
Rapport SGC 055

**TREVÄGSKATALYSATORER FÖR
STATIONÄRA GASMOTORER**

Torbjörn Karlelid
Gunnar Sandström
Sydkraft Konsult AB

Oktober 1994



Rapport SGC 055
ISSN 1102-7371
ISRN SGC-R--55--SE

Rapport SGC 055

TREVÄGSKATALYSATORER FÖR STATIONÄRA GASMOTORER

Torbjörn Karlelid
Gunnar Sandström
Sydkraft Konsult AB

Oktober 1994



SGC:s FÖRORD

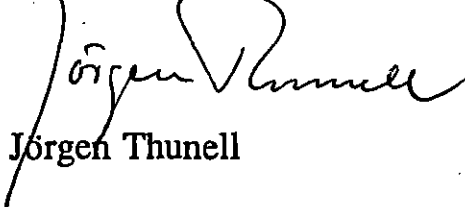
FUD-projekt inom Svenskt Gastekniskt Center AB avrapporteras normalt i rapporter som är fritt tillgängliga för envar intresserad.

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

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

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

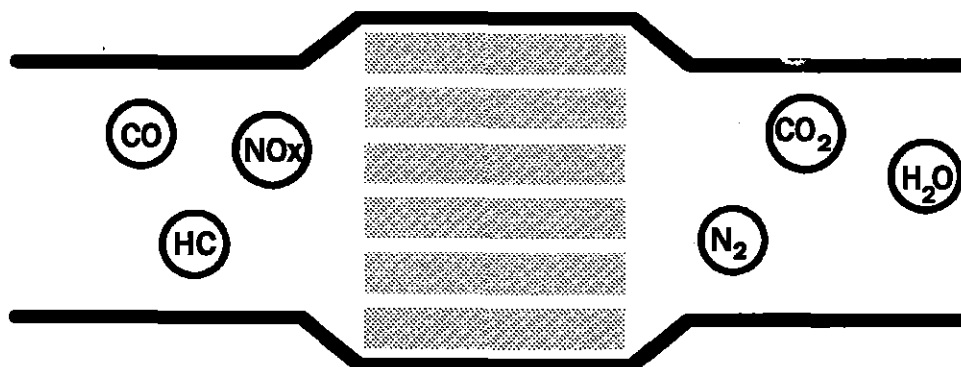
SVENSKT GASTEKNISKT CENTER AB



Jörgen Thunell

Trevägskatalysatorer för stationära gasmotorer

Projekt SGC 93.05



**Torbjörn Karlelid
Gunnar Sandström
Sydkraft Konsult AB**

Oktober 1994

SYDKRAFT KONSULT
GASTEKNIK

HUVUDKONTOR: MALMÖ
LUND
ÄLMHULT
KALMAR

BESÖKSADRESS:
CARL GUSTAFS VÄG 4
ANNEDALSVÄGEN 9
STORGATAN 16
ESPLANADEN 27

POSTADRESS:
S-205 09 MALMÖ, SWEDEN
BOX 196, 221 00 LUND
BOX 607, 343 24 ÄLMHULT
BOX 735, 391 27 KALMAR

TELEFON:
+46 (0)40-25 60 00
046-16 59 00
0476-562 25
0480-598 00

TELEFAX:
+46 (0)40-97 47 74
046-14 97 21
0476-113 43
0480-162 36

TELEX:
33539 skgov s

TREVÄGSKATALYSATORER FÖR STATIONÄRA GASMOTORER

Projekt SGC 93.05

SAMMANFATTNING

Denna rapport syftar till att klargöra hur erfarenheterna från utvecklingsarbetet av trevägskatalysatorer till fordon kan utnyttjas till stationära gasmotorer.

Betydelsen av avgasreningsteknik för gasmotorer i småskaliga kraftvärmeverk upp till 5 MW_{el} och 7 MW_{värme} har accentuerats på senare år.

De stationära naturgasmotorer som finns idag är nästan uteslutande konverterade dieselmotorer. De tre vanligaste motortillämpningarna vid gasdrift är:

- "Leanburn"

Fördelar:	Hög verkningsgrad, låg NO _x -bildning vid förbränning.
Nackdelar:	Höga HC-utsläpp, dålig tillförlitlighet.

- Stökiometrisk drift med trevägskatalysator

Fördelar:	Goda förutsättningar för låga emissioner, god tillförlitlighet.
Nackdelar:	Reglersystemet avgörande för emissionsbegränsningar, något sänkt axelverkningsgrad.

- "Dual fuel"

Fördelar:	Hög verkningsgrad, förenklad konvertering av befintlig dieselmotor
Nackdelar:	Högt gastryck, sämre reduktionspotential med förbränningstekniska åtgärder.

Det finns två huvudinriktningar för att begränsa emissionerna. Dels kan uppkomsten av skadliga ämnen begränsas genom *förbränningstekniska åtgärder* och dels kan de skadliga ämnena omvandlas till mindre skadliga eller oskadliga genom *avgasrening*. De vanligaste teknikerna för emissionsbegränsning är:

- Förbränningstekniska: Leanburn, avgasåterföringsteknik
- Avgasrening: Tvåvägskatalysator och trevägskatalysator med lambdareglering

Drifterfarenheter med trevägskatalysatorer, främst från fordonsmotorer, visar att de bästa emissionsbegränsningarna uppnås med:

- Rätt och jämn temperatur i katalysatorn
- En ny ("färsk") katalysator
- En väl fungerande syresond
- Ett snabbt, exakt och återkopplat styr- och reglersystem
- En exakt bränsleinsprutning (elektronisk)
- Rätt justerad tändning
- Helsyntetisk smörjolja

Stationära gasmotorer med trevägskatalysatorer är än så länge ovanliga i Skandinavien. Detta beror främst på att styr- och reglersystemen har varit för dyra och komplicerade. Det relativt lilla antalet och de få uppgifterna som lämnas ut om dessa innebär att det inte finns så mycket drifterfarenheter att tillgå. De största skillnaderna mot en fordonsmotor är drifttiden, motorns uppbyggnad och ett enklare driftsätt. Det sistnämnda innebär att styr- och reglersystemet för en stationär motor kan förenklas.

Stationära motorer körs normalt med högre belastning än fordonsmotorer, vilket vid lambdastyrning till 1.00 som krävs för trevägskatalysator, ger högre motortemperaturer jämfört med normalt driftsätt. Användningen av den nya tekniken ger därmed upphov till nya problemställningar. Tillförlitligheten och säkerhetsfrågorna vid användning av de nya möjligheterna för kraftverksstyrning måste undersökas och verifieras i praktiken för att inte tillgängligheten av anläggningarna skall försämrats.

Leverantörerna av stationära motorer klarar de NOx-emissionskrav som finns idag med enklare teknik, t ex genom att köra på mager bränsleblandning (leanburn). I takt med att emissionskraven skärps kommer trevägskatalysatorkonceptet att bli än intressantare.

Kostnaderna för avgasreningen till en stationär naturgasmotor med effekten 150 kW (10 liter cylinder-volym) fördelar sig på huvudkomponenterna enligt följande:

		pris (kkkr)	livslängd (h)
- katalysator		25	10000
- syresond		1,5	5000
- reglersystem:	elektrisk styrenhet	10-20	samma som motorns livslängd
	pådragsenhet	5-10	15000

För en stationär naturgasmotor med med effekt på 500 kW fördelar sig kostnaderna enligt följande:

	pris (kkr)	livslängd (h)
- katalysator	150	15000
- syresond	3,0	5000
- reglersystem: elektrisk styrenhet	15-30	samma som motorns livslängd
pådragsenhet	10-15	15000

Genom att använda komponenter avsedda för fordonsmotorer kan kostnaden för trevägskatalysatorkonceptet för stationära motorer hållas nere.

Med det som redovisas i denna rapport som grund, kan följande tekniska, miljömässiga och funktionsmässiga krav formuleras för trevägskatalysatorer och styr- och reglersystem för stationära gasmotorer utrustade med trevägskatalysatorer.

	<i>Trevägskatalysatorer</i>	<i>Styr- och reglersystem</i>
<i>Tekniska krav</i>	- Bärarmaterial i metall - Aktivt skikt i palladium - "Brett" lambdafönster	- Elektronisk insprutning - Styrning av tändning - Kontroll av förbränning - Kontroll av avgassammansättning efter katalysator
<i>Miljömässiga krav</i>	- 90% reningsgrad i minst 15000 h - oxidering av metan	- Exakt avgassammansättning - Optimerar bränsleförbrukningen
<i>Funktionsmässiga krav</i>	- Brett funktionsområde med avseende på temperaturen - Livslängd minst 15000 h	- Styrenhetens livslängd = motorns livslängd - Pådragsenhetens livslängd = minst 15000 h

Nya katalysatormaterial utvecklas för bättre prestanda. Billigare komponenter introduceras. Datorerna blir allt kraftfullare vilket ger snabbare och noggrannare styrning av tändning och elektronisk bränsleinsprutning. Men det finns fortfarande en produktutvecklingspotential och en hög konkurrens inom de flesta områden.

Dessa förutsättningar ger möjlighet till utveckling av naturgasdrivna, stationära motorer med miljöegenskaper som motsvarar utsläpp från gaseldade värme pannor, utan att dagens kostnadsläge för dessa gasdrivna kraftvärmeanläggningar kommer att öka.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING		Sid
1	INLEDNING / BAKGRUND	5
2	FÖRBRÄNNINGSTEKNIK HOS GASMOTORER	6
2.1	Allmänt	6
2.2	Stökiometrisk förbränning	7
2.3	Lean burn	7
2.4	Rich burn	8
3	TEKNIK FÖR EMISSIONSBEGRÄNSNING	9
3.1	Allmänt	9
3.2	Miljöpåverkan	11
3.3	Trevägs-katalysator-konceptet	12
4	DRIFTERFARENHETER MED TREVÄGSKATALYSATORER	15
4.1	Allmänt	15
4.2	Motorer i fordon	15
4.3	Stationära gasmotorer	19
5	FÖRSLAG TILL STATIONÄRT NATURGASMOTORKONCEPT MED TREVÄGSKATALYSATOR SOM TEKNIK FÖR AVGASRENING	23
5.1	Allmänt	23
5.2	Formulering av krav - sammanställning	23
5.3	Systemlösning	24
5.4	Komponenter	24
6	TEKNIKUTVECKLING OCH SLUTSATSER	28
6.1	Allmänt	28
6.2	Motorteknisk utveckling	28
6.3	Utveckling av avgasrenings teknologi	29
6.4	Slutsatser	29
6.5	Förslag till fortsatt arbete	30
7	REFERENSER / LITTERATURFÖRTECKNING	31
BILAGOR		
Bilaga 1	Axelverkningsgrad som funktion av lambda och NOx-emissioner	
Bilaga 2	Förenklat blockschema - Förslag till stationärt naturgasmotorkoncept	

1 INLEDNING / BAKGRUND

Skärpta miljökrav från myndigheter och allmänhet, samt det faktum att miljöhänsyn fått ett mervärde som försäljningsargument, har drivit fram utvecklingen av förbränningsmotorer med mycket goda prestanda och emissionsvärden, framför allt i storlekar under 500 kW avsedda för fordonsdrift.

De skärpta miljökraven omfattar :

- Sot
- NOx
- Buller
- Lustgas
- Oförbrända kolväten (metan)

Kraven på denna utveckling dirigeras först och främst av fordonsindustrin. Stora serier innebär att billigare komponenter introduceras. Styr- och reglersystem med kraftfulla mikrodatorer ger snabb och noggrann styrning av bränsleinsprutning och tändning, med både goda emissionsvärden och förhöjd verkningsgrad som följd.

Dessa förutsättningar ger möjligheter även för stationära motorkoncept att uppnå mycket goda emissionsvärden med hjälp av teknik som utnyttjas inom fordonsindustrin, t ex trevägskatalysator med lambda-reglering, där utsläppen efter katalysator motsvarar utsläpp från gaseldade värmepannor. Denna reduktionsgrad är möjlig utan att dagens kostnadsläge för gasdrivna kraftvärmelanläggningar kommer att försämrats. De tekniska förbättringarna skapar möjligheter för användning av gasmotorer vid små värmeunderlag på lokala värmedistributionsnät i bostadsområden, hotell eller rekreationscentra utan att det kommer i konflikt med kraven på god miljö.

Kraftgenerering med små aggregat under 2 MW el kan under vissa förutsättningar visa sig vara intressant för energimarknaden i Sverige, inte enbart som reservkraft utan för t ex småskalig kraftvärmeproduktion med naturgas, gasol eller biogas som bränsle. Motortekniken är väl beprövad eftersom småskaliga kraftverk sedan lång tid finns utvecklade som reservkraftverk med dieselmotorer som drivkälla.

Små dieselmotorer har hög elverkningsgrad, 40-45 % , och dessutom en enkel, robust konstruktion med hög tillförlitlighet och lång livslängd. De flesta motortillverkare har under de senaste åren utvecklat särskilda versioner av sina dieselmotorer till gasmotorer, eftersom det internationellt finns en mycket stark efterfrågan på gasdrivna aggregat för kraftvärmeproduktion, där både el och spillvärme från motorn utnyttjas. I Sverige finns ett flertal gasmotorinstallationer, framför allt vid kommunala deponigasanläggningar.

I jämförelse med dieselmotorer har naturgasdrivna motorer lägre emissionsvärden med en hög potential för ytterligare förbättringar även då jämförelsen görs med sk miljödiesel eller med alternativa bränslen som t ex rapsolja. Den huvudsakliga åtgärden som behövs för en gasmotor, med avseende på emissionerna, är NOx-reduktion. Det får dock ej ske på bekostnad av att andra ämnen ökar eller att verkningsgraden sänks radikalt.

2 FÖRBRÄNNINGSTEKNIK HOS GASMOTORER

2.1 Allmänt

Denna studie inriktar sig på gasmotorkoncept för stationära tillämpningar och hur skadliga ämnen i avgaserna, framför allt kväveoxider och kvävedioxider (NO_x), skall kunna reduceras utan att utsläpp av andra ämnen (oförbrända kolväten, HC samt kolmonoxid CO) ökar.

Naturgas har ett högt oktantal och blandar sig lätt med luft till en homogen blandning. Detta gör att naturgas passar bra som bränsle till kolvmotorer som fungerar enligt den sk otto-principen. Personbilmotorer, som är avsedda för bensindrift, är nästan uteslutande ottomotorer och kan därför med ganska enkla ingrepp ändras till naturgasdrift.

Motorer med kompressionständning (dieselmotorer) måste byggas om med tändstift eller med pilottändning (diesel som pilotbränsle) om naturgas skall användas som bränsle. För att genomföra konvertering och förbättring av motorkoncept inriktas utvecklingen dels på att förbättra förbränningstekniken så att NO_x-emissionen från förbränningen reduceras, dels på katalysatorer för att reducera mängden skadliga ämnen i avgaserna.

För att styra förbränningsprocessen i en gasmotor mot låga emissioner är det framför allt bränsle/luftblandningen som måste kontrolleras. De olika förhållandena mellan bränslemängd och luftmängd har gett namn åt de respektive blandningarna stökiometrisk, mager (lean) eller fet (rich).

Lambdavärdet, som även kallas luftfaktor (λ), är en numerisk referens av aktuell bränsle/luft proportion i förhållande till stökiometrisk bränsle/luft proportion. Lambda=1,00 är stökiometrisk proportion. En bränsle/luftblandning med luftöverskott (mager blandning) har lambda > 1,00 och en blandning med luftunderskott (fet blandning) har lambda < 1,00.

Men eftersom naturgasbränslet är tämligen svårantändligt och har en låg förbränningshastighet så har cylinderstorleken och förbränningsrummets utformning också stor betydelse vid styrning av förbränningsprocessen mot låga emissioner. Cylinderstorleken beror i sin tur på effektstorleken. Tryck och förbränningstemperaturer är andra faktorer som påverkar emissionerna.

Andra orsaker till att styra förbränningsprocessen är påverkan av tex verkningsgrad och bränsleförbrukning. Bilaga 1 visar axelverkningsgraden som funktion av lambda och NO_x-emissioner för en 4-takts naturgasmotor (1500 rpm).

Beroende på vilken bränsle/luftblandning som tillämpas i en motor benämns de olika förbränningsteknikerna: stökiometrisk förbränning, mager förbränning (lean burn) och fet förbränning (rich burn).

2.2 Stökiometrisk förbränning

Bränsle/luftblandningen som används är stökiometrisk, dvs den är en kemiskt balanserad blandning av bränsle och luft som under ideal förbränning endast producerar koldioxid (CO_2), kvävgas (N_2) och vatten (H_2O) utan luftöverskott.

Vid stökiometrisk drift monteras ofta en sk trevägskatalysator, (TWC, Three Way Catalyst), på avgasröret efter motorn. I trevägskatalysatorn sker en omvandling av NO_x , CO och HC till oskadliga ämnen.

Konceptet är lämpligt för motorer med små effekter, upp till 500 kW axeleffekt. Vanligast för miljöanpassade motorer i personbilar.

Fördelar:

- + goda förutsättningar för låga emissioner (särskilt vid statisk lastpunkt)
- + god tillförlitlighet, stabil motorfunktion
- + långa serviceintervall
- + god respons på laständringar

Nackdelar:

- reglersystemet är avgörande för emissionsbegränsningen
- hög termisk belastning (sk EGR-teknik kan användas för att få ner den termiska belastningen)
- något sänkt axelverkningsgrad

2.3 Lean burn

En mager bränsle/luftblandning med underskott av bränsle i förhållande till stökiometrisk blandning tillämpas. Mer syre än kolväten är tillgängligt vid förbränningen, vilket resulterar i lägre förbränningstemperatur och höga halter kolmonoxid och oförbrända kolväten. Normalvärde; $\geq 4,0\%$ syre i avgaserna.

För att sänka halterna av CO och HC används en sk tvåvägskatalysator. I tvåvägskatalysatorn, som även kallas oxiderande katalysator, oxideras halterna av CO och HC som finns i avgaserna.

Tekniken med lean burn tillsammans med tvåvägskatalysator är lämplig för effektstorlekar över 150 kW axeleffekt och för motorer med överladdning och mellankylning.

Fördelar:

- + låg termisk belastning
- + relativt hög verkningsgrad
- + låg NO_x bildning vid förbränning
- + lång livslängd

Nackdelar:

- höga kolväte-utsläpp
- risk för feltändningar
- hög konsumtion av tändstift
- reducerad verkningsgrad vid dellast
- beroende av god reglering

Ovanstående fördelar och nackdelar gäller leanburn drift med tändstift som tändmedel. Används tex diesel som tändmedel till en mager bränsleblandning så benämns förbränningstekniken "dual fuel".

Dual fuel tekniken är vanligast på stora gasmotorer, över 1 MW axeleffekt och lämplig för överladdade motorer med mellankylning.

Fördelar:

- + hög axelverkningsgrad
- + förenklad konvertering av befintlig dieselmotor
- + mindre servicebehov (inga tändstiftsbyten)

Nackdelar:

- sämre reduktionspotential med förbränningstekniska åtgärder
- hög verkningsgrad förutsätter högt gastryck (ca 200 bar)

2.4 Rich burn

Rich burn innebär att en fet bränsle/luftblandning med överskott av bränsle i förhållande till stökiometrisk blandning används. Mer kolväten än syre är tillgängligt vid förbränningen, vilket resulterar i högre halter av kolmonoxid (CO) och oförbrända kolväten (HC) i avgaserna. Normalvärde; $\leq 0,5\%$ syre i avgaserna.

En fet bränsle/luftblandning använd endast som tändmedel till motorer med sk förkammar tändning.

3 TEKNIK FÖR EMISSIONSBEGRÄNSNING

3.1 Allmänt

För att begränsa emissionerna arbetar man med två inriktningar:

- Förbränningstekniska åtgärder för att förhindra uppkomsten av miljöstörande emissioner.
- Avgasreningsteknik för att ta hand om och eliminera de miljöstörande ämnena som uppkommit trots de förbränningstekniska åtgärderna.

Huvudproblemet vid arbete med att lösa emissionsproblemen med enbart förbränningstekniska åtgärder, består i att dessa åtgärder oftast står i motsats till krav på motorns prestanda. Hög axelverkningsgrad och maximalt effektuttag från en motor innebär höga förbränningstemperaturer och höga tändtryck vilket ger hög NO_x-bildning.

Principerna för de vanligaste metoderna att begränsa framför allt uppkomsten av NO_x beskrivs översiktligt i detta avsnitt. För djupare insikt hänvisas till motorteknisk facklitteratur. I bild 3 - 1 framgår luftöverskottets betydelse för emissionsbildning och reningsmetodernas tillämpning.

Lean burn med oxiderande katalysator

Genom att köra motorn på en mager blandning, sk magermotor eller leanburn, bildas mindre mängder NO_x än vid en fetare blandning. Kolväten och kolmonoxider oxideras med en tvåvägskatalysator. Vid gynnsamma förhållanden, hög och jämn temperatur i katalysatorn (min 300°C), kan mellan 60 och 90% av de kolväten och kolmonoxider som passerar genom katalysatorn oxideras.

SCR

Metoden används på magermotorer och NO_x-reduktionen åstadkommes genom injektion av ammoniak i insugsluften. Av kväveoxiderna och ammoniakens bildas kvävgas och vatten. Som namnet antyder har metoden selektiv verkan, den reducerar endast NO_x utsläppen. För att begränsa kolväte- och kolmonoxid utsläpp måste motorn kompletteras med en oxiderande katalysator. Nackdelarna med SCR-metoden är framför allt att en mindre mängd ammoniak (NH₃) inte reagerar utan följer med avgaserna, ("NH₃-slip"), samt att lustgas (N₂O) kan bildas.

EGR

Genom att tillföra avgaser till den insugna luftmängden sker en utspädning av syrenehållet i förbränningsgasen. Man kan säga att avgaserna fungerar som ballast vid förbränningen. Minskad andel syremolekyler i förbränningsgasen ger en lägre förbränningstemperatur. Detta innebär minskad NO_x bildning.

Trevägskatalysator tekniken

Principen bygger på att starta och styra kemiska reaktioner i avgaserna med hjälp av ett katalysatorämne och på så sätt omvandla skadliga ämnen till oskadliga. Ett kontinuerligt återkopplat bränslesystem styrs med signaler från en sensor som mäter syrehalten i avgaserna. Ett stökiometriskt blandningsförhållande krävs för att reduktion och oxidation av de oönskade komponenterna skall ske samtidigt.

Metoden för avgasrening med trevägskatalysator kallas också "icke selektiv" katalytisk reduktion, NSCR (Non Selective Catalytic Reduction), eftersom den, förutom att reducera NO_x även oxiderar CO och HC i avgaserna.

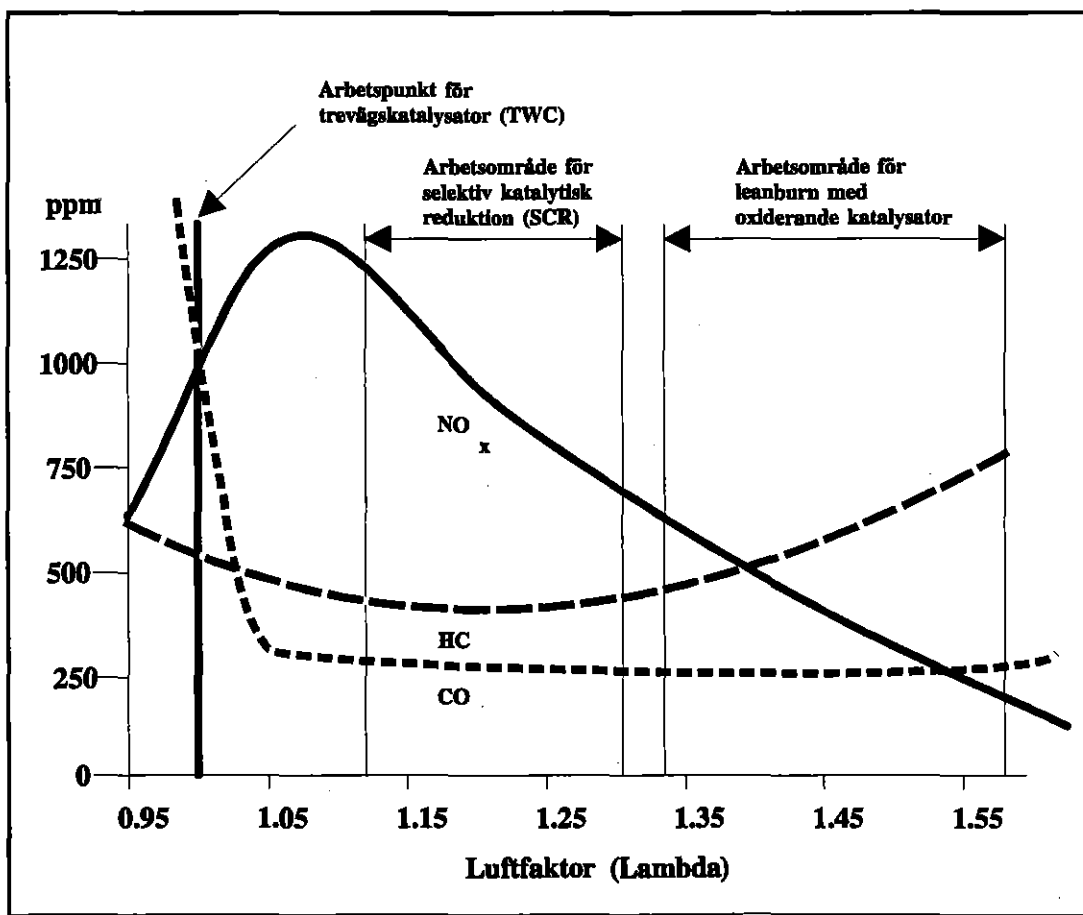


Bild 3 - 1. Luftöverskottets betydelse för emissionsbildning och reningsmetodernas tillämpning.

3.2 Miljöpåverkan

Utsläpp från naturgasmotorer är i jämförelse med utsläpp från dieselmotorer små och innehåller varken svavel, sot eller partiklar. De skadliga komponenterna är i huvudsak kväveoxider, kolväten och kolmonoxider.

NO_x

Kväveoxider (NO_x) är ett samlingsnamn för i huvudsak av NO och NO₂.

Mängden NO_x varierar med:

- förbränningstrycket
- mängden syre i bränsle/luftblandningen
- förbränningstemperaturen
- uppehållstiden i förbränningsrummet

Miljöpåverkan :

Hälsoeffekter:

- allergiska reaktioner
- luftvägsbesvär och lungskador

Miljöeffekter:

- ozonbildning
- försurning

HC och CO

Kolväten (HC) och kolmonoxid (CO) i avgaserna är resultatet av ofullständig förbränning. Kalla fläckar i förbränningsrummet och syrefattiga zoner, som inte antänts av flammen, bidrar till att en mängd kolväten passerar oförbrända genom motorn. Kolväte emissionerna består till 80 -90 % av oförbränd metan (CH₄).

Vid mätningar av kolväteemissionerna bortser man i vissa fall från det oförbrända metanet eftersom det inte är skadligt ur lokal synvinkel. Uppmätta värden inklusive metan betecknas THC, Total HydroCarbon, och exklusive metan NMHC, Non-Methane HydroCarbon. Koldioxid (CO₂), som bildas vid omvandlingen av metan, är inte heller skadligt ur lokal synvinkel. Både metan och koldioxid är däremot växthusgaser.

Miljöpåverkan :

Hälsoeffekter:

- CO hämmar blodets syreupptagningsförmåga
- NMHC ger skador på centrala nervsystemet och cancer

Miljöeffekter:

- ozonbildning (HC)

3.3 Trevägs-katalysator-konceptet

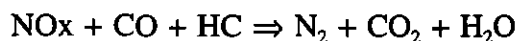
Detta koncept har tre huvudkomponenter: katalysatorn, ett elektroniskt styrt bränslesystem och en syresensor.

3.3.1 Katalysatorn

Katalysatorns funktion

I en trevägs-katalysator reduceras kväveoxiderna till kvävgas samtidigt som kolmonoxiden och de oförbrända kolvätena oxideras till koldioxid och vatten. För att detta skall ske krävs att avgassammansättningen och avgastemperaturen är den rätta samt närvaro av ett katalysatorämne (platina och rodium).

Förenklad formel:



Katalysatorns uppbyggnad. (se även bild 3 - 2 nedan)

Katalysatorn består av tre huvudkomponenter:

- stommen
- ett stötupptagande mellanskikt
- inkapslingen (mantel av plåt)

Stommen är uppbyggd av:

- ett bärrmaterial (keramiskt eller metalliskt)
- ett poröst mellanskikt, (washcoat), som ger en stor exponeringsyta
- ett tunt aktivt skikt med ädelmetaller (platina och rodium)

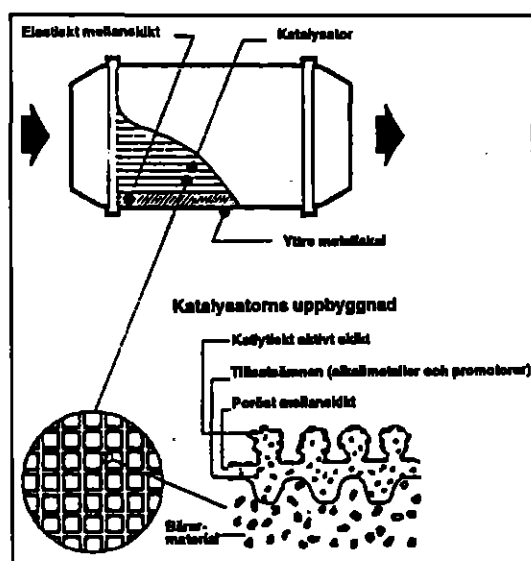


Bild 3 - 2. Katalysatorns uppbyggnad

Avgassammansättning

För att uppnå önskad avgassammansättning och avgastemperatur måste förbränningen ske under stökiometriska förhållanden. Avgastemperaturen i katlysatoren kan påverkas genom avståndet mellan förbränningsrum och katalysatorn.

Optimal avgassammansättning:

CO	0,3 - 1,0 %
H ₂	0,1 - 0,3 %
O ₂	0,2 - 0,5 %
HC	300 - 800 ppm
NO	500 - 1500 ppm

Lambdafönstret

Ovanstående koncentrationer erhålls endast under förutsättning att bränsle/luft förhållandet vid förbränningen varierar inom ett visst intervall runt det stökiometriska förhållandet ($\lambda = 1,00$). Detta intervall kallas lambdafönstret. Bränslets sammansättning och katalysatorns kemiska egenskaper och ålder styr läget och vidden av lambdafönstret, se bild 3 - 3.

För att bibehålla en hög reningsgrad borde lambdavärdet (börvärdet) successivt anpassas till katalysatorns åldring, dvs det smalare lambdafönstret och det eventuellt ändrade läget på detta. Dagens trevägskatalysatorkoncept har inte denna teknik men utvecklingsarbete på detta område pågår bl a i Japan. Principen bygger på mätning av syrehalten i avgaserna efter katalysatorn.

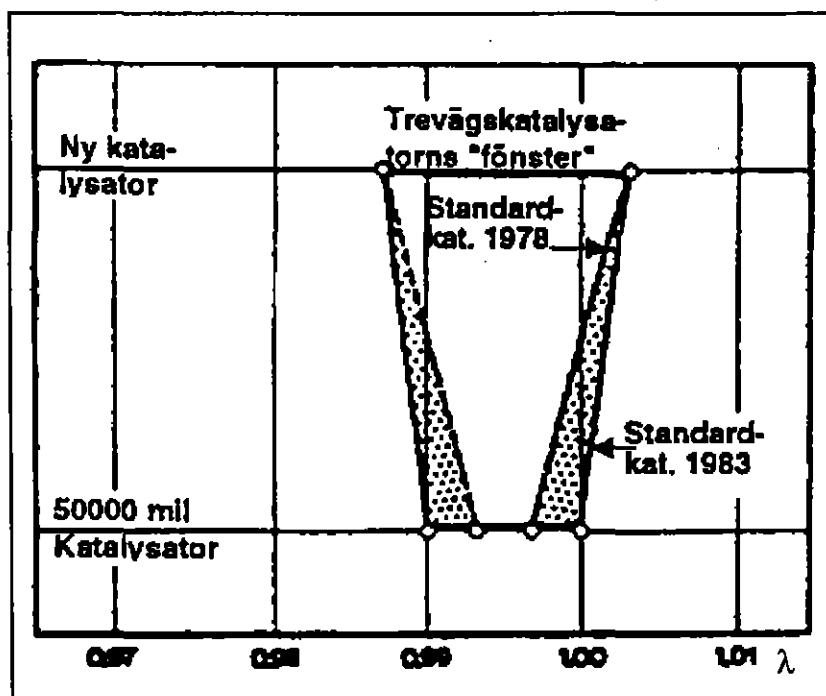


Bild 3 - 3. Trevägs-katalysatorns " λ -fönster" och åldring.

3.3.2 Elektroniskt styrt bränslesystem

Det snäva intervallet, sk lambdafönstret, som krävs för att upprätthålla en hög konverteringsförmåga, ställer höga krav på reglersystemet. Syresensorn känner av mängden oförbränt syre i avgaserna och ger signaler till reglerenheten om bränslemängden behöver ökas eller minskas, se bild 3 - 4. Styrsystemets funktion är avgörande för reningsgraden; ju snabbare och noggrannare återkoppling, desto bättre emissionsvärden.

Lämplig börvärdesinställning på blandningsförhållandet, för maximal katalysatorfunktion, skall ligga runt $\lambda = 0,990 - 0,995$. Katalysatorn har emellertid en förmåga att lagra CO och O₂. Detta innebär att lambdavärdet kan variera lite utan att konverteringsgraden sjunker.

Ett reglersystem för en stationär motor har en enklare uppbyggnad än för en motor i ett fordon, eftersom problemet med att hålla blandningsförhållandet konstant vid kraftiga och plötsliga lastförändringar inte är lika stort.

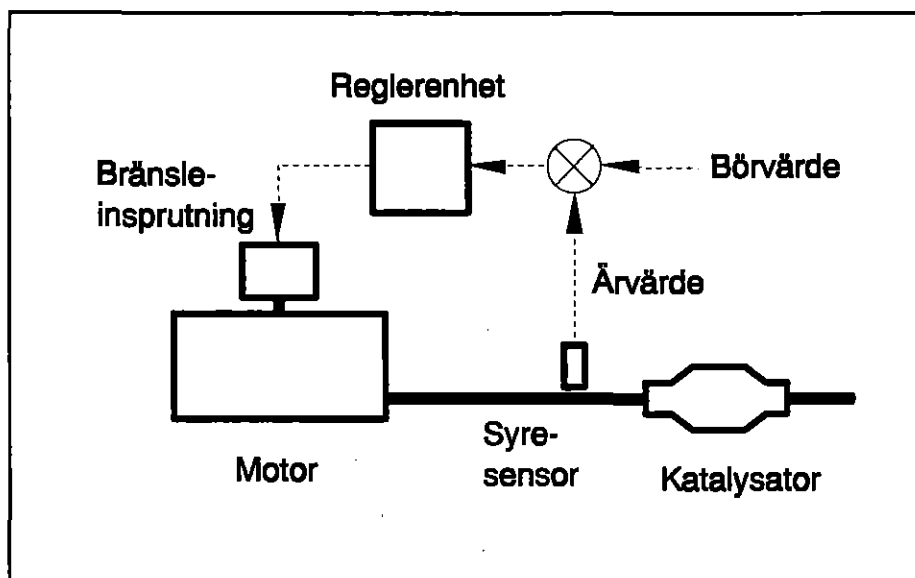


Bild 3 - 4. Princip för elektroniskt styrt bränslesystem

3.3.3 Syresensorn

Syresensorn, som också kallas lambdasensor eller syresond, är en elektrolytisk cell som känner av syrehalten i avgaserna. Sensorn består av ett smalt sintrat rör av zirkoniumdioxid som innehåller en keramisk elektrolyt.

När syrehalten i avgaserna ändras uppstår en skillnad i syrets partialtryck mellan insidan och utsidan av sensorn och det alstras en elektrisk spänning.

4 DRIFTERFAREHETER MED TREVÄGSKATALYSATORER

4.1 Allmänt

Det är främst från fordonsmotorer som det finns detaljerade uppföljningar över särskilda prestandaprov samt långtidserfarenheter från tvåvägskatalysatorer. För stationära gasmotorer har i allmänhet inte tvåvägskatalysatorer utnyttjats då det enligt de flesta länders nuvarande lagstiftning anses att avgasrening, som uppnås genom leanburn eventuellt kompletterad med tvåvägskatalysator, är tillräcklig.

För en stationär motor, som har längre drifttid än en fordonsmotor, ställs högre krav på livslängd och tillförlitlighet än på en motor avsedd för fordonsdrift. Motorerna i fordon är konstruerade efter ändamålet, t ex med avseende varvtal, kolvhastighet och förbränningstryck m m, och bör därför inte användas på annat sätt än vad de är avsedda för, i alla fall inte utan omfattande modifieringar. Däremot kan vissa ingående komponenter, framför allt styr- och reglerutrustning samt katalysatorsystem, som utvecklats för fordon användas till motorer för stationärt bruk.

4.2 Motorer i fordon

År 1986 togs ett beslut att sätta gränsvärdena för CO och NO_x så låga att personbilarna måste utrustas med katalysatorrening. Från och med 1989 års modell har alla personbilar med bensinmotor katalysator för avgasrening. Detta avspeglar sig tydligt i bild 4 - 1. 1990 började kontrollerna av utsläppen på allvar.

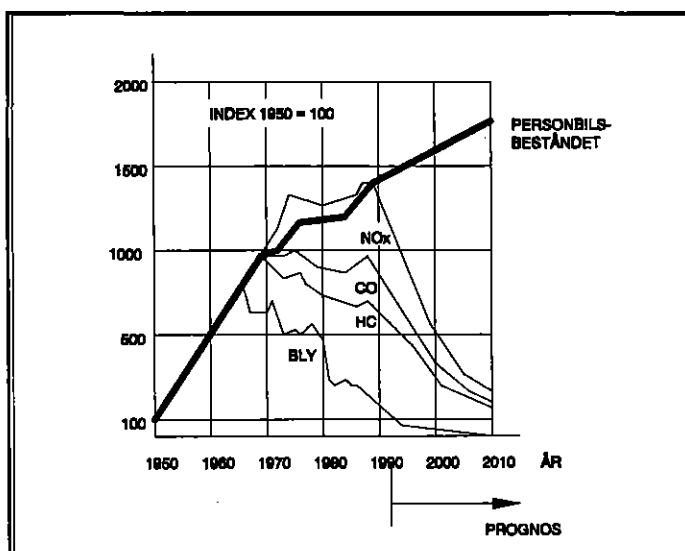


Bild 4 - 1. Utsläpp från personbilar som funktion av årtal.

Vid erfarenhetsåterföring från motorer i fordon bör noteras att personbilmotorer oftast är utvecklade för stökiometriska driftförhållande och erfarenheter från motorer i bussar/lastbilar är mer tillämpbara än från personbilmotorer. Det sistnämnda beror dels på motorernas uppbyggnad och dels på drifttiden.

Även om inte alla aktuella fordonskomponenter kan appliceras på en stationär naturgasmotor, så har den tekniska produktutveckling som pågår inom fordonsindustrin utnyttjats för komponenter till stationära motorer.

Katalysatorns effektivitet

När katalysatorn uppnått sin rätta temperatur kan den omvandla ca 90% av avgasföroreningarna till ofarliga produkter. Rätt katalysatortemperatur är av stor betydelse för konverteringen av avgasprodukterna. Som ett exempel innebär en kallstart i vintertemperatur och den första kilometerns körning mer luftföroreningar än en landsvägsresa på 10-20 mil med en katalysator med rätt arbetstemperatur.

Nya material i katalysatorn

De vanligaste materialen till det aktiva skiktet i katalysatorn är platina och rodium. Toyota och Nissan har börjat sälja bilar utrustade med katalysatorer där det aktiva skiktet består av palladium. Priset på palladium ligger runt en tredjedel av platinapriset men har en sämre reducerande effekt. För att kompensera detta har palladiumkatalysatorn en större exponeringsyta.

Metallkatalysatorer, dvs katalysatorer med bärarmaterial i metall, har blivit allt vanligare på marknaden. Fördelarna med metallkatalysatorer är att de tål större mekaniska och termiska påfrestningar än katalysatorer med ett keramisk bärarmaterial. Det faktum att metallkatalysatorer tål mer värme innebär att den kan placeras närmare motorn och därmed börja fungera tidigare. Metallkatalysatorer finns på var tionde katalysatorbil i Europa och är fortfarande ca 50 % dyrare än en keramisk katalysator.

Sandvik Steel har utvecklat en ny typ av folie för metallkatalysatorer till personbilar. Folien, som är av metall, är mycket tunn och har en "taggig" yta. Det faktum att ytan är "taggig" gör att folien får en stor exponeringsyta. Folien ersätter det som i konventionella metalliska och keramiska katalysatorer kallas bärarmaterial och washcoat-skikt. Fördelarna med folien är hög effektivitet och ett kompakt utförande.

Vanliga fel

Utfällningar av vätska i gaspassagerna ändrar förutsättningarna utifrån vilka reglersystemet arbetar. Följden blir felaktigt blandningsförhållande och därmed sämre utsläppsvärden. Torkning av gasen kan vara en lösning på problemet.

Misständningar medför att bränsle som inte blivit förbränt i motorn brinner upp i katalysatorn, som förstörs genom överhettning. På fordonsmotorer har man löst problemet med misständningar genom att stänga av bränsletillförseln till den missande cylindern. Konsekvensen blir utebliven tändning vilket i sin tur betyder att ren luft passerar genom cylindern och ett luftöverskott i katalysatorn uppstår. Resultatet blir att NO_x-reduktionen i katalysatorn avstannar. På stationära motorer kan ett nödstopp ersätta avstängning av bränsletillförseln.

Turboladdning på en katalysatorrenad motor medför olika problem. Bland annat innebär turboladdning höga temperaturpåkänningar, vilket redan är ett problem genom den stökiometriska driften. Vidare gör turbons dynamik det svårare att upprätthålla ett idealiskt blandningsförhållande.

Avgasrening med katalysator fungerar bra på de flesta personbilar. Endast ett fåtal personbilar blir underkända vid avgasmätningar på kontrollbesiktningen. Åtgärder för godkännande har i nästan hälften av fallen varit utbyte av lambdasond eller katalysator. I de övriga fallen har åtgärderna varit justering av tändning, bränslemängd, insprutning, EGR-system och lambdakontakter samt byte av tändstift, tändkablar och luftfilter.

Reglersystem

Dagens reglersystem för personbilar är i vissa fall mycket avancerade. Saab har utvecklat ett styr- och reglersystem med en 32-bitars mikroprocessor som huvudkomponent. Trionic, som det kallas, reglerar samtidigt tändning, bränsleinsprutning och turboladdningstryck, med markant reducerade avgasutsläpp och sänkt bränsleförbrukning som resultat. Anledningen till de goda resultaten är, förutom mikroprocessorn, att man via tändstiften hämtar information om förbränningsförloppet inuti brännkammaren och på så sätt kan reglera bränsleinsprutningen mycket exakt.

Åldring

En fordonskatalysator skall fungera i ca fem år eller 8000 mil.

Konverteringsnivån försämras i takt med att katalysatorn åldras. I stationära sammanhang sjunker konverteringsnivån på NO_x och CO, i runda värden, från 90% till 80% efter ca 15000 timmar

Förutsättningar för lång livslängd:

- rätt sammansättning på förbränningsgasen
- tändningen rätt justerad
- reglerutrustningens förmåga att hålla " $\lambda=1,00$ "
- rätt driftstemperatur (400 - 800°C)
- rätt smörjolja (helsyntetisk krävs för att katalysatorns funktion inte skall störas genom föroreningar)

Livslängden för en trevägskatalysator till en stationär motor bör ligga runt 40 000 timmar.

Åldringen av katalysatorn beror på tre faktorer:

- drifttiden
- den termiska belastningen
- den kemiska nedsmutsningen (smörjoljor etc)

Följderna blir:

- avtagande effekt (sämre konverteringsförmåga)
- stigande reaktionstemperatur (den sk "light off" temperaturen)

Reaktionerna i katalysatorn är exoterma, vilket innebär att värme avges. Arbetstemperaturen i katalysatorn ligger mellan 250 och 850°C. Den termiska belastningen har till följd att washcoat-materialet sintrar och därmed minskar den exponeringsyta med ädelmetaller, som avgaserna skall reagera med, och katalysatorn tappar i effekt. Följden blir ett "smalare λ -fönster".

Vid överhettning (900°C) mister washcoat-skiktet sin porositet. Vid extrem överhettning (1200 - 1500°C) faller hela stommen i bitar.

Vid kemisk nedsmutsning skiljer man mellan "masking" och "fouling". Vid "masking" uppstår en metallisk beläggning, bestående av oädla eller tunga metaller, på katalysatorns yta. Detta kan åtgärdas med rengöringsmedel. "Fouling" innebär att fasta partiklar faller ut på katalysatorns yta och täpper till cellerna. Konsekvenserna blir reducerad katalytisk aktivitet och förhöjt tryckfall.

Naturgas innehåller huvudsakligen metan. Metan-molekylen är "stabil", dvs den är inte utan vidare oxidationsbenägen, inte ens i närvaro av en katalysator. Bästa förutsättningarna för att starta en oxidation av molekylen har en "färsk" katalysator med hög inloppstemperatur, minst 450 °C.

Praktiska prov har visat att en katalysator, avsedd för bensindrift, åldras snabbare vid naturgasdrift än vid bensindrift. Det råder en viss osäkerhet om metan-molekylens destruktiva inverkan på katalysatorn, men forskning pågår inom området.

4.3 Stationära gasmotorer

Utvecklingslinjer

För stationära motorer, i storlekarna från 200 kW till 5000 kW, är avgasrenings-teknik med mager förbränning ("leanburn") den helt dominerande tekniken, både i Sverige där deponigasmotorerna drivs med luftöverskott $\lambda=1,2-1,4$ och internationellt med naturgasdrift med $\lambda=1,6-2,0$. Leverantörerna av stationära gasmotorer har i första hand satsat på denna teknik då det har visat sig relativt enkelt att uppnå axelverkningsgrader på 32 % med de NO_x-emissionskrav på 250 mg/MJ som gäller, framför allt enligt tyska regler (TA-Luft) och som även används som riktlinje i andra länder, t ex i Danmark.

Utvecklingen av motorer med mager förbränning går mot sänkta NO_x-emissionsvärden, 100-150 mg/MJ, men med konstanta eller förhöjda CO- och HC-halter. Dessa kan reduceras med hjälp av en sk tvåvägskatalysator monterad efter motorn. För närvarande är CO- och HC-halterna efter en tvåvägskatalysator högre jämfört med CO- och HC-halterna efter en trevägskatalysator.

För att utveckla gasmotorkonceptet så att det kan utnyttjas parallellt med t ex installationer av gaseldade värmepannor inom bostadsområden, hotell eller social serviceverksamhet m m, krävs sänkning av emissionsvärdena ner till samma värden som för gaspannorna, dvs NO_x-värden på 50 mg/MJ och även låga utsläpp av koloxid och oförbränt metan. För att på ett enkelt sätt komma till dessa nivåer krävs med dagens kända teknik användning av trevägskatalysator för att rena avgaserna.

Trevägskatalysatorns verkningsgrad

Det relativa fåtal stationära gasmotorer, med trevägskatalysator som reningsteknik, i Skandinavien (en i Sverige och två-tre i Danmark) har framför allt installerats för utvecklingsändamål och för utvärdering av teknikens för- och nackdelar i jämförelse med motorer med mager förbränning.

Vid drift med gasmotorer 100-500 kW axeleffekt med c:a 30 % axelverkningsgrad erhålls vid $\lambda=1$ ungefär följande emissionsbild före katalysatorn:

- kväveoxider (NO _x)	700-1400 mg/MJ (1000-2000 ppm)
- kolväten (exkl metan)	200-500 ppm
- koloxid	700-1500 mg/MJ (1000-2500 ppm)

Med en färsk trevägskatalysator, som jobbar inom λ -området 0,990-0,995, reduceras motorns emissionsvärden ungefär med följande procentsiffror till önskade värden:

- kvävedioxid (NO _x)	95-99 %	10-70 mg/MJ
- kolväten (exkl metan)	75-80 %	2-25 ppm
- koloxid	90-95 %	10-75 mg/MJ

Uppmätta värden som visar lambdavärdets inverkan på emissionsnivån framgår av bild 4 - 2.

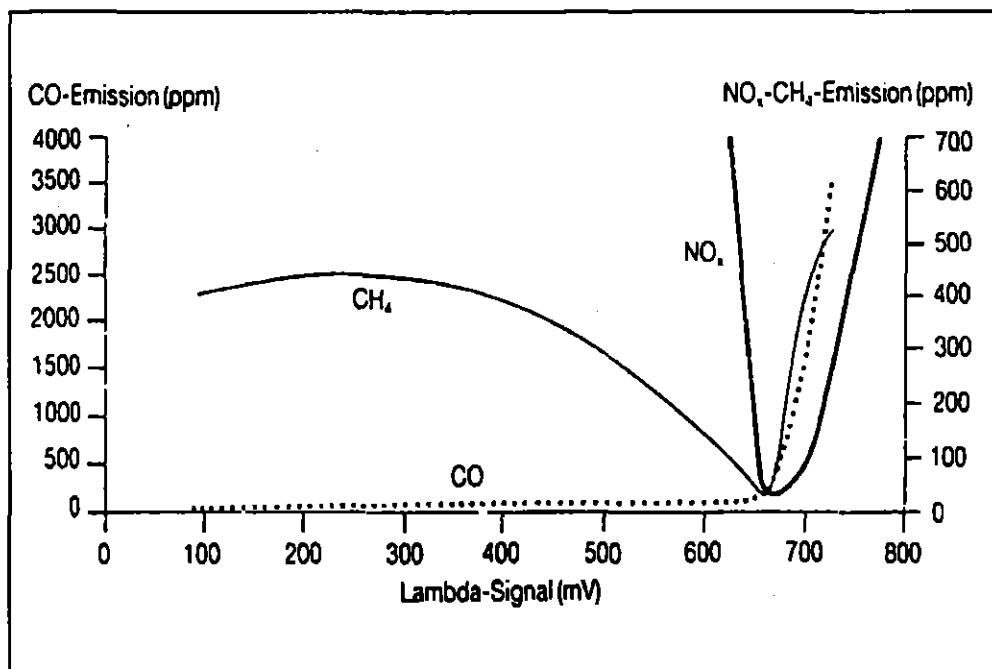


Bild 4 - 2. *Lambdavärdets inverkan på emissionsnivån vid trevägskatalysator, (700 mV motsvarar $\lambda = 1$).*

Kostnader och livslängd för trevägskatalysatorer

Kostnaden för en trevägskatalysator för en stationär motor i effektområdet 100-500 kW ligger mellan 25 och 150 kkr. Livslängden är minst 10 000 drifttimmar.

Livslängden är högst för bränslen utan svavel och tungmetaller och andra föroreningar, vilket gör att tekniken är mycket intressant för naturgasdrift men av begränsad betydelse för deponigasmotorer om inte bränslet renas före användning.

Katalysatorn tål tillfälliga driftperioder med syreöverskott i avgaserna (t ex vid start och stopp av motorn), men som framgår av bilaga 1 reduceras verkningsgraden kraftigt. Tillfälliga överhettningar med temperaturer över 650°C kan katalysatorn normalt klara, men vid upprepade extrema temperaturer upp mot 1000°C kan katalysatorn skadas och funktionen kraftigt försämrats.

Det har visat sig vara en fördel för livslängd och verkningsgrad om drifttemperaturen kan hållas så konstant som möjligt, och vid ändringar i driften bör avgastemperaturen inte ändras alltför snabbt.

För att nå en lång livslängd hos en trevägskatalysator krävs:

- jämn drifttemperatur
- jämn avgaskvalitet utan syre- och metanvariationer
- korrekt inställning av lambdasonden.

Bild 4 - 3 visar hur trevägskatalysatorns verkningsgrad ändrar sig med lambdavärdet.

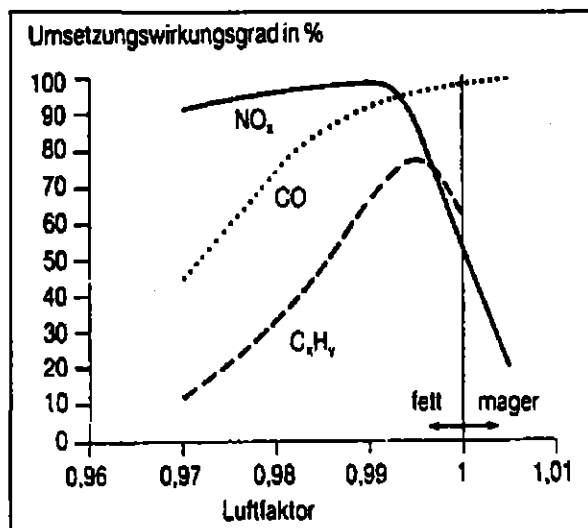


Bild 4 - 3. Lambdavärdets betydelse för katalysatorns verkningsgrad, (Umsetzungswirkungsgrad= reningsverkningsgrad).

Värdet på signalen som lambdasonden ger ifrån sig varierar med luftfaktorn och lambdasondens driftstid, se bild 4 - 4.

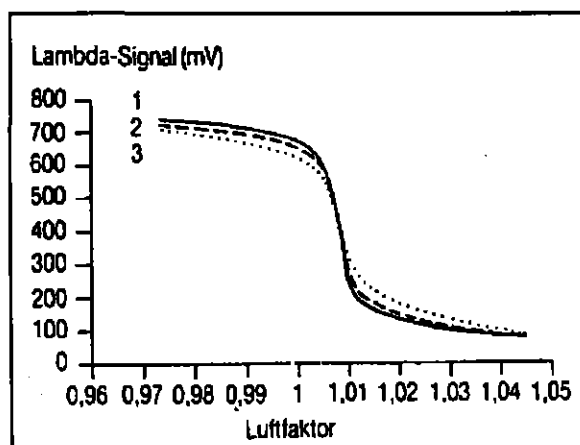


Bild 4 - 4. Värdet på lambdasignalen med avseende på luftfaktor och driftstid. (Kurva "1" motsvarar en "färsk" lambdasond och kurva "2" och "3" motsvarar lambdasonder med ett antal driftstimmar resp. ytterligare ett antal driftstimmar bakom sig).

Utprovning av reningsteknik

Vid Gastechs laboratorium i Holland har omfattande försök gjorts med en gasmotor i syfte att jämföra olika tekniker för att åstadkomma låga emissionsvärden. Det ur emissionssynpunkt bästa resultatet har åstadkommit med trevägskatalysator med lambdastyrning ($\lambda = 0,995$), där följande värden uppnåts efter 2000 timmar:

Emissioner	katalysatorn	
	före	efter
Kväveoxider (ppm)	3100 (2000 mg/MJ)	20 (15 mg/MJ)
Koloxid (ppm)	3000 (1800 mg/MJ)	250 (150 mg/MJ)
Metan (ppm)	590	130
Tillgängligt syre (ppm)	3400	-
Koldioxid (vol-%)	11,4	11,8

Värdena uppmättes på en naturgasdriven motor, 1500 rpm, med ansluten generator med effekten 202 kW och elverkningsgraden 33,4 %.

5 FÖRSLAG TILL STATIONÄRT NATURGASMOTORKONCEPT MED TREVÄGSKATALYSATOR SOM TEKNIK FÖR AVGASRENING

5.1 Allmänt

Huvudproblemet vid teknikutveckling av trevägskatalysatorer med lambda-reglering för fordonsmotorer, är att finna styr- och reglerteknik som kan hålla lambda strax under 1,00 vid varierande last. Redan vid mycket små förändringar i lambdavärdet försvinner de goda miljövärdena.

För motorer vid stationär drift erhålles normalt färre lastvariationer och motorvarvtalet är alltid konstant när generatoren är infasad. Dessa driftsförutsättningar ger ett enklare styr- och reglersystem än för fordonsmotorer.

I kapitel 5.3 och 5.4 redovisas ett förslag till naturgasmotorkoncept som bygger på kraven i kapitel 5.2 .

5.2 Formulering av krav - sammanställning

Med det som redovisas i denna rapport som grund, kan följande tekniska, miljömässiga och funktionsmässiga krav formuleras för trevägskatalysatorer och styr- och reglersystem för stationära gasmotorer utrustade med trevägskatalysatorer.

	<i>Trevägskatalysatorer</i>	<i>Styr- och reglersystem</i>
<i>Tekniska krav</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Bärarmaterial i metall - Aktivt skikt i palladium - "Brett" lambdafönster 	<ul style="list-style-type: none"> - Elektronisk insprutning - Styrning av tändning - Kontroll av förbränning - Kontroll av avgassammansättning efter katalysator
<i>Miljömässiga krav</i>	<ul style="list-style-type: none"> - 90% reningsgrad i minst 15000 h - oxidering av metan 	<ul style="list-style-type: none"> - Exakt avgassammansättning - Optimerar bränsleförbrukningen
<i>Funktionsmässiga krav</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Brett funktionsområde med avseende på temperaturen - Livslängd minst 15000 h 	<ul style="list-style-type: none"> - Styrenhetens livslängd= motorns livslängd - Pådragsenhetens livslängd = minst 15000 h

Den motortekniska utvecklingen innebär att hårdare krav kan ställas på trevägskatalysatorer och styr- och reglersystem i framtiden.

5.3 Systemlösning

Förslaget till ett stationärt naturgaskoncept bygger på en trevägskatalysator med lambdastyrning som teknik för avgasrening. Tanken är att fordonskomponenter skall användas i så stor utsträckning som möjligt till avgasreningen, se kapitel 5.4. Huvudprincipen för föreslagen systemlösning visas i bilaga 2 och förklaras närmare nedan.

Reglersystemets funktion

Det ideala bränsle/luftförhållandet upprätthålls av det elektroniska bränsleinsprutningssystemet. Tändsystemet förser tändstiftet med ström i exakt rätt tidpunkt. Bränsleinsprutningen (insprutningsregulatorn) och tändsystemet styrs av elektronikenheten som i sin tur får signaler från bla lambdasensorn, lägessensorn, tändstiftet och NOx-sensorn. Elektronikenheten jämför värdena på signalerna med förutbestämda värden, de sk börvärdena. Skillnaden i aktuellt värde och börvärdet tjänar som korrigerande signaler till bränsleinsprutningen och tändsystemet.

För anpassning till katalysatorns åldring (smalare lambdafönster) skall dessutom kontroll av katalysatorns funktion ske genom:

- mätning av tryckfall över katalysatorn
- mätning av temperatur i katalysatorn, (reaktionerna i en åldrad katalysator avger mindre värme än i en "färsk" katalysator)
- analysering av förbränningsförloppet i cylindrarna

5.4 Komponenter

Huvudkomponenter till avgasreningen för förslaget stationärt naturgasmotorkoncept med en motor på 150 kW (10 liter cylindervolym):

	pris (kk)	livslängd (h)
- katalysator	25	15000
- syresond	1,5	5000
- reglersystem:		motorns livslängd
elektrisk styrenhet	10-20	
pådragsenhet	5-10	15000

Katalysator

Till mindre motorer är det möjligt, i försöksdrift, att använda personbils-katalysatorer. Dessa kommer dock att förbrukas snabbare eftersom större volymer avgaser kommer att passera genom den än vad den är avsedd för. Rätt temperatur i katalysatorn kan regleras med avståndet till motorn. Valet av katalysator, med avseende på dimension och volym, påverkar mottrycket till motorn och därmed bränsleförbrukningen. Exempel på leverantörer av katalysatorer är Degussa, Kemira och Johnson-Matthey.

Syresond

Syresonder finns i olika storlekar och modeller och är mer eller mindre en lagervara.

Reglersystem

Reglersystemen är specifika för varje motormodell. Varje system utnyttjar plc-teknik eller mikrodatorsystem och programmeras efter de villkor och förutsättningar som den motorn och det bränslet ställer. Utvecklingen av hårdvara och mjukvara för avancerade styrsystem har kommit mycket långt och har dessutom förbilligats. Vid anpassning av ett reglersystem kan man dra nytta av denna utveckling. Ett stationärt motorkoncept skiljer sig i vissa avseenden från motorkoncept till fordon, bl a har det stationära konceptet betydligt färre lastfall. Detta innebär att reglersystemet kan göras enklare.

Ett snabbt och exakt reglersystem underlättar strävan att komma ner i de utsläppsnivåer som kommer att krävas i framtiden. Befintliga tändsystem kompletteras med komponenter som kontrollerar att gnistan sker i exakt rätt tusendels sekund, vilket effektiviserar förbränningen och ger möjlighet till bättre emissionsstyrning med hjälp av återkoppling av signaler från t ex temperatur, gas/luftblandning och motorbelastning. Tillämpningen av dessa reglersystem inom fordonsindustrin visar mycket goda resultat. Denna teknik kan appliceras på stationära motorkoncept utan större ingrepp i "hårdvaran". "Mjukvaran" måste däremot utvecklas specifikt för aktuell motor.

Ett av de reglersystem som får anses vara ett av de intressantaste på marknaden heter Trionic. Det är utvecklat av Mecel, ett svenskt företag som huvudsakligen sysslar med fordons elektronik och ingår i Deltec Electronics (GM-koncernen).

Trionic finns monterat på SAABs turboförsedda personbilsmodeller. Dessa klarar de hårda framtida kraven i Kalifornien och dessutom har bränsleförbrukningen reducerats.

Trionic kontrollerar och reglerar bränsleinsprutningen, tändningen och laddtrycket. Reglersystemet bygger på SAABs kapacitiva tändsystem ("SAAB DI") och en kraftfull 32-bitars processor från Motorola. Signaler från 19 olika sensorer förser reglersystemet med den information som behövs. Sensorerna kontrollerar bl.a.

tändning, svänghjulslägen, syrehalt i avgaserna, kylvattentemperatur, insprutning, turbotryck, gasreglagets läge, lufttemperaturen och fordonets hastighet.

Då ett reglersystem av detta slag appliceras på en stationär motor kan antalet sensorer reduceras (t ex fordonets hastighet) och systemet kan göras enklare i det avseendet.

Trionic korrigerar för transienter genom att ändra tändvinklar samt tidpunkt och längd för insprutningspulserna. Systemet analyserar också varje tändning och förbränning för sig. Metoden bygger på mätning av de elektriskt laddade molekyler, joner, som bildas i förbränningsrummet efter varje förbränning. Det går till så att en svag spänning läggs över gnistgapet på varje tändstift efter varje förbränningsfas, se bild 4 - 5.

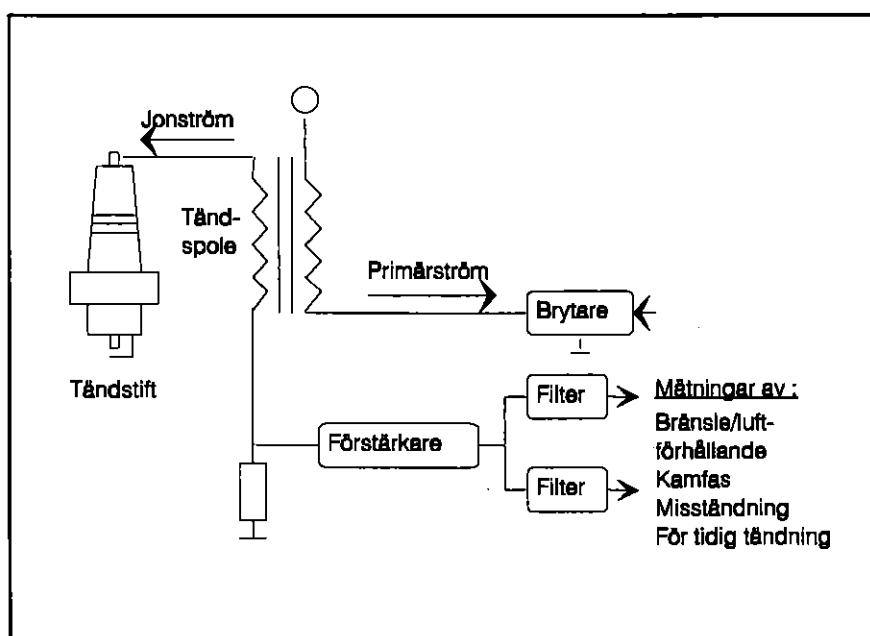


Bild 5 - 1. Trionic-systemet.

När tändstiftets gnista tänder flamman bildas strömmar av joner och fria elektroner i förbränningsrummet. Genom att använda tändstiftet som sensor kan systemet känna av mängden joner i förbränningsgasen kring tändstiftet. En ström, som är beroende på mängden joner, går sedan tillbaka till styrenheten. Denna ström mäts och ger information som är typiska för förbränningen. Med denna information som grund kan varje cylinder styras så att optimal förbränning uppnås.

Parametrar som styrs individuellt för varje cylinder är förutom tändtidpunkt och insprutningstidens längd även gastillförseln och åtgärder mot misständningar. Genom att tändsystemet är kapacitivt kan åtgärder vidtas mot bla knackning (okontrollerad förbränning). Vid ojämn bränsletillförsel eller annan störning

justeras inställningarna blixtnabbt så att knackning undviks. Knackningsdetektering är därmed inbyggt i systemet och därför behövs ingen särskild knacksensor.

Wärtsilä Diesel i Trollhättan utnyttjar denna tändningsteknik på sin nyutvecklade gasmotor, som finns i storlekar mellan 1-3 MWe. Denna motor körs på mager blandning (leanburn) och har förkammartändning av bränsle/luftblandningen. Förutom goda emissionsvärden har en hög verkningsgrad uppnåtts.

6 TEKNIKUTVECKLING OCH SLUTSATSER

6.1 Allmänt

Nya strängare lagar och det faktum att miljöhänsyn har blivit ett försäljningsargument driver fram utvecklingen av förbränningsmotorer, 100-500 kW axel-effekt, med mycket goda prestanda och emissionsvärden.

Forskningen är inriktad på två huvudområden: motorteknisk utveckling och avgasreningsteknologi. Det är svårt att avgöra inom vilket område de bästa resultaten kommer att uppnås. Man måste se systemet som en helhet och det som räknas i slutändan är ju vad som kommer ut genom avgasröret eller skorstenen. Rent generellt kan sägas att en optimerad totallösning behöver inte innebära att motorn, som en enhet för sig, ger lägsta möjliga utsläpp. Om t ex motorn i ett trevägskatalysatorkoncept ger högre utsläpp än vad en motor i leanburn-utförande ger, mätt direkt efter motorn, så kan utsläppen i avgasröret efter katalysatorn i trevägskatalysatorkonceptet ändå vara lägre än i avgasröret efter leanburnmotorn.

Nya katalysatormaterial utvecklas för bättre prestanda. Billigare komponenter introduceras. Datorerna blir allt kraftfullare vilket ger snabbare och noggrannare styrning av tändning och elektronisk bränsleinsprutning. Men det finns fortfarande en produktutvecklingspotential och en hög konkurrens inom de flesta områden.

Dessa förutsättningar kommer att ge möjlighet att i framtiden kunna ge naturgasdrivna motorer miljöegenskaper som motsvarar utsläpp från gaseldade värme pannor, utan att dagens kostnadsläge för gasdrivna kraftvärmeanläggningar kommer att öka.

6.2 Motorteknisk utveckling

Inom det motortekniska området går utvecklingen mot ökad effekt med bibehållen eller sänkt bränsleförbrukning. Det är tydligt att motortillverkarna inte vill sänka utsläppen på bekostnad av effektförluster. Istället uppnår man reducerade avgasemissioner genom förbränningsteknisk utveckling. Det kan vara utformningen av förbränningsrummet, kolvar, ventiler etc, eller utveckling av insprutningssystemet. Nya och bättre material utvecklas och används till komponenter som inverkar på förbränningen.

Mycket arbete läggs även ner på utveckling av tändsystemen. Trionic är ett bra exempel på vad man kan åstadkomma på detta område.

6.3 Utveckling av avgasrenings teknologi

De flesta komponenter till avgasrening av naturgasmotorer är i grunden avsedda för annat bränsle. Därför går utvecklingen mot att anpassa dessa till naturgas. Det gäller t ex lambdasensorn och katalysatorn. Utvecklingen av katalysatorn är inriktad på dels att optimera denna för oxidering av metan och dels på att öka funktionsområdet (lambdafönstret).

Teknik för kylning av katalysatorer är ett nytt område som bör bli aktuellt om stationära motorer utrustas med katalysatorer. Katalysatorer till stationära motorer saknar den kylning som katalysatorer monterade på fordon får genom fartvinden. Dessutom har stationära motorer längre drifttider. En aspekt på fortsatt arbete kan vara att undersöka om man genom kylning av katalysatorn, och därmed rätt och jämn temperatur i katalysatorn, kan förebygga risken för överhettning eller till och med nå bättre emissionsresultat.

Vidare forskas det på dynamiska reglersystem för bränsleinsprutningen så att bränslemängden kan styras av avgassammansättningen och reglersystemet anpassas till åldringen av katalysatorn.

På materialsidan tittar man på billigare material, t ex ädelmetaller i katalysatorn. Sänkta kostnader för avgasrening innebär en större marknad och därmed en större "miljövinst".

Utveckling av trevägskatalysatorkoncept för motorer som körs med luftöverskott (leanburn) är en annan intressant nisch. Fördelarna med en sådan lösning är att man tar tillvara det goda från två olika koncept: trevägskatalysatorns förmåga att reducera emissioner och leanburnmotorns bättre verkningsgrad.

6.4 Slutsatser

Intresset för att installera naturgasdrivna minikraftvärmeaggregat intill bostadsområden i Sverige är stort om de ekonomiska och miljömässiga förutsättningarna kan uppfyllas. Avgasrening med trevägskatalysator och modern reglerteknik ger goda möjligheter för naturgasdriven minikraftvärme utan att de ekonomiska förutsättningarna förändras negativt i jämförelse med orenade motorer.

Utvecklingen av tekniskt avancerade och tillförlitliga system är en nödvändighet för bilindustrin, vilket intressenter av naturgasdrivna minikraftverk har stor anledning att tillämpa även för stationära anläggningar.

6.5 Förslag till fortsatt arbete

Trevägs-katalysator-tekniken är under snabb utveckling och kommer att få stor betydelse som NOx-reningsteknik för gasmotorer i framtiden. Det fortsatta arbetet inom SGC bör inriktas på följande aktiviteter :

- Undersöka möjligheterna till utveckling av system för kylning av katalysatorer till stationära gasmotorer.
- Uppföljning av mjuk- och hårdvara för styr- och reglersystem till stationära gasmotorer.
- Studera möjligheterna att använda nya katalysatormaterial som tål föroreningar och värme bättre.
- Bevaka utvecklingen av trevägs-katalysatorer för motorer som körs på luftöverskott.
- Undersöka möjligheterna för kontroll och anpassning till katalysatorns åldring.

7 REFERENSER / LITTERATURFÖRTECKNING

D.Stenersen, Marintek / SINTEF

"Gassmotorer for kraft/varmeproduksjon : Teknologier for emisjonsbegrensninger"

Nordisk Gasteknisk Center, Feb - 1991

M.Ekelund, R.Egnell, R.Gabrielsson

"Naturgas som kolvmotorbränsle"

STU-information nr 751, 1989

M.Kytö, N.O.Nylund, T.Eklund, VTT, Finland

"Emissionsbegränsning i snabbgående 4-takts ottomotorer med $\lambda=1$ ", lägesrapport

VTT-rapport, projektnummer POV0006, Maj - 1990

R.Egnell, Aspen Utveckling AB

M.Ekelund, Ecotraffic AB

"Nordiska GasBuss Projektet, Projekt 1", Slutrapport

TFB - rapport 1991:26, Oktober - 1991

H.Broman, Vattenfall Energisystem AB

"Metanreduktion i katalysatorer för naturgasmotorer", Statusrapport

Nordisk Gasteknisk Center, Mars - 1993

T.Narushima, Tokyo Gas Co Ltd, Japan

"Development of an Ultra Low Emission Light Duty NGV"

Proceedings, Part III, NGV'92 Göteborg, September - 1992

P.M.Eingang, Marintek, Norge

I.Valberg, Marintek, Norge

H.Gausen, Cylinderservice Motor AS, Norge

"Emission Optimized Lean Burn Gas Engine using Open Loop Electronic Control System"

Proceedings, Part II, NGV'92 Göteborg, September - 1992

Bilar, starka sidor & svaga punkter, 86 bilar 1976-1992 års modeller

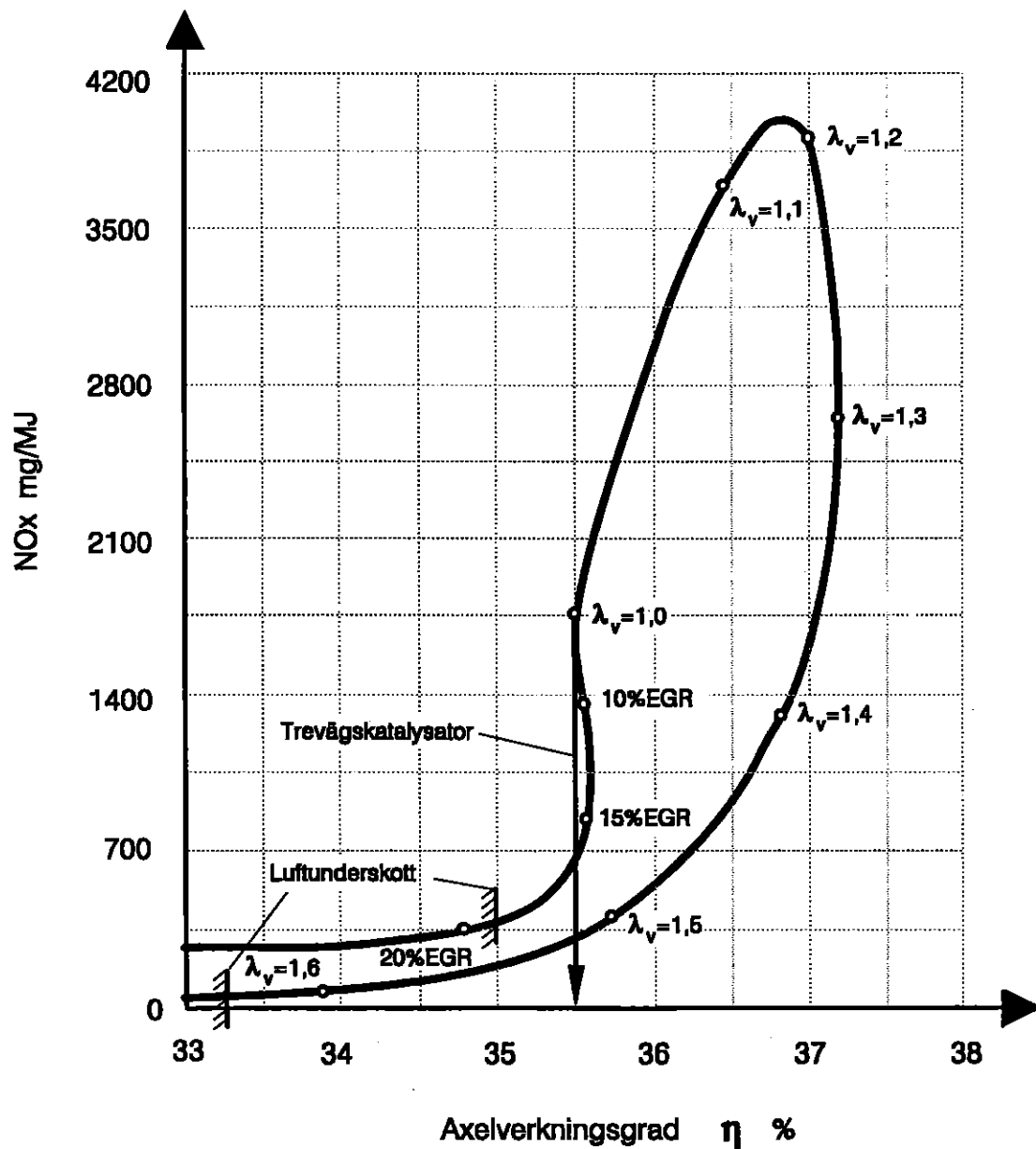
AB Svensk Bilprovning, Konsumentverket, 1992

Pipeline & Gas journal, Juni - 1993

Telefonintervjuer, November - 1993:

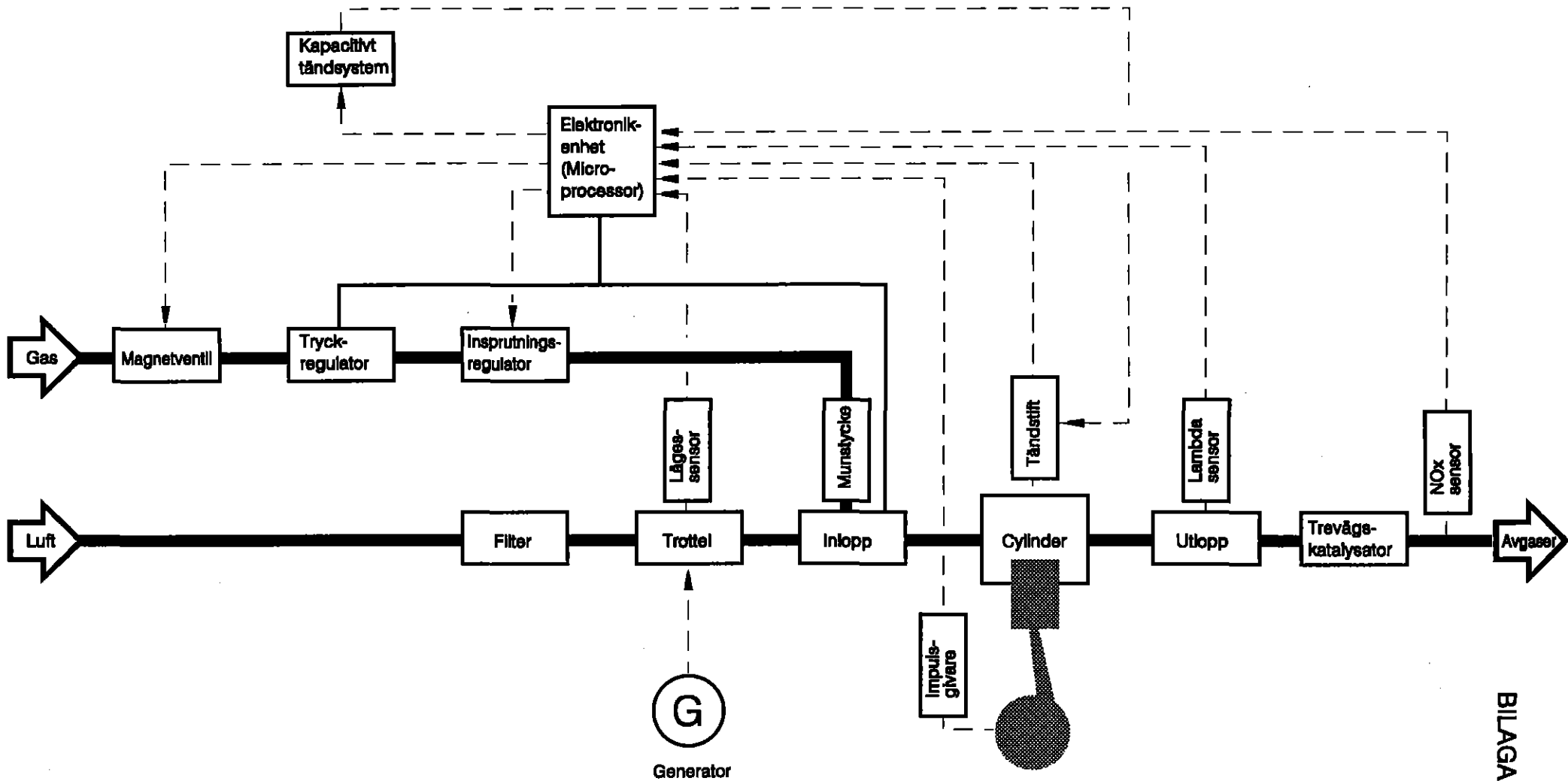
Kompetenscentrum för katalysorteknik (Chalmers), Förbrännings-
teknik (LTH), Nutek, Naturvårdsverket, Motorgasteknik AB,
Emissionsteknik AB

Axelverkningsgrad som funktion av luftöverskott / underskott och NOx emissioner för en 4-takts gasmotor, 1500 rpm.



Förenklat blockschema

Förslag till stationärt naturgasmotorkoncept
med trevägskatalysator som teknik
för avgasrening



94-12-07

RAPPORTFÖRTECKNING

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

94-12-07

RAPPORTFÖRTECKNING

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

94-12-07

RAPPORTFÖRTECKNING

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

94-12-07

RAPPORTFÖRTECKNING

SGC Nr	Rapportnamn	Rapport datum	Författare	Pris kr
051	Nordiska Degelugnsprojektet. Pilot- och fältförsök med gasanvändning.	Nov 93	Eva-Maria Svensson Glafo	150
052	Nordic Gas Technology R&D Workshop. April 20, 1994. Proceedings.(På engelska)	Jun 94	Jörgen Thunell, Editor Swedish Gas Center	150
053	Tryckhöjande utrustning för gas vid metallbearbetning -- En förstudie av GT-PAK	Apr 94	Mårten Wärnö MGT Teknik AB	150
054	NOx-reduktion genom injicering av naturgas i kombination med ureainsprutning	Sep 94	Bent Karl, DGC P Å Gustafsson, Miljökons.	100
055	Trevägs-katalysatorer för stationära gasmotorer.	Okt 94	Torbjörn Karlelid m fl Sydkraft Konsult AB	150
056	Utvärdering av en industriell gaseldad IR-strålare	Nov 94	Johansson, M m fl Lunds Tekniska Högskola	150



Svenskt Gastekniskt Center AB

Box 19011, 200 73 MALMÖ
Telefon: 040- 37 55 90
Telefax: 040- 37 55 96