

SWEDISH TESTS OF OTTO AND DIESEL  
ENGINES OPERATED ON PRODUCER GAS

Eric Johansson  
National Machinery  
Testing Institute  
UPPSALA, SWEDEN 018 / 20 900

*not under review*

*las Johansson*

*018 / 10 2000*

Summary

Research and development work on producer gas generators as well as tests of tractors and trucks operated on producer gas has been done by The National Machinery Testing Institute of Sweden since world war II.

The latest test period started 1975. One of the participating trucks has been driven more than 180 000 kms without an engine overhaul.

Spark ignition engines are fully converted to producer gas. Compression ignition engines are operated on dual fuels, e.g. a small amount of diesel fuel is injected for ignition purposes.

The brake horsepower performance will drop with 25 to 30 % while operating on producer gas in comparison with regular liquid fuel operation.

A diesel engine with a cylinder displacement of 3,5 liters and mounted in a tractor will burn 12 - 16 kgs of chipped wood per hour and use 0,9 - 1,15 liters of diesel fuel for ignition purposes.

The function of a generator operated on chipped wood is illustrated in figure No. 1.

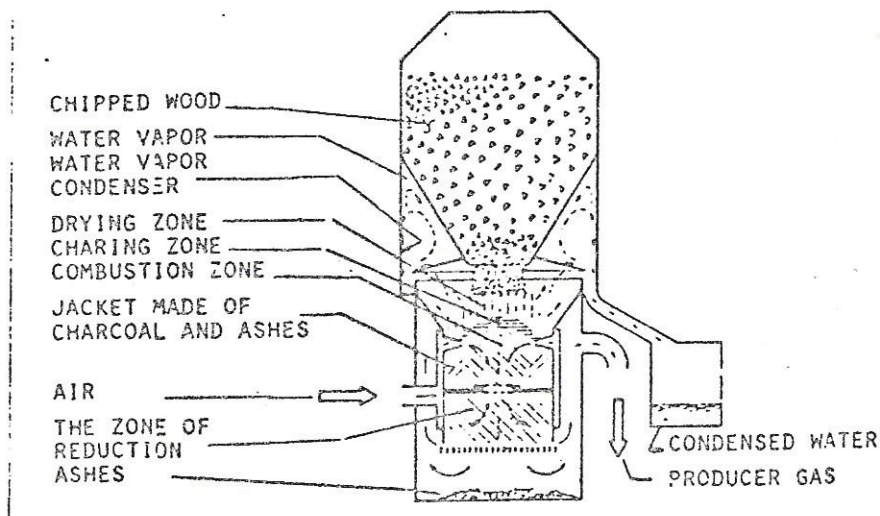


Figure No. 1. Wood gasification.

In the combustion zone carbon will react with oxygen from the air and form carbon dioxide ( $\text{CO}_2$ ) as well as carbon monoxide (CO). During this period water in the fuel (chipped or cubed wood) will vaporize.

Under the combustion zone and below the hearth is the reduction zone. It consists of incandescent pieces of charcoal; and the gas passing through this layer reacts with the carbon and the following reduction occurs: Carbon dioxide ( $\text{CO}_2$ ) will be reduced to carbon monoxide (CO).

Water vapour ( $\text{H}_2\text{O}$ ) will be reduced to carbon monoxide (CO) and hydrogen ( $\text{H}_2$ ).

The producer gas consists of carbon monoxide and hydrogen together with other combustible components such as a small amount of methane and heavy hydrocarbons.

The non-combustible components are nitrogen, carbondioxide and water vapour. The residues after reduction consist of ashes and soot. A typical analysis of producer gas from wood with a moisture content of 12 - 20 % would be:

Combustible components (volume %)

Carbon monoxide	(CO)	17 - 22 %
Hydrogen	(H <sub>2</sub> )	16 - 20 %
Methane	(CH <sub>4</sub> )	2 - 3 %
Heavy hydrocarbons	(C <sub>n</sub> H <sub>m</sub> )	0,2 - 0,4 %

Non-combustible components

Carbon dioxide	(CO <sub>2</sub> )	10 - 15 %
Nitrogen	(N <sub>2</sub> )	45 - 50 %

A common layout of a producer gas generator connected to a tractor or a truck is shown in figure No.-2.

A PRINCIPAL DRAWING OF A  
GAS GENERATOR

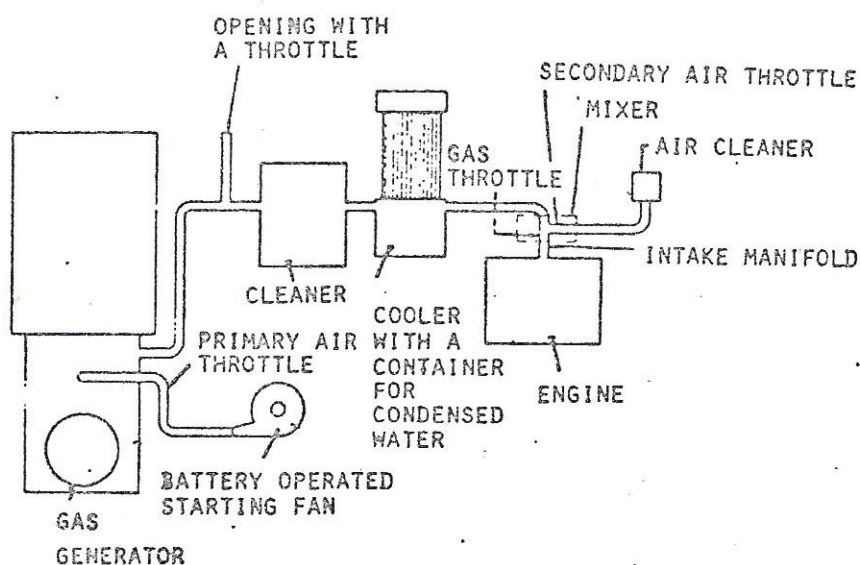


Figure No. 2. The layout of the installation of a producer gas generator.

Otto Engines (spark ignition engines)

During world war II the import of liquid fuel was very, very limited to Sweden. Series of experiments were then started in order to find suitable substitutes for liquid fuel. The most encouraging results were made in the field of converting spark ignition engines for producer gas operation.

An impressive developmental and experimental work was performed in utilizing existing European knowledge of producer gas production. By the end of the war approximately 70 000 buses, trucks, cars and tractors were running on producer



gas. Some engineers estimate that more than 5 000 different designs of gasgenerators were available. Three trade names of producer gas generators dominated the trade. Those were Swedlund, Källe and Imbert.

#### Engine modifications

In order to prepare a regular spark ignition engine for producer gas operation the following alterations were done:

1. The compression ratio was increased
2. The intake manifold was modified on engines designed to use kerosene as a fuel
3. The spark plugs were changed to suit the increased compression ratio \_\_\_\_\_
4. The ignition timing was advanced. \_\_\_\_\_

The compression ratio of a multiple cylinder L-head engine was as a rule increased by slicing and planing the lower surface of the cylinder head. In some cases the cylinder heads were replaced in order to reach an acceptable compression ratio. Valve-in-head engines were given increased compression ratios by mounting suitably modified pistons. The compression ratio ought to be in the interval 1:7 - 1:10 when operating spark ignition engines on producer gas.

The intake manifold of engines previously operated on kerosene was modified in order to decrease the preheating of the air/fuel mixture. As a rule an intake manifold designed for gasoline operation replaced the one for kerosene. The intake manifold of engines running on gasoline was suitable for producer gas operation without any changes.

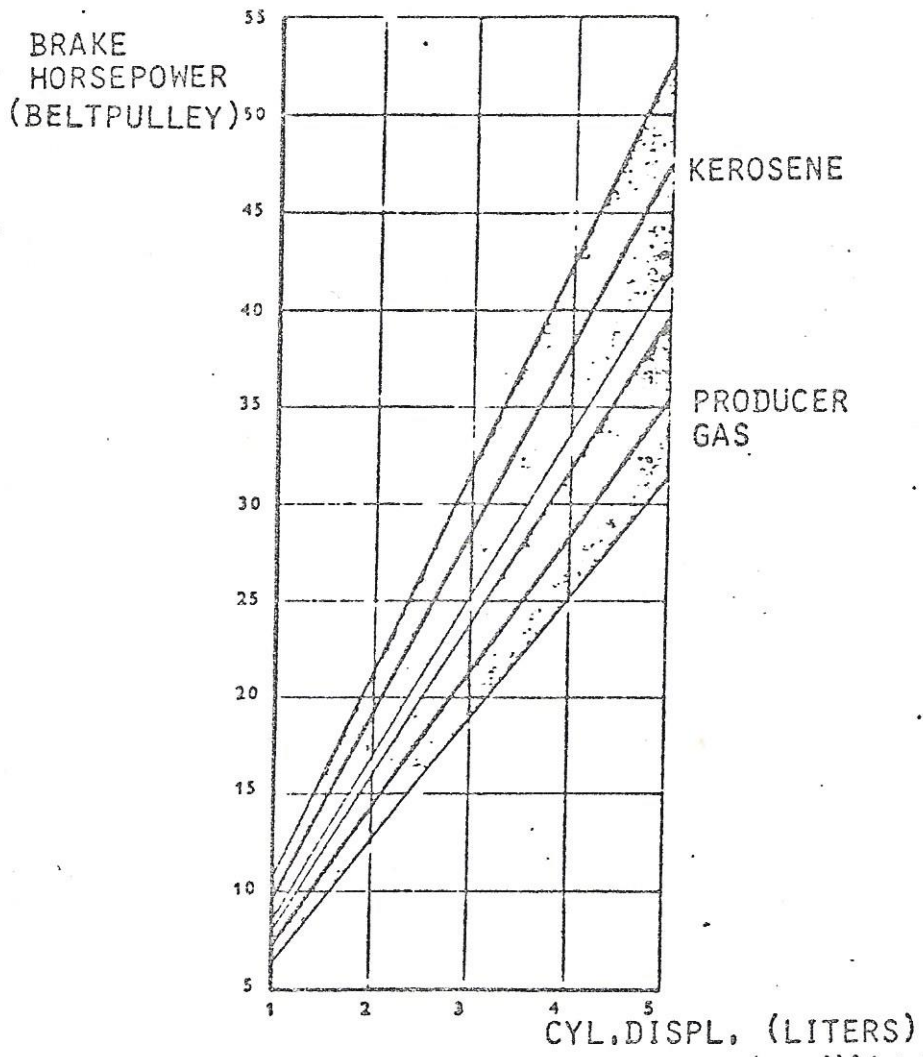
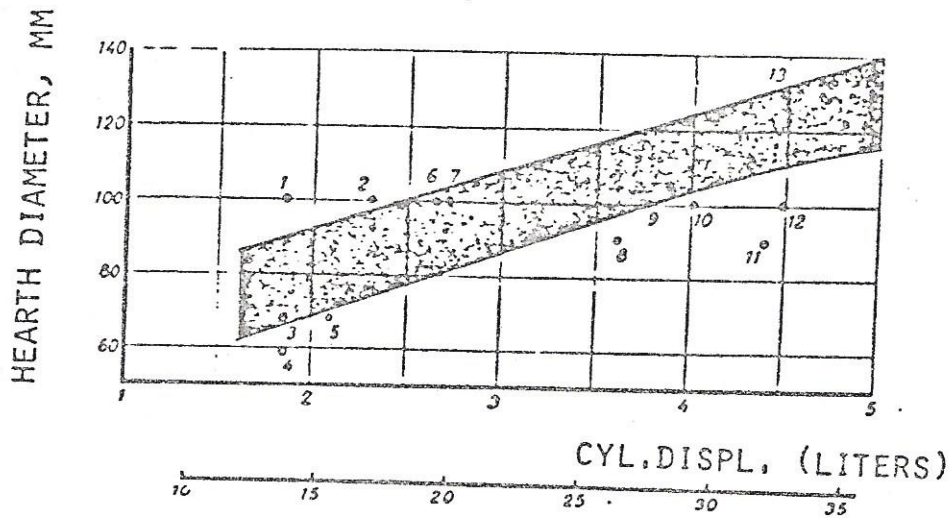


Figure No. 3. Belt pulley power performance at 1500 rpm of the crankshaft for some sizes of spark ignition engines when operated on kerosene or producer gas.

## GAS RESEARCH CONFERENCE



**BRAKE HORSE POWER AT 1500 RPM**

Figure No. 4. A suitable diameter of the generator hearth with respect to the cylinder displacement of the engine. The graph is valid only for four-stroke spark-ignition tractor engines with a speed range of 1500-2000 rpm when operated on woodgas.

If the diameter of the hearth will be made smaller than shown in figure No. 4 the power output of the engine will decrease and the char coal jacket of the generator is likely to be disturbed. If the diameter of the hearth will be made bigger than illustrated in figure No. 4 the tar content of the gas will increase, particularly during light load operations.

### Wood consumption

The wood used in the generator was cubed (appr. 2 x 2 inches) spruce and birch. The brake-specific fuel consumption was determined to 0,9 - 1,0 kilogram per horsepower hour (kg/hph) for regular spark ignition engines with a cylinder displacement of 2 to 4 liters when operated at full load. When wood of a moisture content of 15 % was used, the following brake specific fuel consumption was determined at different engine loads:

100 % of max. power	0,9 - 1,9 kg/hph
85 % " " "	1,0 - 1,1 "
75 % " " "	1,0 - 1,1 "
50 % " " "	1,2 - 1,3 "
25 % " " "	1,8 - 1,9 "

The consumption figures have been calculated during regular dynamometer tests.



From 1952 to 1967 most of the Swedish farmers och truckers switched from spark ignition engines to compression ignition engines in their tractors and trucks. During the period 1965 to 1980 all new tractors delivered to Swedish farmers have been equipped with diesel engines. During the decade of 1950 many diesel engines were of the precombustion chamber type. Since the later part of the 1950th the diesel engine with a direct fuel injection system has become the most frequently used.

Due to the replacement of the spark ignition engines with the diesel engines in Swedish agriculture the National Machinery Testing Institute started an experimental work in the early 1960th to investigate how to operate diesel engines on producer gas.

A conversion of a Diesel engine to producer gas operation is in general more tedious than a conversion of an Otto engine. The conversion can be made according to two different principles.

1. Producer gas operation by adding a spark ignition outfit, which will result in a single fuel engine.
2. Producer gas operation with compression ignition which will require two fuels. Diesel fuel is used to an amount of 10 - 15 % of the regular quantity and the remaining energy requirement of 85 - 90 % will be covered by producer gas.

The first method is more expensive and tedious than the second one. The first method will allow a diesel engine to be both started and operated on producer gas. This method was studied and investigated by the Testing institute from 1957 to 1963 with respect to the selection of compression ratio, suitable spark ignition timing and fuel consumption.

When converting a diesel engine according to method no 2 a certain amount of diesel fuel is required for the ignition of the mixture of producer gas and air. The consumption of liquid fuel for ignition purposes is of course a disadvantage in all countries that have to import liquid fuel. The advantage in comparison with method No. 1 is a considerably cheaper engine modification, smaller power losses and improved starting abilities. Diesel engines with a direct fuel injection system requires no other modifications than a resetting of the fuel injection pump to decrease the injected amount of fuel to only 10 to 15 % of the regular quantity at different engine loads and speeds. Diesel engines with a direct fuel injection system has proved to be very suitable to convert to dual fuel operation.

Diesel engines with different types of precombustion chambers and diesel engines with different types of air turbulence systems require engine modifications in order to perform acceptably on dual fuels. It is very doubtful from a practical point of view to convert a diesel engine with precombustion chambers to dual fuel operation. The Swedish research show both higher engine conversion costs and poorer performance of a diesel engine with a precombustion chamber than those of a diesel engine with a direct fuel injection system.

Results from dual fuel operations of diesel engines in tractors and trucks

Investigations have been performed both in the laboratories of the Testinstitute and in practical work at the premises of Swedish farmers and truckers. Twelve tractors, six trucks and a bus have been tested since 1961. The tractors have been operated in regular farm and forestry work for more than 15 000 hours and the trucks have been driven more than 677 200 kilometers. A regular test truck has covered 185 000 km since 1975 without an engine overhaul. The lubricating oil consumption of this truck is negligible and the power performance is still acceptable.

Table 1. A diesel engine with a cylinder displacement of 6,2 l (4 cyl.) fully loaded in a dynamometer. Compression ratio 16:1. Mounted in a truck. The heat value of the producer gas was 1 315 kcal per normal cubicmeter (Nm<sup>3</sup>)

Engine speed rpm	Power output hp	Effective mean pressure kp/cm <sup>2</sup>	Spec. fuel consumption			Diesel fuel for ignition	
			Producer gas Nm <sup>3</sup> /hph	Diesel fuel for ignition g/hph	Spec. heat consumption kcal/hph	g per Nm <sup>3</sup> producer gas	% of total heat consumption
2000	83,7	6,05	1,31	24,4	1975	18,7	12,5
2200	86,1	5,65	1,38	25,5	2075	18,5	12,5



## GAS RESEARCH CONFERENCE

Table 2. A diesel engine with a cylinder displacement of 3,6 liters (4 cyl.) differently loaded in a dynamometer. Compression ratio 17:1. Mounted in a tractor. The heat value of the producer gas was 1 300 kcal per normal cubicmeter (Nm<sup>3</sup>).

Power hp	Engine speed rpm	Engine load %	Effec- tive mean pressure kp/cm <sup>2</sup>	Brake spec. fuel con- sumption		Spec. heat consumption kcal/hph
				Producer gas Nm <sup>3</sup> /hph	Diesel fuel for ignition g/hph	
39,4	1600	100	6,15	1,23	36	1950
33,5	1800	85	4,65	1,25	43	2050
29,6	1840	75	4,0	1,35	48	2230
19,7	1890	50	2,6	1,80	63	2970
9,9	1920	-25	1,3	3,00	137	5270

### Test results from practical work

Table 3. Trucks driven on regular tarmac and gravel roads.  
Powered with dual fuel.

Driven distance km	Load kgs	Average speed kms/h	Wood consumption		Diesel fuel for ignition per 10 kms	Ambient air. Tem- perature °C	Moisture content of the wood %
			kgs per 10 kms	kgs per hour			
<u>Truck No. I</u>							
506	5600	49	6,6	32	0,46	+ 5	23,5
<u>Truck No. IV</u>							
748	9000	46	8,9	41	0,63	± 0	12-15
<u>Truck No. V</u>							
197	21000	47	10,5	50	0,88	-	16-18

Table 4. Hours of operation and fuel consumption when using dual fuelled diesel engines (3,5 liters) in tractors during regular farm work.

Tractor No.	Hours of operation Hours	Fuel consumption		Diesel fuel for ignition liters/hour
		Wood for producer gas kgs/hour	liters/hour	
I	3500	12-16	appr. 50	0,9 - 1,15
II	1540	6-10	" 30	0,9 - 1,15
III	1900	12-15	" 50	0,9 - 1,1
VI	2010	12-15	" 50	0,95 - 1,15
VIII	1950	13	" 45	0,87

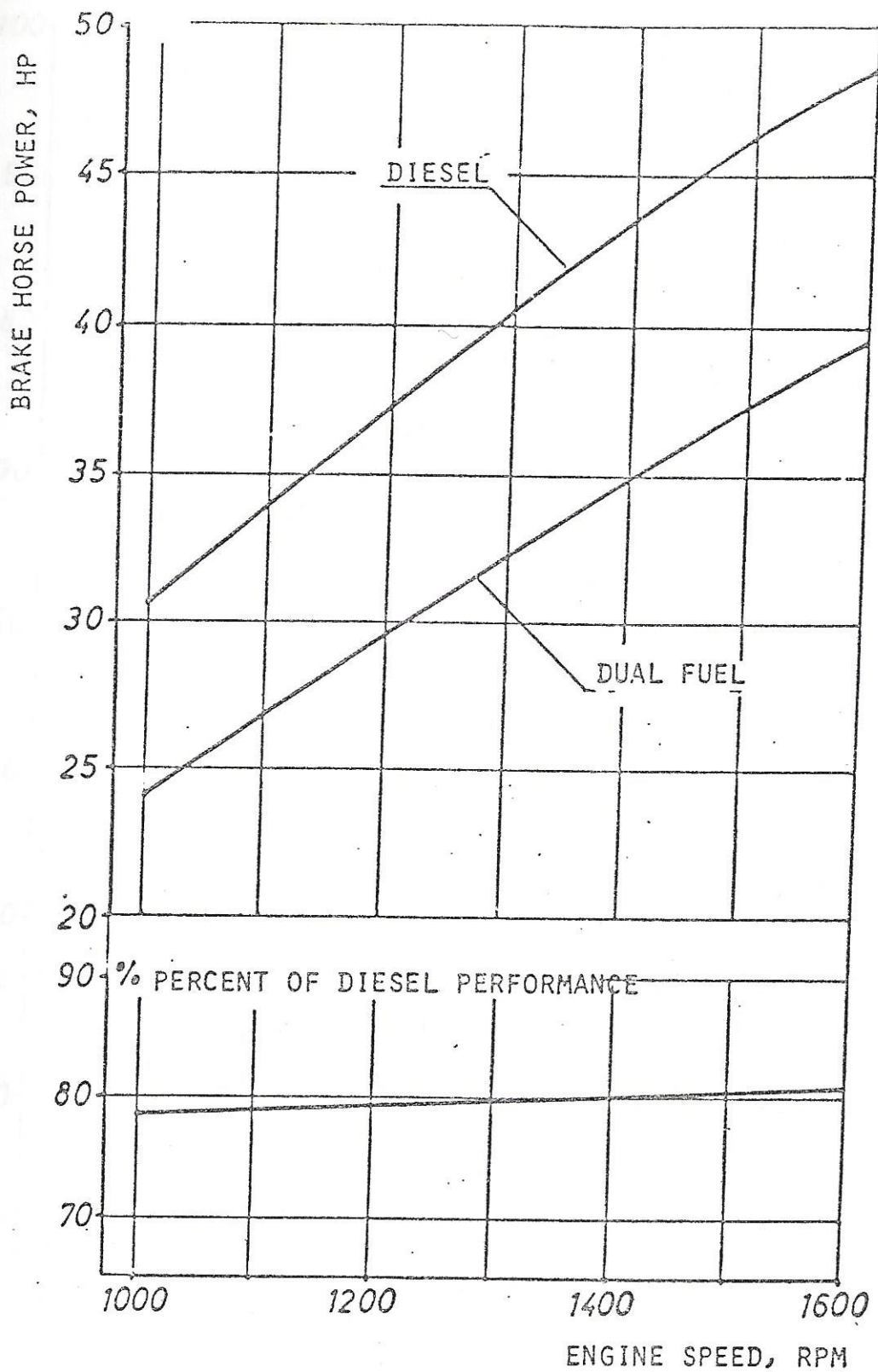


Figure No. 5. Max. power performance at diesel and dual fuel operations  
 Diesel engine, 3,5 liters cyl.displ., mounted in a tractor.  
 Diesel fuel for ignition: 29 g/Nm<sup>3</sup> producer gas.  
 Heat value of the producer gas: 1 300 kcals/Nm<sup>3</sup>.



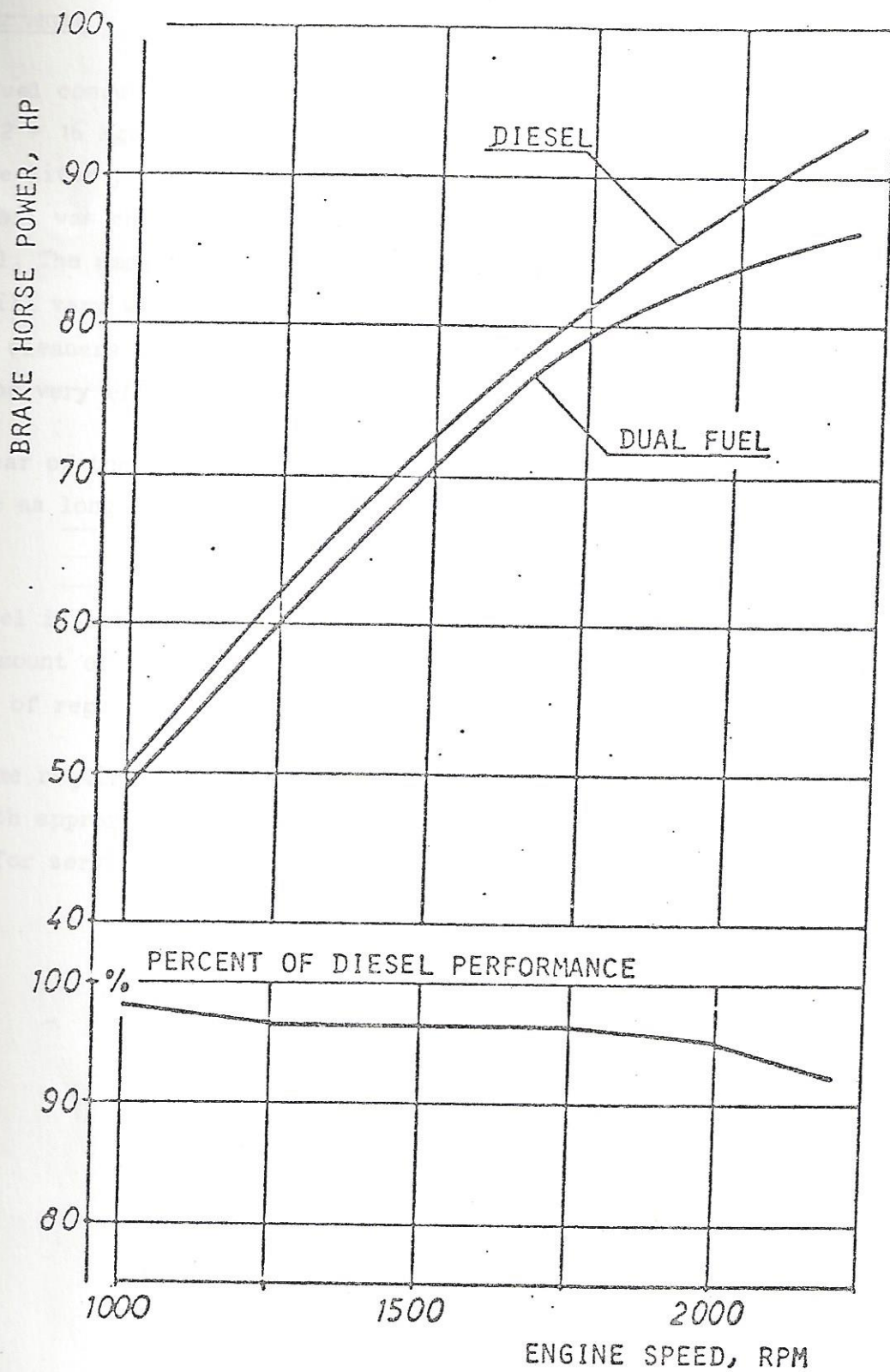


Figure No. 6. Max. power performance at diesel and dual fuel operations. Diesel engine, 6,2 liters cyl.displ., mounted in a truck. Diesel fuel for ignition: 12 - 19 g/Nm<sup>3</sup> producer gas. Heat value of the producer gas: 1 315 kcals/Nm<sup>3</sup>.

General comments

The fuel consumption of the tractors fitted with 3,5 liters diesel engines averaged 12 - 16 kgs wood per hour and diesel fuel for ignition purposes at a rate of one liter per hour. The tractors developed appr. 40 bhp at the pto. The crankcase oil was changed at the same intervals as during regular operation on liquid fuel. The amount of combustion residues the lubricating oil will have to disperse will vary with the efficiency of the producer gas cleaning systems. Modern gas cleaners working with glass fibre fabrics as filter elements have proved to be very efficient and reliable.

The wear of the cylinder walls will not exceed that of general diesel-performance as long as the gas cleaners are properly serviced and adequately maintained.

---

---

The fuel injectors have all had a very reliable performance in spite of the small amount of fuel injected for ignition purposes. The service required equals that of regular diesel operation.

The time required for daily maintenance of the wood powered engine will increase with approximately 20 minutes before the work can start and appr. 15 minutes for service after the working hours have elapsed.



Gengas - Sveriges enda inhemska motorbränsle vid avspärning under 80-talet



Ingress. Peter Lennby har i en artikel i Sv Dagbladet den 26 nov råkat vidarebefordra vilseledande uppgifter om gengasdrift av moderna lantbrukstraktorer.

Beredskapsplaneringen inom energiområdet har dels genom de våldsamma prisstegringarna på petroleumprodukter, dels till följd av den ökade politiska spänningen i världen blivit föremål för allmän uppmärksamhet i vårt land. En viktig del av denna planering avser åtgärder för att ersätta bensin och motorbrännolja med inhemska bränslen.

#### Två olika planeringssituationer

De våldsamma prisstegringarna på världens petroleumprodukter har starkt försämrat svensk industris internationella konkurrensförmåga och starkt fördyrat svensk livsmedelsproduktion. I planeringssituation nummer ett söker Sverige tillsammans med en rad andra länder efter inhemska alternativ till importerade flytande petroleumprodukter för att bli den vägen bidra till ökad internationell konkurrenskraft hos svenska varor och tjänster. Här fordras dels ett systematiskt sökande efter ny kunskap, dels ett mycket kostnadskrävande, målmedvetet, energiskt och ihärdigt experimentellt arbete med att producera flytande motorbränslen ur svenska råvaror t ex oljeskiffrar, torv, vedråvara och lantbruksprodukter. Först i slutet av 1990-talet kan facit finnas tillgängligt. Det är mycket angeläget att dessa experiment och undersökningar görs. De kommer att ta tid. Det är heller inte självklart, att Sverige lyckas i den hårda internationella konkurrensen, som kan förutses för substitut till flytande petroleumprodukter.

Den nuvarande politiska spänningen i världen skapar en helt annan planeringssituation. Det är få länder förunnat att kunna välja tidpunkt för att realistiskt prova hur samhällsmaskineriet fungerar i en sådan situation. Det handlar nämligen om planeringssituation nummer två när handeln över våra gränser är stoppad i båda riktningarna. Det råder förhöjd beredskap i landet, och delar av krigsorganisationen är kanske mobiliserad. Viss begränsad lejdtrafik kan möjligen finnas. Av de substitut som under hela 1980-talet kan komma ifråga för inhemsk produktion av drivmedel i tillräcklig omfattning är gengasen alltså - liksom under andra världskriget - det ersättningsmedel, som en svensk beredskapsplanering måste bygga på.

References

Test report No. 1268 (printed in Swedish) from the National Swedish Testing Institute for Agricultural Machinery, Published 1957. (The name of the institute was changed 1975 to The National Machinery Testing Institute).

A mimeographed report in Swedish: "Gengasundersökningar vid Statens maskinprovningar 1951 - 1962". Mimeographed 1963.

A number of typed internal reports written at The National Machinery Testing Institute from 1974 to 1980.

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_



### Forskningsorganisation

Den snabbt ökade motoriseringen tillsammans med att ottomotorn (förgasarmotorn) helt har slagits ut av dieselmotorn i traktorer, lastbilar och bussar har emellertid krävt nya forsknings- och utvecklingsinsatser inom gengasområdet. I detta syfte inleddes nästan omedelbart efter andra världskriget ett samarbete mellan dåvarande Riksnämnden för ekonomisk försvarsberedskap och Statens maskinprovningar. Sedan dess har Statens maskinprovningar svarat för förekommande statlig forsknings- och utvecklingsverksamhet för gengasdrift av moderna dieselmotorer. Riksnämndens funktion har sedermera övertagits av Överstyrelsen för ekonomiskt försvar.

### Gengasverk för traktorer, lastbilar och bussar

Konstruktionerna omfattar tre storlekar. Genom byte av munstycken och härdringar i generatoren och anpassning av renarsystemet kan man få tillräckliga variationsmöjligheter. Dessutom finns möjligheter till att öka bränslebehållarens volym för att få längre driftstider.

Gengasverkens komponenter skall kunna byggas ihop till en enhet eller monteras separat. Beträffande gengasverk för bussar kommer dessa att monteras på en speciell släpvagn.

Typ	Max gasmängd ca Nm <sup>3</sup> /h	Cylindervolym ca liter
F 300	25 - 110	2 - 4,5
F 500	60 - 165	3,5 - 8
F 700	105 - 220	6 - 11

Statens maskinprovningar har provat de tre aggregatstorlekarna och deras företrädare i såväl dynamometer som i praktiskt arbete hos vanliga yrkesverksamma lantbrukare och åkare. Tolv traktorer, sex lastbilar och en buss har provats sedan 1961. Traktorerna har använts i vanligt jordbruks- och skogsarbete under mer än 15 000 timmar, och lastbilarna har körts mer än 677 000 kilometer. En av de provade lastbilarna har körts 200 000 km sedan 1975 utan någon som helst motorreovering. Dess smörjoljeförbrukning var liten och dess effekt acceptabel vid provningens slut.

Aggregatens funktion har anpassats till dagens dieselmotorer. Som bränsle har använts industriflis och kubb. Utvecklingsarbetets mål har varit att underlätta skötseln och öka driftsäkerheten hos gengasverken.

#### Effektförluster

Om en ottomotor, som i regel finns i personbilar, fullkonverteras till gengasdrift förlorar den 40-50 % i effekt, d v s en motor på 50 kW kommer att prestera <sup>(25-30)</sup> kW. Om en dieselmotor konverteras till gengas under användning av ca 10 % av den normala bränslekvantiteten vid olika motorbelastningar, kommer den att förlora ca 30 % i effekt, d v s en motor på 50 kW kommer bara att leverera 35 kW vid gengasdrift. Om en dieselmotor med överladdare t ex turbokompressor, skall konverteras till dieselgasdrift sjunker motorns effekt än mera än hos den vanliga dieselmotorn. Turbokompressorn måste f n monteras bort, vilket minskar motorns effekt med ca 20 %. Därutöver sjunker effekten på samma sätt som hos den vanliga dieselmotorn med 30 % vid drift på dubbelbränslet dieselolja/gengas. Om vi väljer en modern traktor med en dieselmotor med överladdning på 100 kW kommer den vid dieselgasdrift bara att prestera ca 55 kW.

Den tillgängliga effekten hos lantbrukets traktorer har ökat mycket starkt, särskilt under de två senaste decennierna. Den största remskiveeffekt, som uppmätts hos en traktor vid Statens maskinprovningar år 1941 var 26,9 kW, (36,6 hk i medd nr 612). År 1948 registrerades en max remskiveeffekt på 34,1 kW (46,4 hk i medd nr 870). Statens maskinprovningar kommer våren 1981 att publicera en redogörelse över en traktor, som har en kraftuttagseffekt på 143 kW (194,5 hk), utan överladdning av motorn.

#### Konsekvenser för fältarbeten och transporter

Helt klart är, att de ovan redovisade effektminskningarna orsakar vissa svårigheter i praktiskt arbete, men de gengasdrivna traktorerna kommer att klara sina arbetsuppgifter. Det handlar om att välja lägre växel, vilket sänker arbetshastigheten och ökar erforderlig tid för att utföra ett givet arbete. Det går också att fälla upp ett eller flera skär hos en flerskärig plog, liksom det går att koppla ifrån en harvsektion eller demontera några pinnar hos en kultivator. Det finns faktiskt en positiv konsekvens av den sjunkande effekten hos traktorn. Hjulens slirning kommer att minska. Det blir nämligen för svenska jord-



bruksförhållanden bättre harmoni mellan tillgänglig motoreffekt och hjulutrustning samt traktorvikt vid gengasdrift än vid vanlig dieseldrift.

#### Brist på anslag

På grund av anslagsbrist har Statens maskinprovningar inte kunnat arbeta med att söka lösningar på problemet gengasdrift av dieselmotorer med överladdning. Hittills har ansvariga personer för beredskapsplaneringen ansett frekvensen dieselmotorer med överladdning för liten hos vanliga lantbrukstraktorer. Det handlar år 1980 om ca 7 000 av lantbrukets traktorpopulation på cirka 180 000 stycken. För lastbilar och bussar är frekvensen högre. Utländska litteraturuppgifter pekar på att lösningar kan bli möjliga, men det krävs både experimentellt arbete och praktisk provning under svenska förhållanden.

#### Omställningstider

Peter Lennby anger omställningstiden för start av storskalig produktion av de inom tilldelade resurser utprovade entypsaggregaten till sju månader. Den tiden kan minskas till tre månader, om statsmakterna fattar beslut om att investera ca 30 milj kronor i erforderliga produktionsverktyg. ÖEF har begärt detta belopp i sin anslagsframställning, men varken regering eller riksdag har anvisat det erforderliga beloppet.

#### Gengasens risker och nackdelar

Det finns olycksrisker med gengasdrift. Risken för koloxidförgiftning är uppenbar. Av denna orsak har särskilda säkerhetsföreskrifter utarbetats. Ställ- och skötseltider ökar i jämförelse med drift med flytande bränsle. Effektminskningen, lukten och sotet är andra nackdelar.

Gengas är med nu tillgänglig kunskap och med nu kända svenska råvaror Sveriges enda praktiska inhemska beredskapsalternativ för motorbränsle även under 1980-talet.



Prov under praktiska förhållanden i Statens Maskinprovningars regi september månad 1963 - juni månad 1979.

Fordon typ		Gengasverk utförande			Summa
		Maskinprov	Maskinprov Volvokonstr	Annat	
Traktorer	h	11 500	3 500		15 000
Lastbilar	km	460 000	217 200		677 200
Personbilar	km	48 000	275 000	35 000	358 000

Prov under praktiska förhållanden i Statens Maskinprovningars regi januari 1980.

Gengasverk typ	Fordon fabr/typ	Placering	
F 300	VOLVO BM 650	Provningsvärd,	Umeå
F 700	SCANIA LBS 110	-"-	-"-
F 300	VOLVO BM 650	-"-	-"-
F 500	SCANIA L 80	Maskinprov.	Umeå

Omvandling av ved (biomassa) i olika medier till energi uttryckt i kWh

1 kg torr ved producerar i ångpanna resp ångturbin	0,9 kWh
1 " " " " " kolvmotor driven med metangas	0,45 "
1 " " " " " " " " metanol	0,23 "
1 " " " " " " " " gengas	1,30 "
1 " " " " " gasturin " " "	0,60kWh