättrade emissionsnivåer" såsom den viktigaste förutsättningen.

TNO, Delft, Holland och Ontario Research Foundation i Toronto, Kanada, vilka troligtvis är världens främsta forskningsinstitutioner inom området gasformiga bränslen för fordonsmotorer, bedömer dessa nivåer som möjliga att nå med Ottokonverterade naturgasdrivna bussmotorer.

Utvecklingen av krav på emissionsförbättringar har under de senaste åren ökat. Avgasreningsdebatten i USA har f n avtagit något, troligtvis för att man har ett utarbetat program för en tid framåt, medan man i Skandinavien, Kanada, Västeuropa, Japan och Australien för debatten vidare utan tecken på utmattning.

De politiska strömningarna i Sverige pekar entydigt på kraftigt ökade krav på låga emissioner, inte bara som hittills på personbilar, utan också på övriga typer av fordon. Att förutspå vilka krav som kommer är svårt. Från miljödepartementet har nyligen uttalats att de svenska motortillverkarna redan nu måste påbörja utveckling av "miljövänliga" motorer som kan uppfylla långt strängare krav än hittills beslutade eller föreslagna. Detta uttalande ger en klar indikation om att kraven på sikt kommer att skärpas. Förmodligen kommer detta att ske på två fronter. Den första är att kräva ytterligare förbättringar på de områden där regleringar redan finns. Den andra är att utvidga de reglerade områdena. Detta innebär utveckling av mätmetoder för emissionsbeståndsdelar vilkas karaktär och miljöeffekter man f n har begränsade kunskaper om.

På avgaslaboratoriet i Studsvik registrerar man ett 15-tal ämnen utöver de som är reglerade för fordon. Bland dessa återfinns:

Polyaromatiska kolväten däribland bens (a) pyren

Metyl nitrit	Etylnitrit
Metanol	Etanol
Etylen	Propylen
Bensen	Toulen
Etylbensen	Formaldehyd
Acetaldehyd	Acrolein

För dessa ämnen beräknas också mutageniciteten.

6.2 Bränslets sammansättning

Naturgasens kemiska sammansättning är, i förhållande till de flesta övriga använda drivmedel, enkel. Detta betyder att det sannolikt är lättare att nå låga emissionsvärden vid optimering, förbränning och avgasbehandling.

6.3 Emissionsmätning av naturgasdrivna bussar

Hamilton Street Railways i Kanada kör fem bussar i ett demonstrationsförsök. Emissioner är mätta vid två tillfällen, en gång 1986 och en gång i maj 1987. I mellantiden har åtgärder vidtagits för att förbättra emissionerna.

	CO	HC	NO _x	Partiklar
Iveco, Hamilton, Kanada mätning nr 1, transient (g/kWh) grundutförande	1,74	2,2	23,4	0,04
Iveco, Hamilton, Kanada mätning nr 2 transient (g/kWh) efterjustering, preliminärt	1,2	2,3	18,7	ej redovisat

Tabell 6.3 Mätningar i Hamilton Källa: (ORF)

I början av 1987 färdigställde Scania tillsammans med TNO en sugmotor av typ D 11 för Buenos Aires i Argentina. Denna motor optimerades endast för ett maximalt effektuttag. Ingen emissions-optimering är gjord.

Scania redovisar följande emissionsmätning på denna motor.

	CO	HC	NO _x	Partiklar
Scania D11 Argentina 13 mode (g/kWh)	3,8	3,7	17,3	ej redov.

Tabell 6.4 Mätning enl. 13 mode-cykel
(Källa: Saab-Scania)

I övrigt finns ett mycket begränsat antal mätningar på naturgasdrivna bussmotorer, för jämförelsens skull redovisas här några mätvärden från Volvo motortyp THD 100 och Scania motortyp D 11 konverterade för LPG-drift hos SL och ML, samt en Cummins motortyp NTC 400 körd med 25-40% naturgas och 60-75% diesel i blandning.

	CO	HC	NO _x	Partiklar
Volvo LPG, 13 mode (g/kWh)	5,3	4,2	7,9	Ej redov
Scania LPG, 13 mode (g/kWh)	5,6	2,2	21,4	Ej redov
Cummins CNG, 13 mode (g/kWh)	7,75	5,61	8,64	Ej redov

Tabell 6.5 Mätningar enl. 13 mode-cykel, andra alternativa drivmedel (Källa: SNV Studsvik och TNO)

6.4 Mutagena effekter

Avgaser från förbränningsmotorer har länge misstänkts kunna bidra till utvecklingen av cancer genom sin mutagena effekt. Något definitivt och kvantifierbart mått på cancerrisken vid exponering för avgaser finns inte framtaget i dag.

De ämnen som i första hand anses kunna vara cancerframkallande är olika polyaromatiska kolväten (PAH) såsom bens(a)pyren. Mängden av dessa ämnen är dock inget bra mått på cancerrisken, då kombinationer av flera ämnen i små mängder kan ge mycket stora skadeverkningar.

Ett försök att kvantifiera riskerna är att mäta emissionernas mutagenisitet vilket kan göras med ett så kallat Ames-test. I detta test utsätts en stam av speciella salmonellabakterier för ett extrakt framtaget ur bortfiltrerade partiklar i avgaserna. Därefter räknas det antal mutationer eller "revertanter" som uppstått i den exponerade bakteriemassan.

Genom detta test är det således möjligt att mäta hur benägen en viss typ av avgaser är att orsaka mutationer hos levande celler. Testet avslöjar dock inte vilka ämnen som orsakar mutagenisiteten. Resultatet av testet presenteras i rev/km, som således är antal revertanter per kilometer körsträcka för ett visst fordon kört enligt en specificerad körcykel.

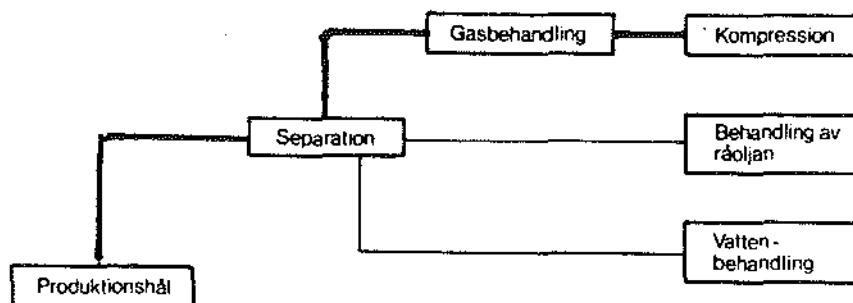
Tester av detta slag visar på en mutagenisitet för olika typer av bränslen och motorer enligt tabell 6.6.

Fordonstyp och bränsle	Mutagenisitet rev/km x 10 ⁻³
Dieselfordon för den svenska marknaden	400
Bensinfordon för den svenska marknaden	40
Bensinfordon med tre- vägskatalysatorer	2
Motorgas i konverterad bensindriven bil	1,5

Tabell 6:6 Mutagenisitet för olika typer av motorer och bränslen.
Källa: Bilar och renare luft SOU 1983:27, 28

6.5 Miljöeffekter vid tillförsel av naturgas

Naturgas behandlas och renas alltid, innan den distribueras ut i rörledningssystemen.



Figur 6:1 Reningssteg i naturgasens distributionskedja

Gas- och oljeblandningen leds först till en separator, där naturgasen, oljan och vattnet skiljs åt. I behandlingsanläggningen skiljs tyngre kolväten och vatten samt svavelväte och koldioxid också ut. Naturgasen behandlas därefter så att vattenånga, samt eventuella partiklar avskiljs. Slutligen komprimeras gasen till lämpligt drifttryck.

Vattnet från separationen är vanligtvis så rent att det inte behöver behandlas och kan därför direkt pumpas tillbaka till källan.

Naturgasen som kommer till behandlingsanläggningen innehåller endast små mängder vattenånga och kondensat av tyngre kolväten, eftersom dessa redan avskiljts ute på plattformarna. Behandlingsanläggningen är dock dimensionerad utan hänsyn till denna förbehandling.

Avskilda tyngre kolväten, s.k. kondensat, kommer att pumpas över till den ledning för den danska nordsjöoljan som passerar nära intill behandlingsanläggningen.

Avskilt svavelväte omvandlas till rent svavel i fast form. Den danska nordsjögasen har så låga halter svavelväte som 0,3 mg per Nm³, vilket är betydligt lägre än vad som brukar vara vanligt efter svavelrening. Av detta skäl är svavelreningsanläggningen tills vidare inte i drift.

Naturgasens kvalitet och mängd mäts i behandlingsanläggningen innan gasen går in i ledningssystemet.

Den första naturgasen, som kom till Sverige sommaren 1985, distribuerades i ett rörledningssystem, och det är troligt att framtida transport av naturgas till och inom Sverige kommer att vara rörbunden.

Jämfört med den raffineringsprocess som oljor, bensin och LPG måste gå genom för att kunna användas torde det stå klart att det ur produktionssynpunkt finns avsevärda miljöfördelar att nå med en ökad användning av naturgas. Även distributionen av gas har fördelar jämfört med olja.

6.6 Miljöeffekten vid tillförsel av biogas

Biogas eller rötgas bildas där organiskt material bryts ned under anaeroba (utan tillgång till syre) förhållanden.

För att få biogasen identisk med naturgasen, måste den renas från koldioxid, svavelväte etc, vilket medför att en gasreningsanläggning och kompressoranläggning måste byggas.

För miljön innebär reningen inga negativa effekter, eftersom man i avgående vatten får så låga föroreningshalter, att de direkt kan släppas ut i avloppsreningsverkets recipient.

Se vidare kap 9.

7. PROVBÄNKSKÖRNINGAR

7.1 Allmänt

De prov och demonstrationsprojekt som drivs på olika håll i världen har enligt vår vetenskap nästan uteslutande drivits med andra mål än de som redovisas i denna förstudie. Sverige, och stora delar av västvärlden, har generellt en helt annan definition av förbättrade avgasvärden än vad länder i andra delar av världen har, vilket kan exemplifieras enl. följande:

I Mexico City har provprojekt med naturgasdrivna bussar och andra fordon gjorts för att förbättra luftmiljön i staden. Mexico City har, om inte det värsta, så ett av de värsta luftföroreningsproblemen i världen. Då man i sådana fall talar om förbättrade avgasvärden med naturgasdrivna fordon råder det inget tvivel om att man når avsedd miljöeffekt bara genom att konvertera motorer till naturgasdrift utan att i övrigt utveckla tekniken mot bättre emissioner.

Med den typen av optimerade naturgasmotorer som man använder, kan man inte ge dessa fordon samma förbättrande rubricering i Sverige eftersom definitionen av förbättring är relaterad till kravnivån vid starttillfället. Varje projekt med naturgasdrivna fordon som miljöförbättrande alternativ är eller bör vara kopplat till en mätbar definition av hur miljöförbättringen ska visa sig och hur stor den ska vara.

Sverige som, vid sidan av Nordamerika, har de största kraven på miljön, har därför en annan definition på vad som är förbättrande för miljön.

Arbetet med denna rapport har visat att det inte går att hämta erfarenheter från projekt med tillräckligt höga krav på emissionerna från annat håll i världen. Det är därför ett alltför stort steg att för emissionsprovning påbörja ett demonstrationsprojekt direkt med naturgasdrivna bussar i trafik.

Erfarenheter från tidigare konverterade bussmotorer visar att långvarig och metodisk komponent- och motorutveckling behövs för att uppfylla emissionsmålen. Denna utveckling kan endast göras i ett motorlaboratorium och inte i buss.

Om man tidigt önskar göra prov med t ex tanksystem i bussar utan att invänta motoroptimeringen, måste man bestämt avhålla sig från att mäta och publicera emissionsvärden från sådana bussar.

7.2 Provplatser

För att göra bänkprouv finns följande typer av platser att välja mellan:

- o Hos aktuella motortillverkare
- o Hos forskningsföretag och institutioner med inriktning på att forska kring gasformiga fordonsbränslen
- o Hos fristående provnings/utvecklingsbolag

Motortillverkare

Aktuella motortillverkare är de svenska företagen, Scania och Volvo, vilka båda visat intresse för att delta i ett demonstrationsprojekt med naturgasdrivna bussar. Vid sidan av erfarenheterna med LPG-bussarna har dessutom Scania låtit konvertera en 11 liters motor (typ D11) till naturgasdrift hos TNO. Motorn beställdes av SAAB-Scantias dotterbolag i Argentina, men är inte optimerad ur avgassynpunkt.

Scania och Volvo kan i sina laboratorier utföra prov enligt såväl 13 mode-cykeln som transientcykeln. Tillgången till laboratorieutrustningen är begränsad eftersom båda företagen inriktar sin utveckling på dieseltekniken. Frågan om en konverterad naturgasmotor kan beredas plats i egen provbänk är en prioriteringsfråga, speglad av tilltron till marknadsutvecklingen och kommande motorkrav. Volvo kommer tidigast våren 1988 att ha tillgång till naturgas i Göteborg och Scania 1992 i Södertälje.

Av övriga europeiska motortillverkare har Daimler-Benz AG i Stuttgart och M.A.N. gjort ett antal konverteringar och visat på möjligheter till emissionsförbättringar. Amerikanska Cumming, Mack och Caterpillar arbetar med samma frågor.

Forskningsföretag

Två av de mest framstående forskningsinstitutionerna är som tidigare nämnts holländska TNO och kanadensiska ORF i Toronto, Kanada. Det finns även andra forskningsföretag inom området. I de andra fallen är de dock inriktade på forskning kring andra alternativ, än drift med 100% naturgas.

TNO, som har varit inblandat i de flesta europeiska gaskonverteringsprojekt och många utomeuropeiska, utför såväl egen forskning och produktutveckling som av stat och näringsliv beställd forskning.

TNO har tillgång till sex provbänkar och kan i dem göra prov enligt bl a 13 mode-cykeln testet. Utrustningen ger inte möjlighet att genomföra prov enligt transient-cykeln. Förstudien av en motor görs genom att programmera vissa grundvärden i en dator och som resultat därav, i bänk, påbörja och genomföra optimeringen för att nå uppställda mål. (Se vidare bilaga 2).

ORF har utfört del av konverteringen, samt hela optimeringen av de fem Ivecomotorer som används hos Hamilton Street Railways, Ontario, Kanada. Avsikten med deras prov är i huvudsak att optimera motorerna för att minst nå de avgaskrav som införs i USA 1991, med tillräckligt effektuttag och utan katalysator.

ORF har tillgång till nio provbänkar och kan mäta avgasemissionen enligt såväl 13 mode-cykeln som transient-cykeln. Därutöver har man program och utrustning för ett antal andra cykler. (Se vidare bilaga 1). Grundinställningen hos ORF är att i möjligaste mån utnyttja motorns och bränslets grundläggande fysikaliska egenskaper. Via en noggrann praktisk kartläggning utför man sedan optimeringen för att nå uppställda mål (se vidare bilaga 1).

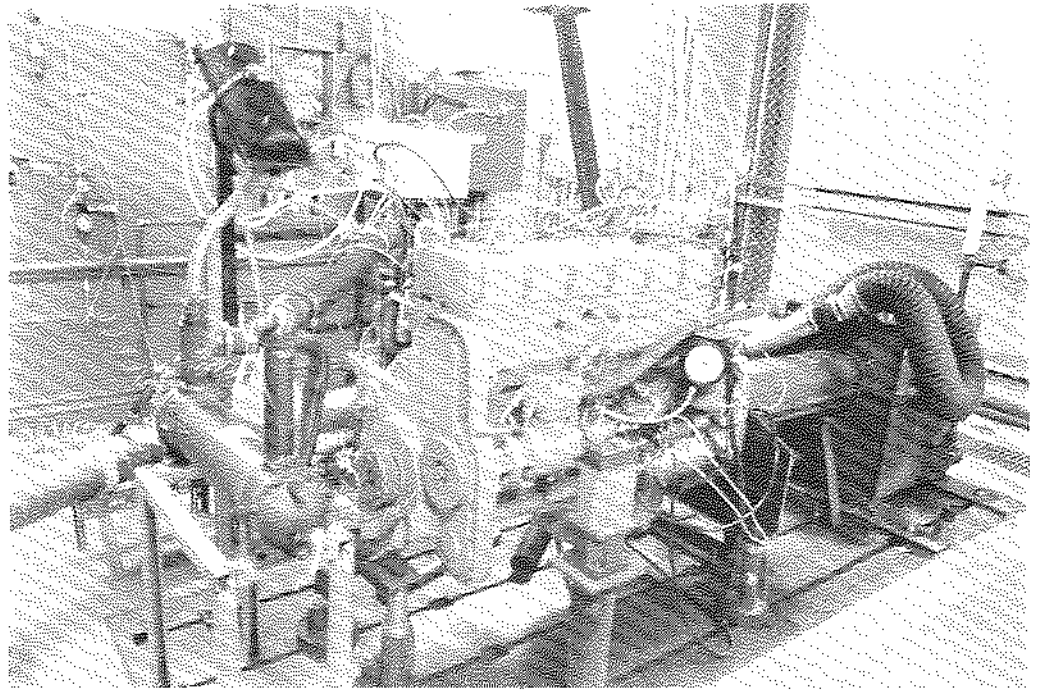


Bild 7:1 Ivecomotor i provbänk hos ORF

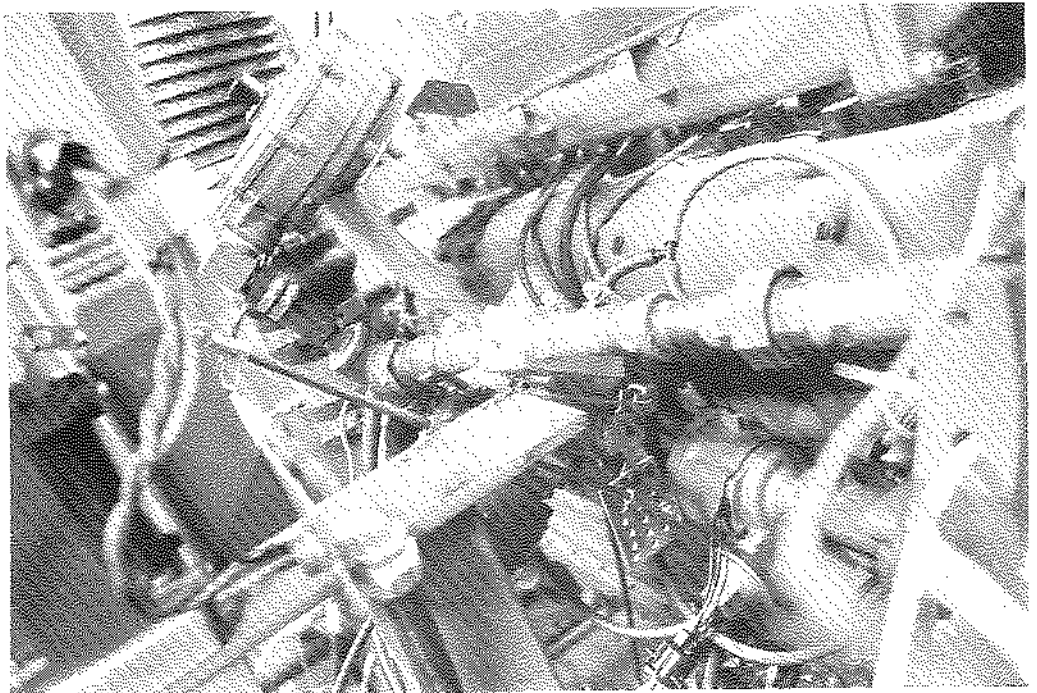


Bild 7:2 Ledning för naturgastillförsel och blandningsutrustning hos motor i provbänk.

Fristående

Bland fristående företag finns i Sverige bl a United Stirling beläget i Malmö, vilka visat intresse av att genomföra prover. Man har broms- och mätutrustning samt ett stort motorkunnande. Man har ingen erfarenhet av gasformliga bränslen i motorer, men har fördelen av att ha tillgång till naturgas. Något test enl. 13-mode eller transient kan inte utföras eftersom erforderlig mätutrustning saknas.

Under våren 1987 erhöll United Stirling en STU-finansierad beställning inom Volvos etanolprojekt. Man utför prov med kombinationer av tändförbättrare och med diesel som tändbränsle.

United Stirling arbetar i samarbete med SNV Studsvik, Volvo och Scania i den sk "Samgruppen" som samverkar för enhetlig mätning och kalibrering mellan de olika svenska provningsplatserna.

I Studsvik (Naturvårdsverkets provplats) kan transient-cykeln köras i chassidynamometer. Med samma utrustning kan man utföra ett 13 mode-liknande test. I Studsvik finns dock inte möjlighet att utföra optimeringar eller verkstadsarbete under pågående prov.

7.3 Prov av tekniska alternativ

I kapitel 4.5 anges ett antal, i industrin väldokumenterade tekniska alternativ och system. Dessa kan ligga som grund för de inledande försöken och optimeringsproven.

Det är svårt eller omöjligt att förutspå vilket alternativ eller vilka kombinationer av alternativ och system som ger bästa resultatet. Vissa uttalanden och teorier finns dock:

Horst Bergman, Daimler Benz

Eftersom NO_x -emissionerna minskar vid stort luftöverskott och då gasformiga bränslen, i högre grad än flytande, är lämpade att köras med stort luftöverskott bör reduceringen av NO_x -värden kunna ske på det sättet. Denna åtgärd sänker också CO-värdena.

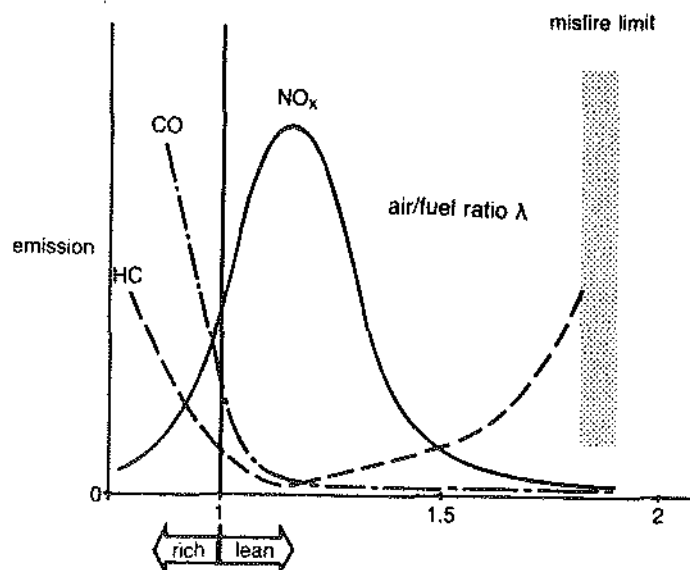


Fig 7:1 Diagram över avgasemissionen vid olika bränsle/luftblandningar (källa Daimler Benz)

CO och HC bör enligt Bergman tas om hand i en oxiderande katalysator.

Wendel Goetz, ORF

Efter en kartläggning av motorn bör dess egenskaper och gasens egenskaper utnyttjas optimalt med:

- o Turboaggregat
- o Avgasåtercirkulation
- o Intercooler
- o Förändrade kamaxeltider
- o Ändrat utförande av kolv och förbränningskammare

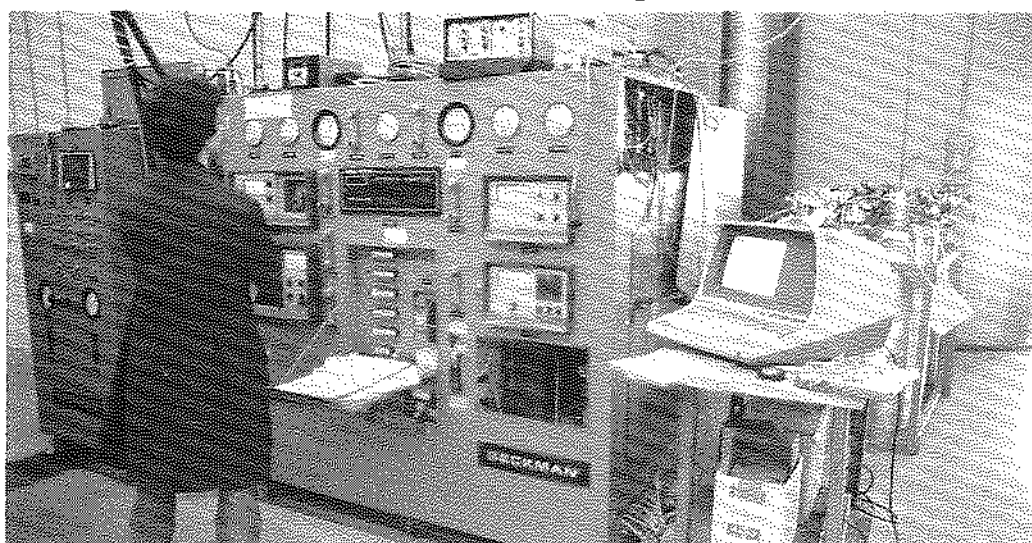


Bild 7:3 Datorutrustning för behandling av uppgifter från provbänkskörningar

Först efter att ha provat ovanstående typer av förändringar är man beredda att aptera katalysatorer av olika slag. Goetz grundläggande uppfattning är dock att de signifikant förbättrade avgasvärdena kan uppnås redan utan katalysator.

Jan Jean Seppen, Joep van Ling, TNO

Den säkraste lösningen är att styra förbränningen till ett stökiometriskt bränsle/luftblandningsförhållande ($\lambda = 1$) och använda trevägskatalysator, eftersom kraven är högt ställda. Mekaniska förändringar i motorn kommer enl. TNO, troligtvis inte att vara nog i detta fall.

TNO:s uppfattning är också att en lösning med trevägskatalysator förbättrar ett antal mätbara men ännu ej reglerade ämnen i den totala emissionsprofilen.

Det har uttryckts farhågor kring möjligheten att styra ett gasformigt bränsle till en kontinuerlig stökiometrisk blandning ($\lambda = 1$). Samtidigt finns en osäkerhet kring om en katalysator kan behandla HC-halten om avgaserna har för stort inslag av oförbränd metan (ren naturgas).

En väl genomförd optimering i provbänk torde kunna ge svar på dessa och fler frågor.

7.4 Kostnader

Som underlag för beräkningen av kostnader för ett projekt av denna typ finns budgetofferter från såväl ORF som TNO (se bilaga 1 och 2). Dessa offerter tar endast upp kostnaden för eget arbete och är inte en slutgiltig offert.

En sammanställning av kostnaderna för en motor inklusive de kostnader som inte tas upp i offerterna kan se ut enl. följande:

Kostnadspost (kkr)	ORF	TNO
Projektering, offertunderlag	60	40
Offertpris	800	1 000
Motor	200	200
Provkomponenter	150	150
Motortillverkarens insatser 20 dagar á 2 000 kr plus resor och omkostnader	100	80
Frakter	10	5
Dokumentation, rapportskrivning	80	75
Övrigt	200	200
	<u>1 600</u>	<u>1 650</u>

Tabell 7:1 Kostnader för optimering av prototypmotor i bänk

Det är troligen lämpligt att optimera mer än en motortyp i bänk och vid emissionsmätningar ta extra hänsyn till mutageniteten enligt kapitel 6.3.

7.5 Rekommendationer

Med hänsyn till den omfattning som ett optimeringsarbete som en Ottokonverterad dieselmotor för naturgas kräver rekommenderas att ett sådant arbete utförs i motorlaboratorium. Denna rekommendation görs oberoende av hur man i övrigt önskar bedriva utveckling och prov med fordonstanksystem och infrastruktur.

8. DEMONSTRATIONSPROJEKT MED NATURGASDRIVNA BUSSAR

8.1 Allmänt

För att få en praktisk utprovning av naturgasdrivna bussar behöver de köras i linjetrafik. Ett sådan demonstrationsprojekt kan ge svar på om tekniska frågor såväl som på frågan om de resultat provbänksoptimeringen givit fungerar i praktiken.

Vid det tidigare nämnda demonstrationsprojektet med gasformigt bränsle (LPG) som äger rum i Malmö och i Stockholm, körs svenska motorer enligt följande:

	Scania motortyp D11	Volvo motortyp THD 100
Malmö (ML)	1	1
Stockholm (SL)	2	2

Tabell 8:1 Motortyper och antal bussar i prov med LPG

Motorerna konverterades av TNO i Holland tillsammans med personal från Scania och Volvo och monterades därefter i bussarna.

Syftet med dessa prov var framför allt att utvärdera LPG som alternativ till diesel ur miljösynpunkt. Man avser också att utvärdera ekonomiska, tekniska och driftsäkerhetsmässiga faktorer.

De miljömässiga förbättringarna har visat sig vara mindre än man hade hoppats på och förvänta sig. Dock kunde man påvisa förbättringar inom vissa områden. Ekonomin blev avsevärt sämre än med dieseldrift (Se kapitel 5:2).

En lärdom av LPG-projektet är att stora insatser måste göras för att emissionsoptimera motorer innan de monteras i buss för ett demonstrationsprojekt.

8.2 Plats för demonstrationsprojektet

På grundval av bl a resultatet från LPG bussarna finns ett beslut i Malmö om att prova ytterligare alternativa drivmedel. Inledningsvis är avsikten att göra funktionsprov med ett lättvikts tanksystem i kompositmaterial för den komprimerade gasen, naturvilket skulle kunna hålla fordonets maximala axeltryck under 10 ton. Detta axeltryck är det övre tillåtna axeltrycket på svenska vägar. Denna gräns klarar man troligtvis inte med tankar i tyngre material. Som provbussar avser ML att använda LPG-bussarna, vilka redan har Otto-konverterade motorer. I ett senare skede sammanförs detta funktionsprov med ett prov med optimerade motorer till ett demonstrationsprojekt.

Det torde därför vara lämpligt att sammanföra intresset om signifikant förbättrade avgasvärden för bussar med de mål man syftar till att nå i Malmö.

Återstoden av detta kapitel bygger på att en sådan sammanföring kan ske och att motorer optimerade i provbänk så småningom används i Malmö.

8.3 Lokalisering av tankplats och depå

Naturgasen finns som tidigare nämnts sedan 1985 i Malmö. Malmö Energiverk har naturgas i samma kvarter som ML har sin bussdepå och har inlett diskussioner om samarbete med ML för att på ett smidigt sätt lösa distributionsfrågorna.

Uppförandet av tankanläggningen kommer att ske i Malmö Energi-verks regi. ME har för avsikt att installera en förhållandevis enkel anläggning som bygger på principen med långsam fyllning. Huvudkomponent i en sådan anläggning är gaskompressorn som under natten fyller de två bussarnas tankar till ett förinställt tryck. (Se vidare kap 3.4).

Då tankningsanläggningen är placerad intill ML:s bussgarage kommer ett demonstrationsprojekt med naturgasdrivna bussar inte att medföra några extra transportkörningar för tankning inom depån. Uppkoppling för tankning samt urkoppling och gångtiden kan beräknas till ca 15 min/buss/dag, vilket med 250 driftdygn per år innebär en total tidsåtgång på $0,25 \times 2 \times 250 = 125$ tim årligen.

8.4 Förslag till genomförande

Efter att motorerna optimerats och monterats i bussarna kan en inledande inkörningsperiod ägnas åt att befria bussarna från "barnsjukdomar", varefter en ren uppföljningsperiod börjar.

Demonstrationsprojektets (uppföljningsperiodens) längd bör vara minst ett år för att:

- o En utvärdering av systemets uppträdande under alla årstider, väderleks, trafik- och belastningssituationer ska kunna ske
- o Intrimning av personal skall hinna ske
- o En viss av körsträcka ska ha tillryggelagts i trafik
- o En kontinuitet i emissionsvärden ska kunna uppvisas.

Emissionsmätningar enligt 13 mode-cykeln eller transient-cykeln görs för att kartlägga naturgasens möjligheter att nå de krav man i Sverige ställer på emissioner från bussar. Det är av största vikt att noggrant mäta vilka emissionsvärden bussarna har vid valda tillfällen, att motorerna vid mättidpunkten är korrekt justerade och att alla bussar även i andra demonstrationsprojekt utsätts för samma mätprogram.

Därefter bör en utvärdering göras av ekonomi, passagerarsynpunkter mm för projektets alla delar.

8.5 Kostnadssammanställning

Kostnaderna för att genomföra demonstrationsprojektet som beskrivits i detta kapitel kan sammanställas enl. följande. Kalkylen bygger på att samma antal bussar körs på naturgas som tidigare kördes på LPG (2 st)

Bussar	kkkr
Ombyggnad av bef. motorer (2 st)	300
Tankar	125
Montering	100
Intrimning	50
Utbildning	50
Besiktning och godkännande	10
Övrigt	65
	=700

Tabell 8:2 Kostnadssammanställning, naturgasombyggnad av 2 st bussar

Tankstation	kkkr
Projektering	50
Godkännanden	20
Märkarbeten	30
Kompressor	300
Anslutningar, mätarutrustning adaptrar etc, el	100
Övrigt	50
	=550

Tabell 8:3 Kostnadssammanställning tankstation

Drift (12 mån)	kkkr
Extra tid vid tankning (250 tim á 175 kr)	45
Extra verkstadstid 200 tim	35
	=80

Tabell 8:4 Extra driftkostnader, två bussar

Övrigt (12 mån)	kkkr
Administration	50
Förevisningar, demonstrationer	25
Informationsmaterial	75
Rapportskrivningar	25
Emissionsmätningar (3 st) inkl. transport	300
	=475

Tabell 8:5 Sammanställning av övriga kostnader

Projektkostnaden för ett års drift med två naturgasdrivna bussar framgår av tabell 8:6. Drivmedelskostnaden och normalt underhåll medtages ej.

Kostnadspost	kkkr
1/3 av kostnaden från ORF/TNO*)	550
Bussar, konvertering	800
Tankstation	550
Drift	80
Övrigt	470
	=2 450

Tabell 8:6 Sammanställning av projektkostnader

*) Ett biogasprojekt i Stockholm antas bära
2/3 av totalkostnaden på 1.650 kkr

8.6 Rekommendationer

Det rekommenderas att den inledande motoroptimeringen och funktionsprov med tanksystem och infrastruktur följs av ett demonstrationsprojekt med naturgas i mindre skala för att studera miljöeffekter. Lämplig plats för detta demonstrationsprojekt är Malmö (ML), där två Ottokonverterade bussar finns tillsammans med ett uttalat intresse för naturgas.

9. DEMONSTRATIONSPROJEKT MED BIOGASDRIVNA BUSSAR

9.1 Allmänt

Biogas produceras i flera av landets avloppsreningsverk.

Tillgången på överskottsgas från dessa anläggningar varierar beroende på hur biogasen används. Det går därför inte att ange generellt vilken total potential som finns utan att först ha studerat förutsättningarna noggrannare.

Ett exempel visar att det i Stockholms avloppsreningsverk produceras ca 50 000 m³ biogas/dygn. Denna gasmängd skulle kunna ersätta ca 35 000 l dieselolja. En del av denna gasmängd användes redan för uppvärmningsändamål såväl internt som externt. Det finns dock betydande gasmängder, som skulle kunna användas till andra ändamål.

Under åren 1940-45 användes biogas bl a i Stockholm som drivmedel till bussar. Anledningen till användandet då var bristen på annat bränsle.

Fortsättningsvis begränsas denna redogörelse till att omfatta endast Henriksdals avloppsreningsverk, vilket är Stockholms största avloppsreningsverk. Anledningen är att detta avloppsreningsverk är en mycket stor biogasproducent, samtidigt som en av SLs större bussdepåer, Söderdepån, finns i närheten.

Vid verket produceras i dag ca 8 milj m³ biogas/år.

Gasproduktionen används på följande sätt:

- o Ca 1 milj m³ biogas/år förbränns i en separat panncentral, som värmer ett bostadsområde.
- o Ca 4 milj m³ biogas/år används för ändamål inom avloppsreningsverket.
- o Ca 3 milj m³ biogas/år facklas bort.

Huvuddelen av ovanstående fackling sker under perioden april-oktober. Det bör dock finnas möjligheter till att sänka internförbrukningen respektive öka gasöverskottet. Dessa åtgärder har inte varit ekonomiskt motiverade tidigare, beroende på att externanvändare saknats i tillräcklig omfattning.

Nuvarande gasöverskott skulle räcka till att driva ca 100 innerstadsbussar med en genomsnittlig körsträcka av 150 km/dygn med en förbrukning av 5 l diesel/10 km.

9.2 Förädling av biogas

Biogas eller rötgas bildas då organiskt material bryts ned under anaeroba (utan tillgång till syre) förhållanden.

Biogasens sammansättning vid rötning av kommunalt avloppsslam kan variera inom vissa tämligen väl kända gränser. Normalt innehåller en icke förädlad biogas följande ämnen och mängder:

Ämne		Volym-%
Metan	CH ₄	65-75
Koldioxid	CO ₂	23-35
Kväve	N ₂	1-1,5
Väte	H ₂	0-3
Syrgas	O ₂	0-1
Koloxid	CO	0-0,3
Svavelväte	H ₂ S	0,001-0,1
Vattenånga		ca 15 g/Nm ³
Suspenderade partiklar		0,05 g/Nm ³

Tabell 9:1 Biogasens sammansättning före rening

Då bi gasen användes som drivmedel för fordon renas den först från svavelväte, vattenånga och partiklar, vilka kan orsaka korrosion och slitage i motorerna. Koldioxiden tas bort för att öka gasens energitäthet.

Genomförs ovanstående rening erhålls en förädlad biogas, som innehåller följande ämnen och mängder:

Ämne		Volym-%
Metan	CH ₄	93-98
Koldioxid	CO ₂	1-4
Kväve	N ₂	1-1,5
Väte	H ₂	0-3
Syrgas	O ₂	0-1
Svavelväte	H ₂ S	(0,0001-0,01) (1-100) mg/Nm ³ (1-5) mg/MJ Jfr svavelhalten i naturgas 1 mg/MJ resp Eo1 70 mg/MJ
Vattenånga	H ₂ O	1-3 g/Nm ³

Tabell 9:2 Biogasens sammansättning efter rening

Med fyra bussar i drift, vilket är det antal som diskuteras, blir demonstrationsanläggningen av den storleksordningen att två stycken gasreningsprinciper kan diskuteras:

Alternativ A (mindre anläggning)

I denna anläggning reduceras såväl koldioxid (CO_2) som svavelväte (H_2S) i ett och samma steg. Reduktionen sker vid atmosfärstryck och som absorptionsmedel används lut (NaOH). Metanhalten beräknas bli högre än 95% och svavelvätehalten ungefär likvärdig med naturgas, d v s ca 1 mg/Nm^3 . En stor nackdel med att reducera koldioxid (CO_2) med lut är den stora åtgången på just lut.

Reduktionen går i princip till på följande sätt: Den råa biogasen tvättas i en kolonn, där gasen tillförs nedtill och luten upptill på kolonnen. Koldioxiden reagerar med luten och det bildas natriumkarbonat, som är lösligt i vatten. Natriumkarbonaten tas ut från botten av kolonnen och kan ledas till avloppsnätet. Natriumkarbonaten går ej att återanvända.

För en kapacitet av 550 m^3 rå biogas/dygn (kontinuerlig drift av 4 st bussar) krävs 336 kg lut(NaOH)/dygn. Lut kostar ca 3 kr/kg och således uppstår en lut-kostnad på ca $1\,000 \text{ kr/dygn}$. Den mängd gas man erhåller motsvarar 330 l diesel. Vid ett pris av $1,6 \text{ kr/l}$ är dieselns värd 528 kr . Det blir således nästan dubbelt så dyrt att få fram renad biogas med ovanstående metod som vad motsvarande dieselbränsle är värt och då har endast hänsyn tagits till lutkostnaden.

Ovanstående metod är enkel och fungerar bra, samtidigt som den ger en hög reduktion av koldioxid (CO_2) och svavelväte (H_2S). Metoden kan dock ej bli kommersiellt gångbar och bör därför begränsas till försök med små gasmängder.

Alternativ B (större anläggning)

I denna anläggning reduceras koldioxid (CO_2) och svavelväte (H_2S) i två skilda steg. I steg 1 sker reduktionen under tryck. Som absorptionsmedel används renat utgående avloppsvatten (alternativt rent vatten). I steg 2 "putsas" biogasen med lut. Metan/svavelvätehalten beräknas efter steg 1 blir ca 93% respektive max 100 mg/Nm^3 . Nämnas kan att MWM (tysk dieselmotortillverkare) anger av korrosionsskäl 2 300 mg svavelväte som ett övre gränsvärde.

I steg 2 putsas gasen med hjälp av lut. Huvuddelen av koldioxiden tas bort i steg 1 och därmed går betydligt mindre mängder lut åt i detta steg. Metan/svavelvätehalten beräknas efter steg 2 blir 97-98% respektive $1-5 \text{ mg/Nm}^3$.

Den råa biogasen (se fig 9:1) trycksätts till ca 3 bar och tvättas därefter i steg 1, där gasen tillförs nedtill och renat avloppsvatten upptill en på kolonn. Koldioxiden löser sig i vattnet och tas ut ur botten av kolonnen tillsammans med vattnet. Att tvätta bort koldioxid med vatten är en vanlig metod och anläggningar avsedda för biogas finns bl a i Västtyskland och på Nya Zeeland. Utförandet på anläggningarna kan variera från "hemmabyggen" till mer sofistikerade industrianläggningar. En anläggning av det sofistikerade slaget finns i Västtyskland (Mönchengladbach). Anläggningen byggdes 1982 och har kapaciteten 450 m^3 biogas/tim. Investeringskostnaden uppgick till 1 milj D-mark. Driftkostnaden för anläggningen uppgår till 2,4 öre/producerad kWh.

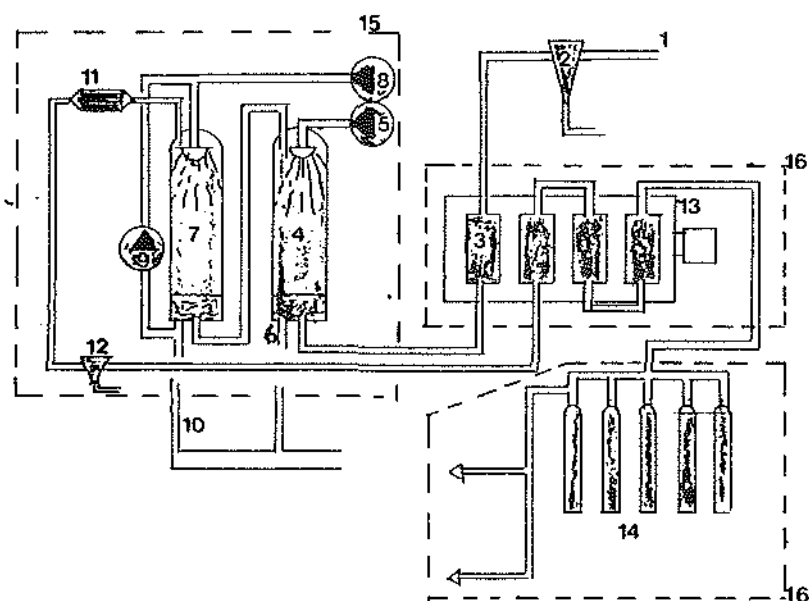
Anläggningen i Västtyskland använder sig av kommunalt renvatten och förmodligen härrör sig större delen av driftkostnaden till inköp av vatten.

I den skisserade anläggningen är avsikten att använda utgående renat avloppsvatten, varvid såväl driftkostnaden som anläggningskostnaden reduceras. Driftkostnaden för steg 1 med utgående avloppsvatten blir i praktiken försumbar.

I steg 2 "putsas" gasen med hjälp av ytterligare en kolonn. I princip är kolonnerna identiska, med undantag av att man tillsatt lut till tvättvattnet i den ena.

För en kapacitet av 550 m^3 rå biogas/dygn (kontinuerlig drift av 4 st bussar) krävs ca 25 kg lut/dygn. Vid ett pris av 3 kr/kg blir således lutkostnaden 75 kr/dygn eller 2,5 öre/producerad kWh.

Ett flertal andra gasreningsalternativ än ovan nämnda finns tillgängliga. Med fördelen av att ligga i angränsning till ett avloppsreningsverk är det endast alternativ B, som är aktuellt demonstrationsprojekt av denna storlek eller i ett storskaligt projekt.



1. Inkommande rå biogas
2. Cyklon
3. Komprimering till ca 3 bar
4. Steg 1 tvättning med renat avloppsvatten
5. Tryckstegring avloppsvatten
6. Vatten med CO₂ till utgående avloppsvatten
7. Steg 2 tvättning med natriumhydroxid
8. Doseringspump natriumhydroxidlösning
9. Cirkulationspump natriumhydroxidlösning
10. Natriumkarbonat till utgående avlopp
11. Kylsteg
12. Cyklon
13. Fyrstegs kompressor
14. Mellanlager
15. Container(6*2.4*2.5)
16. Container(3*2.4*2.5)

Figur 9:1 Reduktion av koldioxid (CO₂) och svavelväte (H₂S) med hjälp av tryckvatten och lut

En mycket stor fördel med att bygga demonstrationsanläggningen efter samma mönster som storskaleanläggningen är att demonstrationsanläggningen utgör ett underlag vid byggandet av en storskaleanläggning.

9.3 Lokalisering av förädlings- och tankningsanläggning

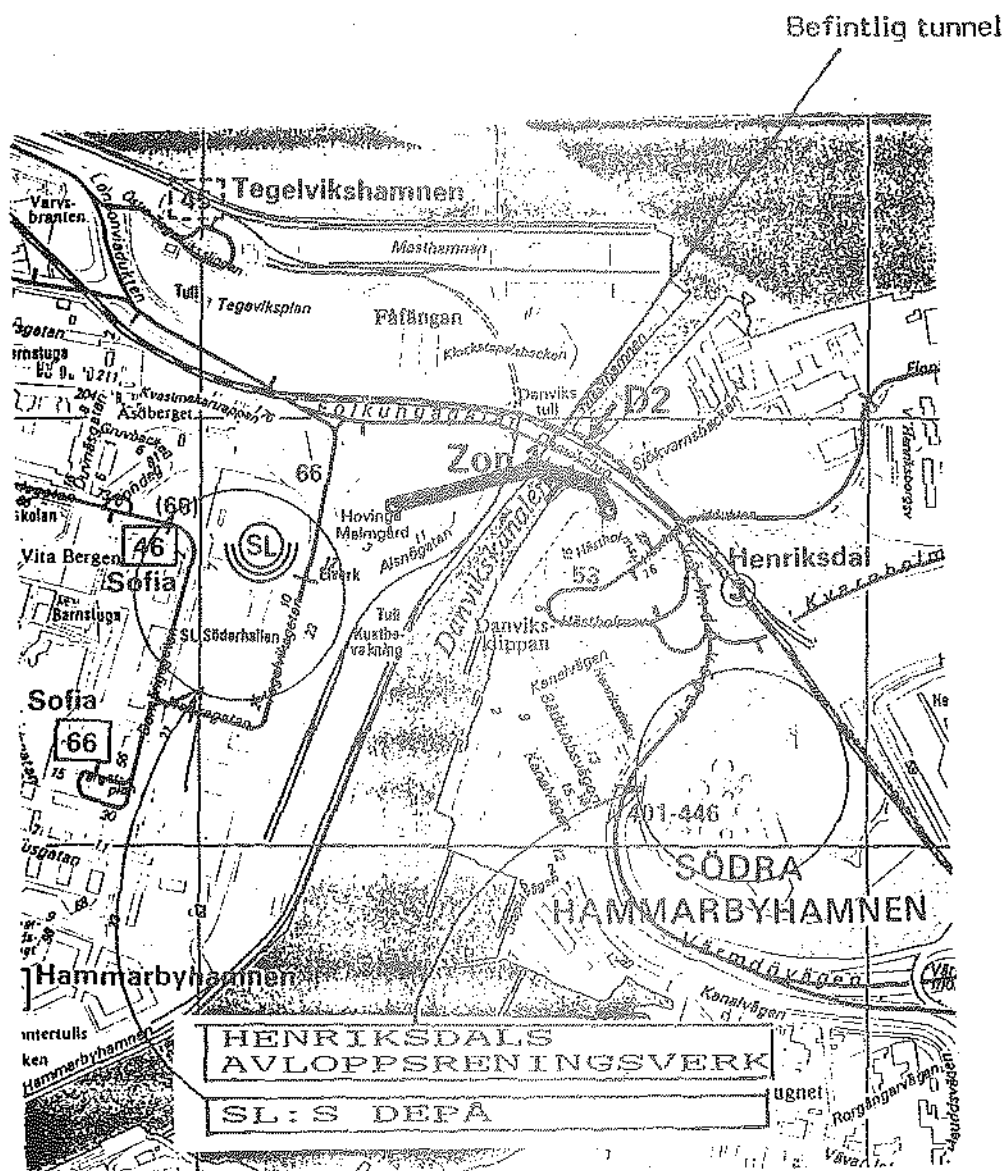
För att biogasen skall bli så lik naturgasen som möjligt måste den renas. Detta medför att en provisorisk gasreningsanläggning och kompressoranläggning måste byggas.

Ur kostnadssynpunkt är det ej rimligt att i en demonstrationsanläggning överföra biogasen från avloppsreningsverket till SLs depåstation (Söderdepån) med hjälp av rörledning, vilket medför att såväl gasreningsanläggning som tankställe för bussarna bör förläggas i anslutning till avloppsreningsverket.

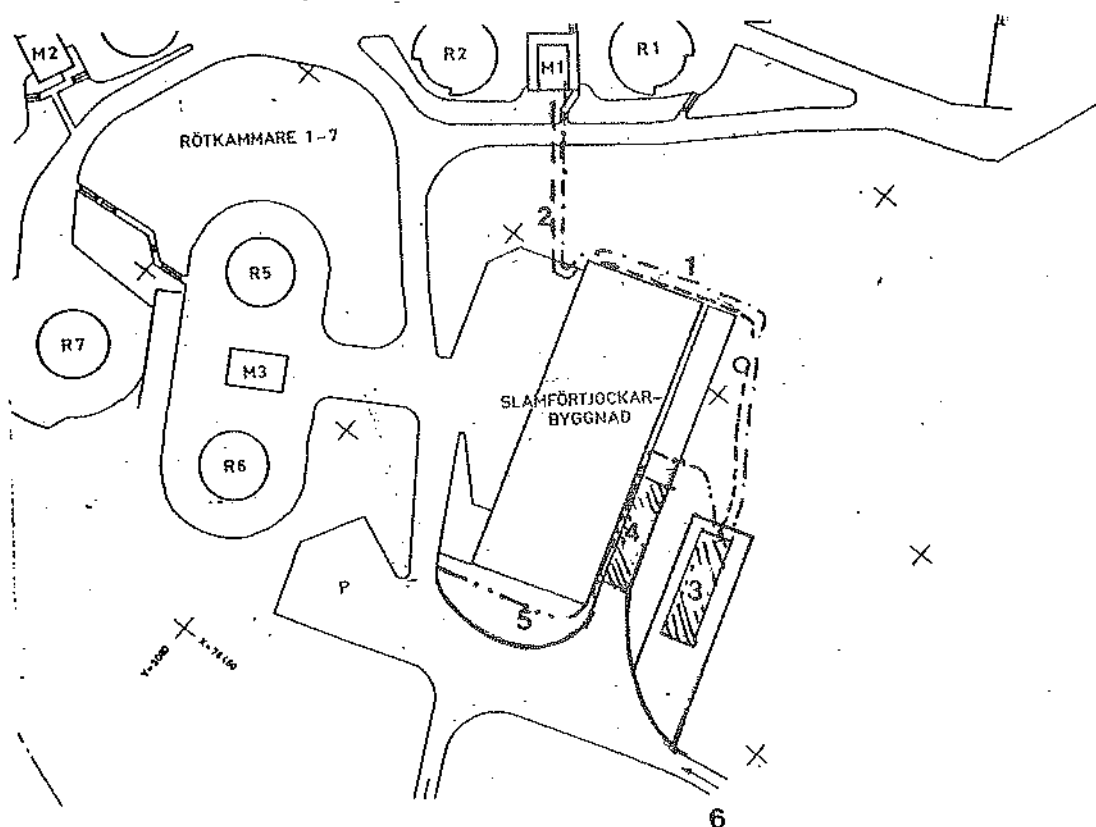
Lämplig plats att förlägga ovanstående utrustning är på toppen av Henriksdalsberget, där biogasen är lättåtkomlig samtidigt som vägar-
na inom området tål tunga transporter.

Demonstrationsanläggningens utförande bestäms av hur många bussar anläggningen skall betjäna. Det är aktuellt med att prova fyra bussar. Bussarna antas få en sammanlagd körsträcka av 60 mil/dygn (15 mil/dygn, st). Med en dieselförbrukning av 5 l/10 km, krävs 300 l diesel/dygn. Utländska erfarenheter visar att förbrukningen av naturgas är 1,1 Nm³/l diesel. Energitätheten i renad/förädlad biogas är ca 10% lägre än i den danska naturgasen vilket torde innebära en förbrukning på ca 1,2 Nm³ biogas/l diesel. Den totala förbrukningen av renad/förädlad biogas skulle därmed bli knappt 400 Nm³/dygn.

För att i ett storskaligt projekt överföra biogasen från Henriksdals avloppsreningsverk till SLs depåstation, föreslås att en idag icke nyttjad bergtunnel användes, fig 9.2. Tunneln går från avloppsreningsverket till Danviksbrons landfäste på Söder d v s under Danvikskanalen. Från landfästet på söder till Söderdepån kan man förlägga gasledningen i befintligt parkområde (gräsmatta).



Figur 9:2 Inbördes läge för Henriksdalsverket och SL's Söderdepå i Stockholm



1. Avloppsledning
2. Gasledning
3. Uppställningsplats containers (20 x 4 m)
4. Uppställningsplats buss (20 x 4 m)
5. Renat avloppsvatten tryckvatten
6. Väg från Henriksdalsringen

Fig 9:3 Förslag på utformning, demonstrationsanläggning

Förslag på utformning av demonstrationsanläggning för fyra bussar:

- o Med anledning av tidigare resonemang utformas gasreningen enligt alt B.
- o Gasreningsanläggning, luttankar, styrutrustning etc placeras i en sjöcontainer med cirkamåtten 6 x 2,4 x 2,5.
- o Kompressor­anläggning, mellanlager placeras i var sin sjöcontainer med cirkamåtten 3 x 2,4 x 2,5.
- o Gasledning, utgående renat avloppsvatten, avloppsvattenledning ansluts till respektive container.
- o Anläggningen försörjer 4 st bussar. Ett tankningsschema läggs upp på ett sådant sätt att en buss i taget snabbtankas vid anläggningen.

9.4 Förslag till genomförande

För genomförandet av demonstrationsprojektet föreslås samma förlopp som redovisats i kap. 8.4. Motor- och komponentutveckling för körning på biogas antas vara identisk med den som blir aktuell för naturgas.

9.5 Investerings- och driftkostnader för biogasproduktionsanläggning

Investerings- och driftkostnaderna för en biogasproduktionsanläggning beräknas till följande:

Post	kkkr
Yttre ledningar	
- Avloppsvattenledning 1	10
- Avloppsvatten 2	10
- Gasledning	20
Avloppsvattenpump	20
Gasreningsutrustning	180
Styrutrustning	25
El-installation	10
Kylsteg	35
Containrar	
- (6 x 2,4 x 2,5) x 1	16
- (3 x 2,4 x 2,5) x 2	24
Projektering	50
Energikostnad kompressor för rening av gas (driftkostnad)	7
Lutkostnad (driftkostnad)	30
Hyrkostnad luttank (driftkostnad)	3
Tillsyn 0,5 h/dygn å 250 kr/ton (driftkostnad)	45
	500

Tabell 9:3 Kostnaden för biogasanläggning för 12 mån drift

9.6 Kostnadssammanställning

Kostnaderna för att genomföra demonstrationsprojektet som det beskrivs tidigare i detta kapitel kan sammanställas enligt de nedan redovisade tabellerna. Kalkylerna bygger på att bussar som tidigare kördes på LPG (4 st), konverteras för biogas. Tankning sker vid Henriksdalsverket.

Bussar	kkkr
Ombyggnad av bef. motorer (4 st)	450
Tankar	190
Montering	180
Intrimning av buss	50
Utbildning	50
Besiktning och godkännanden	15
Övrigt	65
	<u>=1 000</u>

Tabell 9:4 Kostnadssammanställning 4 st naturgasombyggda bussar

Biogasanläggningar med tankstationer	kkkr
Projektering	50
Godkännande	20
Markarbeten	70
Kompressor	450
Mellanlagringsanläggning	150
Anslutningar, mätutrustning adapter el	110
Rörentreprenad	50
Gasproduktion (se tabell 9:3)	500
	<u>=1 400</u>

Tabell 9:5 Kostnadssammanställning biogasanläggning och tankningsstation

Drift (175 kr/tim)	kkkr
Extra tid för tankning (250 x 4)	175
Löpande extra verkstadstid 400 tim	70
	<u>=245</u>

Tabell 9:6 Extra driftskostnader fyra bussar i ett år

Övrigt	kkkr
Administration	65
Förevisningar demonstration	25
Informationsmaterial	100
Rapportskrivning	40
Avgasmätningar 4 st inkl transport	400
	<u>630</u>

Tabell 9:7 Sammanställning av övriga kostnader

Projektkostnaden för ett års drift med fyra biogasdrivna bussar framgår av tabell 9:7

Kostnadspost	kkkr
2/3 av kostnaden ORF/TNO*)	1 100
Bussar	1 000
Biogasanläggning med tankstation	1 400
Drift	245
Övrigt	630
	<u>4 375</u>

Tabell 9:8 Kostnadssammanställning

*) Ett naturgasprojekt i Malmö antas bära
1/3 av totalkostnaden på 1.500 kkr

9.7 Rekommendationer

Det rekommenderas att den inledande motoroptimeringen och funktionsprov med tanksystem och infrastruktur följs av ett demonstrationsprojekt med biogas i mindre skala för att studera miljöeffekter.

Lämplig plats för detta demonstrationsprojekt är Stockholm (SL) där fyra Ottokonverterade bussar finns. I Stockholm finns ett uttalat intresse för prov med alternativa drivmedel, där biogas kan vara ett.

10. SVENSKA UTVECKLINGSMÖJLIGHETER AV TEKNIK FÖR GASDRIVNA FORDON

10.1 Allmänt

Det största intresset och därmed den mesta utvecklingen av tekniken för gasdrivna fordon finns i länder som Nya Zeeland och Canada. Målsättningen för den utveckling som skett har varit att ta fram billiga och väl fungerande konverteringssatser för främst bensinmotorer. En mer genomgripande utveckling av motorer i syfte att optimera dessa med avseende på driftekonomi och miljö har bara skett i några få projekt. En ny Ottomotor utvecklad för enbart gasdrift med signifikant lägre emissioner och avsedd för tunga fordon är med all säkerhet en produkt med betydande marknad i många länder där miljöproblemen i storstäderna blivit allt mer uppmärksammade.

10.2 Katalysatorer

De katalysatorer för bilavgaser som finns idag är framtagna för bensinmotorer. Vid övergång till gasdrift förändras avgasernas sammansättning något samtidigt som temperaturförhållandena inte blir exakt detsamma. Det är möjligt att utformningen av katalysatorerna bör ändras vid byte av bränsle.

I trevägskatalysatorn oxideras CO och HC samtidigt som kväveoxiderna NO_x reduceras till rent kväve N_2 . Denna process skulle kunna påverkas av typen av HC och förhållandet mellan halten HC och CO. I avgaserna från en naturgasmotor är halten metan (CH_4) relativt sett hög. Huvuddelen av de oförbrända kolvätena är, enligt en rad emissionsmätningar, metan.

Det är möjligt att metan har andra egenskaper än den blandning av kolväten som finns i avgaserna från en bensinmotor. Den "nya" avgassammansättningen kan ha både positiva och negativa effekter på katalysatorn och därmed på den samlade emissionsbilden.

Det finns således ett behov av forskning och utveckling för att besvara följande frågor.

1. Kan en katalysator avsedd för bensinmotorer användas på en gasmotor med gott resultat?
2. Kan en katalysator för gasdrift göras enklare och billigare än motsvarande bensinmotorkatalysator?
3. Hur påverkas katalysatorns livslängd och funktion vid olika driftförhållanden vid gasdrift?

Ovanstående frågor har också stort intresse för stationära motorer med naturgas och biogas som bränsle.

10.3 Blandningsutrustning

Insugssystemet och blandningsutrustningens uppgift är att i varje ögonblick leverera rätt mängd gas och rätt blandningsförhållande bränsle/luft till varje enskild cylinder. Är motorn försedd med en avgaskatalysator av trevägstyp är kraven på rätt blandningsförhållande mellan bränsle och luft extremt höga.

I en bensinmotor löses detta med hjälp av en lambdasond monterad i avgasröret från motorn. Denna sond "mäter" luftöverskottet och ger signal till ett elektroniskt insprutningssystem som reglerar den tillförda bensinmängden. Minsta avvikelse från rätt lambdavärde justeras omedelbart genom återkopplingen i systemet.

Motsvarande utrustning för gasformiga bränslen finns inte kommersiellt tillgängliga i dag. Ett av de tekniska problem som måste lösas är flödesregleringen av bränslegasen.

Här krävs utveckling av en rad komponenter såsom insprutare för gas samt styrutrustning anpassad för gasmotorer och av samma kvalitet som dagens bensininsprutningssystem.

10.4 Lagringstankar

En av de största invändningarna mot gasdrivna fordon är den begränsade räckvidden. Lastas fordonet med erforderligt antal konventionella lagringstankar blir istället lastkapaciteten lidande.

Av väsentlig betydelse för gasdriftens möjligheter är således ett lätt, säkert och billigt lagringssystem. Ett sätt att lösa detta är tankar fyllda med ett ämne som absorberar gasen under relativt måttliga tryck. Utveckling av dessa absorptionstankar pågår i ett flertal länder men något genombrott är inte i sikte för närvarande.

Andra intressanta utvecklingsvägar är tryckkärl i nya material t ex kompositer d v s olika plastmaterial armerade med starka fibrer av glas, kol eller kevlar. Detta är ett område där ytterligare utveckling behövs för att ta fram färdiga produkter från prototyper.

Denna rapport utreder inte huruvida plasttankar ur säkerhets- eller viktsynpunkt behövs eller ej.

Frågan kommer dock att utredas inom kort, troligen av Vattenfall då ansökan om finansiering av ett sådant utvecklingsprojekt kommit till Vattenfall och Dansk Naturgas A/S. Utredningen om tankarna kommer att göras separat efter denna rapport.

10.5 Motorutveckling för naturgas som drivmedel

Som framgått tidigare av denna förstudie kräver övergången till annat bränsle en avsevärd utvecklingsinsats. Oavsett om övergången är från dieselmotor eller Ottomotor krävs en optimering i enlighet med det nya bränslets egenskaper.

Dagens motorer är ett resultat av många års forskning och utveckling för att nå en så hög funktionsgrad i förbränning, effektuttag, drivmedelsförbrukning etc som möjligt. Ett systematiskt arbete med en anpassning till, i detta fallet, naturgas torde därför vara en förutsättning för att vinna olika naturgasmarknadens förtroenden.

Internationellt har ett lågmissionskoncept av denna typen visat sig kunna ha en god potential. De krav som ställs och ställts under de senaste åren på motorer har visat sig väga över alltmer mot miljökrav. Ett miljövänligt och välutvecklat motoralternativ bland tunga motorer torde därför kunna förutspås ha goda konkurrensfördelar.

10.6 Rationell tankningsutrustning

Svenska företag kan bedömas ha ett stort kunnande i bl a kompressionsteknik vilket är applicerbart och använt vid komprimering av naturgas.

Vid utformning av tankningsstationen för såväl långsam fyllning som snabbfyllning finns svensk teknik och teknologi att tillgå.

Vid upphandling av tankningsstationen har köparna hittills vänt sig till en leverantör för att få en komplett anläggning av endera slaget. Viktiga argument i upphandlingen är "turn-key-villigheten" hos leverantörer, kompressors/energiförbrukning, kompressionskapacitet, utformning och trygghet i leveransen. Alla dessa krav är generellt sådana svenska företag är kända för att kunna möta.

Med den goda grund som finns i landet torde en utveckling av denna typ av anläggningar vinna gehör inte bara i Sverige utan också utomlands.

Redan idag finns tankstationer med svenska komponenter i andra länder.

REFERENSLISTA

Litteratur

1. Naturgas hälsa och miljö. "State-of-the-art"-rapport. Vattenfall September 1985
2. Naturgasdrivna fordon, Lägesrapport, Programförslag. Vattenfall FUD-87
3. Avgasutsläpp från bussar med olika drivmedel och drivsystem. SDAB 1987
4. Avgasrening Dieselfordon, SNV Rapport 3170. E Björkman, K-E Egeback, K Grägg, 1986
5. Partikelfällor, Dieselfordon SNV. E Björkman, K-E Egeback, K Grägg
6. Användning av alternativa drivmedel. STU 1986
7. Avgasemissionen, inlägg vid SLTF:s kongress 1986, Rolf Berg SL.
8. Förstudie för införande av eldrift i kollektivtrafiken i Malmö. KTB 1979
9. Conversion of a Volvo THD 100 EC diesel engine for dual-fuel operation using diesel pilot injection with Danish Natural Gas as the gaseous fuel. Naturgas Syd 1986
10. Facts Concerning the utilization of gaseous fuels in Heavy Duty Vehicles. Hort Bergman, Daimler Benz, Västtyskland
11. Non petroleum vehicular fuels V:CNG, konferensrapport. Arlington, Virginia 1985
12. Exhaust Emission Characteristics of Natural Gas fueled vehicles Operating at Lean Air/Fuel Ratios. B.C. Research, Kanada 1985
13. Exhaust Emission Measurements of Natural Gas Fueled Vehicles. B.C. Research, Kanada 1986
14. Dual Fuel Natural Gas/Diesel conversion systems in four Stroke Diesel Engines. B.C. Research, Kanada 1986
15. Propane and Natural Gas in the Ontario Transit Industry, Toros Topaloglu, Ministry of Transportation and Communications, Ontario Kanada 1986
16. Conversion of Hino City buses to Compressed Natural Gas (CNG). Arshad Mazharullah, Wellington Holdings Ltd, Nya Zeeland
17. Technical Aspects of CNG, I Stephenson, K Jones, University of Auckland, Nya Zeeland 1983

STUDIEBESÖK

1. HT Hovedstadsområdets Trafikselskab, Bjarne Sørensen.
2. Ontario Research Foundation. Mississauga, Toronto, Kanada, Alex Lawson, Wendel A Goetz, Kong Ha, Stephen Hood.
3. Hamilton Street Railways Hamilton, Ontario, Kanada. Roy Duncan, Bill Lupkoski.
4. TNO, Instituut voor Wegtransport middelen, Delft, Holland. Pier Tidema, I van der Weide, Jan Jean Seppen, Joep van Ling.

Intervjuer

- | | | |
|-----|---|-----------------------------|
| 1. | SL (SLTF), Ragnar Thörnblom | Stockholm |
| 2 | ML, Åke Svensson | Malmö |
| 3. | Volvo, Volvo Bussar, Hans Andersson | Göteborg |
| 4. | Scania, Scania Bussar, Göran Karlsson
Ingvar Larsson | Södertälje
Katrineholm |
| 5. | SNV, Studsvik, Karl-Erik Egebäck | Studsvik |
| 6. | SNV, Lars-Olof Olsson | Solna |
| 7. | Anders Banck, Asea Stal Flotech | Lund |
| 8. | Per Sturk, SÄI | Solna |
| 9. | Olof Eklund, TSV | Borlänge |
| 10. | Ulf Roos, SNV | Solna |
| 11. | Hans-Göran Elfving, Sten Holgersson,
United Stirling | Malmö |
| 12. | Olle Johansson, Malmö Energiverk | Malmö |
| 13. | Bjarne Sørensen, HT | Köpenhamn |
| 14. | Kurt Elmbjerg, Dangas | Köpenhamn |
| 15. | Göran Tolft, Asea Plast | Oslo |
| 16. | Horst Bergman, Daimler Benz | Västtyskland |
| 17. | Robert Cumming, Canadian Gas AB | Toronto, Kanada |
| 18. | John Heenan, Canadian Gas AB | " |
| 19. | R.F. Webb, R.F. Webb corp Ltd | Ottawa, Kanada |
| 20. | Steve Paderos, Union Gas | Chatham, Ontario,
Kanada |

- | | | |
|-----|--|------------------------------|
| 21. | John C Doan, Union Gas | Chatham, Ontario,
Kanada |
| 22. | Toros Topaloglu, Ministry of
Transportations and communications | Downsview
Ontario, Kanada |
| 23. | David Patherick, Ministry of
Transportations and communications | " |
| 24. | Julie Boisvert, B.C. Research | Vancouver, Kanada |
| 25. | Loreen Gettel, B.C. Research | " |
| 26. | Patric S.E. Brown, Patric Brown System | " |
| 27. | Wallace P Parker, Brooklyn Gas Co | NYC, USA |
| 28. | Raymon Dragan, Brooklyn Gas Co | " |
| 29. | Pincas Jaw etc, Pincas Jawetz & AB | " |
| 30. | Brian Memmot, East Coast Gas Conversions | W.Va USA |
| 31. | Douglas L Proffitt, Century alternativ fuels | Florida, USA |
| 32. | David P Sechrist, Knox Western | Pennsylvania, USA |
| 33. | Jeffrey Seisler, American Gas Association | Virginia, USA |
| 34. | Paul Lourash, Century Alt.fuels | Florida, USA |
| 35. | Garth Harris, Beca Worley int | Auckland, NZ |
| 36. | J. Stephenson, University of Auckland | Auckland, NZ |
| 37. | George Harris, Allgas Energy | Queensland, AUS |