

De toepassing van de katalytische reactor
op de Volvo benzinemotoren

Service

VOLVO

For internal use only

VOLVO

Volvo Car B.V.
Helmond, the Netherlands

INHOUDSOPGAVE

Deel 1 Theoretische beschouwing

- De katalytische reactor
- Verschil tussen een tweeweg en drieweg katalytische reactor
- Lambda waarde
- Werkgebied van een drieweg katalytische reactor
- De zuurstofsensor
- Het zuurstofsignaal en de lambda regeling

Deel 2 Praktische toepassing van een katalytische reactor op Volvo benzinemotoren

- Inleiding
- Katalytische reactor specificaties en toepassingen

SERVICE TECHNICAL SUPPORT
Service Training

November 1987



Deel 1 Theoretische beschouwing

DE KATALYTISCHE REACTOR

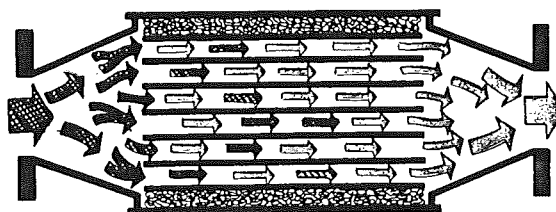
ALGEMEEN

Om aan de steeds strengere uitlaatgas emissie-eisen te blijven voldoen, zijn tegenwoordig veel auto's uitgerust met een katalytische reactor (ook wel katalysator genoemd) in het uitlaatsysteem.

De techniek van een katalytische reactor is gebaseerd op het voeren van de uitlaatgassen langs een keramisch element, dat is bekleed met de edelmetalen platina en rhodium (soms palladium). Deze metalen functioneren als katalysator in de reacties tussen CO en O₂, HC en O₂, en eventueel de reductie van NO_x.

Een katalysator is een stof die een chemische reactie mogelijk maakt zonder er actief aan deel te nemen.

UITLAATGASSEN

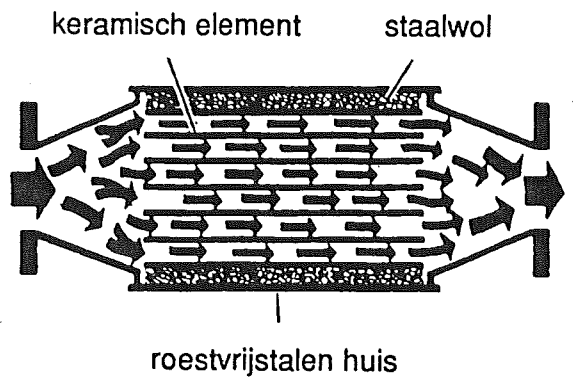


"GEZUIVERDE"
UITLAATGASSEN

TWEE- EN DRIEWEG KATALYTISCHE REACTOR

Er bestaan twee typen katalytische reactoren: de tweeweg- en de drieweg katalytische reactor. Een tweeweg katalytische reactor oxideert twee van de belangrijkste verontreinigingen in het uitlaatgas, namelijk koolmonoxide (CO) en koolwaterstof (HC of beter C_xH_y) tot ongevaarlijke gassen. De drieweg katalytische reactor doet hetzelfde, maar reduceert daarnaast nog een derde verontreiniging, stikstofoxide (NO_x), in belangrijke mate.

De verontreinigingen in het uitlaatgas ontstaan doordat de verbranding in de motor nooit volledig is. Wanneer het benzine/luchtmengsel te rijk is, worden er grote hoeveelheden koolmonoxide gevormd, en de hoeveelheid koolwaterstoffen stijgen. Is het mengsel te arm, dan neemt de hoeveelheid stikstofdioxide weer toe. Een drieweg katalytische reactor kan de drie genoemde verontreinigingen slechts in een zeer klein gebied aanpakken, namelijk wanneer de verhouding lucht/brandstof ongeveer 14,7 : 1 kg bedraagt (lambda is dan ongeveer gelijk aan 1).



GEBRUIK VAN EEN KATALYTISCHE REACTOR

Het is belangrijk dat in combinatie met een katalytische reactor altijd loodvrije benzine wordt gebruikt, omdat het lood blijft "kleven" aan de actieve stoffen (platina, rhodium, palladium), waardoor het werkzame oppervlak van de katalytische reactor wordt verminderd.

Een tweede gevaar van het gebruik van loodhoudende benzine is dat bij hoge snelheden (= hoge temperatuur in het uitlaatsysteem) de katalytische reactor zal proberen het aanwezige lood te verbranden. Hierdoor kan de temperatuur zo hoog oplopen dat de honingraatstructuur van het keramische element bezwijkt, en zo de doorgang voor de uitlaatgassen verspert.

De katalytische reactor kan ook beschadigd worden als de motor "verzopen" wordt. Dit gebeurt wanneer de motor langdurig rondgetornd wordt en niet wil aanslaan. De nog vloeibare benzine kan dan in de katalytische reactor terecht komen en aldaar tot zelfontbranding komt. Door de hoge temperaturen die hierbij optreden zal de katalytische reactor onherstelbaar beschadigd worden.

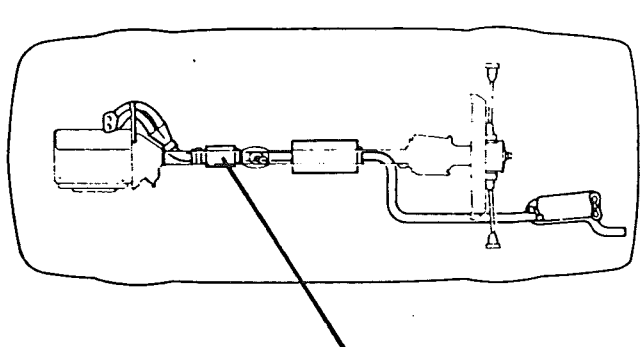
BEDRIJFSTEMPERATUUR

De plaatsing van de katalytische reactor in het uitlaatsysteem is kritisch omdat de katalytische reactor zijn bedrijfstemperatuur ($\pm 300^{\circ}\text{C}$) moet bereiken voordat deze effectief kan worden.

Om te zorgen dat de katalytische reactor zo snel mogelijk zijn bedrijfstemperatuur bereikt, wordt deze zo dicht mogelijk bij het uitlaatspruitstuk geplaatst.

De normale bedrijfstemperatuur van een katalytische reactor is enkele honderden graden Celcius en kan oplopen tot wel 900°C . Men dient daarom voorzorgsmaatregelen te nemen bij het parkeren van de auto boven brandbare materialen, omdat deze anders door de hittestraling van de katalytische reactor kunnen gaan ontbranden.

De vrij hoge bedrijfstemperatuur heeft nog een tweede gevolg. Wanneer met de auto hoofdzakelijk korte ritten worden gemaakt (boodschappenauto) heeft de katalytische reactor minder effect, omdat de katalytische reactor in dat geval niet geheel op bedrijfstemperatuur zal komen.



Bovenaanzicht van een uitlaatsysteem met daarin opgenomen een katalytische reactor. Deze is met opzet ver naar voren aangebracht opdat hij bij rijden in het stadsverkeer toch zo snel mogelijk op gebruikstemperatuur zal komen.

KATALYTISCHE REACTOR

N.B. Montage van de katalytische reactor, te dicht bij het uitlaatspruitstuk is niet gewenst i.v.m. thermische veroudering als gevolg van oververhitting.

LEVENSDUUR

Door toevoegingen in de brandstof en in de lucht aanwezige verontreiniging en door thermische verouderingen, neemt de werkingsgraad van de katalysator af. De werkingsgraad van een nieuwe katalytische reactor is 80-90% en zal na 100.000 kilometer teruglopen tot ca. 60-70%. Als de werking van de katalytische reactor zover is teruggelopen dat de auto niet meer voldoet aan de gestelde emissie-eisen, dan dient de katalytische reactor vervangen te worden.

TWEEWEG KATALYTISCHE REACTOR

Dit type katalytische reactor oxideert koolmonoxide (CO) en onverbrande koolwaterstoffen (C_xH_y) tot de eindproducten: kooldioxide (CO_2) en water (H_2O). Omdat hier alleen oxiderende reacties plaatsvinden, wordt dit type reactor ook wel verkort "oxicat" genoemd. De benodigde O_2 voor de oxiderende reacties wordt verzorgd door het Pulsair systeem (luchttoevoeging in het uitlaatsysteem).

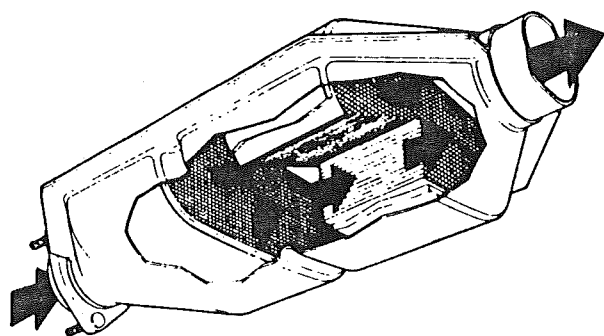
Onder normale omstandigheden kan de verbranding van koolmonoxide en koolwaterstoffen pas plaatsvinden bij zeer hoge temperaturen ($\pm 650^{\circ}C$). Door toepassing van een katalytische reactor, kan deze verbranding al bij een temperatuur van $\pm 300^{\circ}C$ plaatsvinden.

Het keramisch element dat bedekt is met de edelmetalen platina en palladium wordt door deze reactie op geen enkele wijze "opgebruikt".

DRIEWEG KATALYTISCHE REACTOR

Het doel van deze katalytische reactor is het oxideren van koolmonoxide en koolwaterstoffen tot koolmonoxide en water, en daarnaast het reduceren van stikstofoxide (NO_x) tot de eindprodukten: stikstof (N_2) en water (H_2O).

Een drieweg katalytische reactor werkt maar in een zeer beperkt gebied optimaal, namelijk rondom de ideale lucht/brandstof-verhouding. De grafiek op bladzijde 8 laat dit nog eens zien.



De minimale vereiste bedrijfstemperatuur van de drieweg katalytische reactor ligt ook weer om en nabij de $\pm 300^\circ\text{C}$.

LAMBDA WAARDE/LUCHTOVERMAATSGETAL

Alvorens een definitie te geven van Lambda (λ) is het nodig eerst de mengselverhouding te definiëren. De lucht/brandstof mengselverhouding, of te wel kortweg mengselverhouding, is de gewichtsverhouding van de hoeveelheid lucht en brandstof in het mengsel.

In formulevorm: mengselverhouding = $\frac{\text{hoeveelheid lucht in kilogram}}{\text{hoeveelheid brandstof in kilogram}}$

De mengselverhouding wordt stochiometrisch genoemd wanneer in het mengsel juist voldoende zuurstof aanwezig is om de brandstof volledig te verbranden tot CO_2 en H_2O . Dit komt neer op een mengselverhouding van ongeveer 14,7 (deze theoretische waarde varieert enigszins en hangt af van o.a. de samenstelling van de benzine). Er is dus 14,7 kg lucht nodig om één kilogram benzine volledig te verbranden.

De Lambda waarde (luchtvermaatsfactor) is gedefinieerd als de verhouding tussen de eigenlijke mengselverhouding en de stochiometrische mengselverhouding.

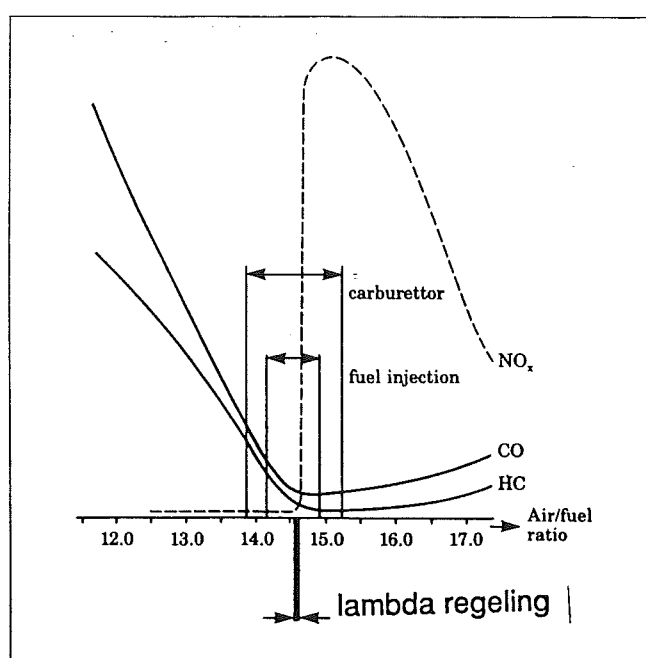
In formulevorm:
$$\lambda = \frac{\text{eigenlijke mengselverhouding}}{\text{stochiometrische mengselverhouding}}$$

Wanneer een mengsel te arm is, bijv. 16 kilogram lucht op 1 kilogram benzine, dan is de Lambda waarde dus groter dan 1. In dit geval:

$$\lambda = \frac{16}{14,7} = 1,09$$

Bij te rijke mengsels is de Lambda waarde dus kleiner dan 1.

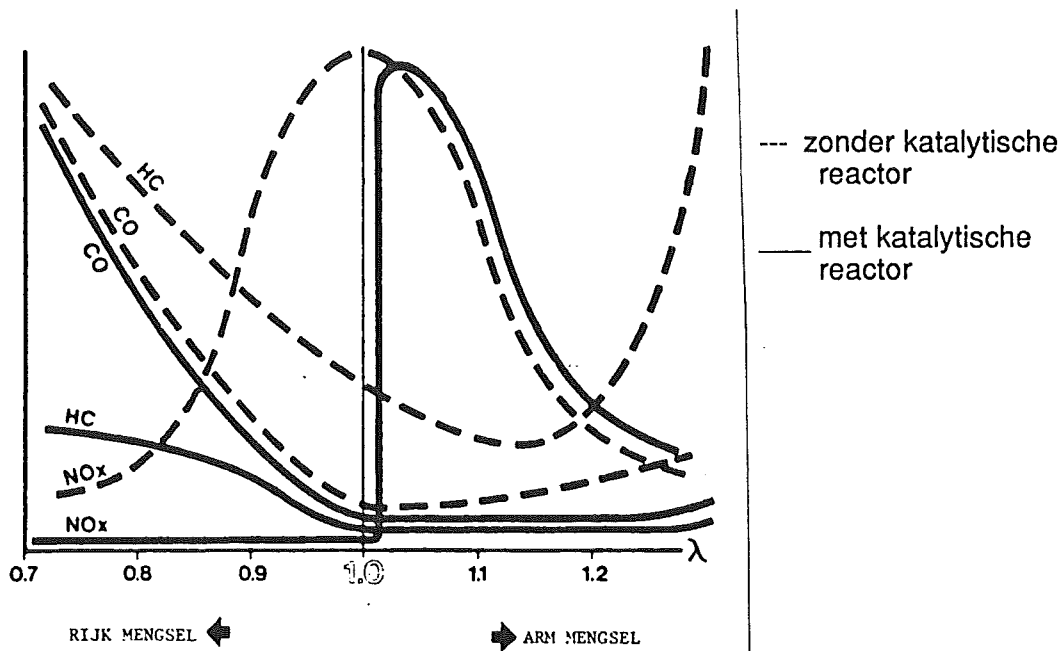
Een motor levert zijn grootste vermogen met een iets te rijk mengsel. Met een iets te arm mengsel echter is het verbruik het laagst.



Motoren die voorzien zijn van een carburateur of een inspuitstelsel met of zonder lambda regeling werken in verschillende regelgebieden. Deze gebieden zijn aangegeven in de bovenstaande afbeelding.

WERKGEBIED VAN EEN DRIEWEG KATALYTISCHE REACTOR

Wanneer een auto wordt voorzien van een katalytische reactor, wordt de uitstoot van schadelijke stoffen tot een minimum beperkt. In de onderstaande grafiek is de uitstoot van HC, CO en NO_x uitgezet ten opzichte van de λ .

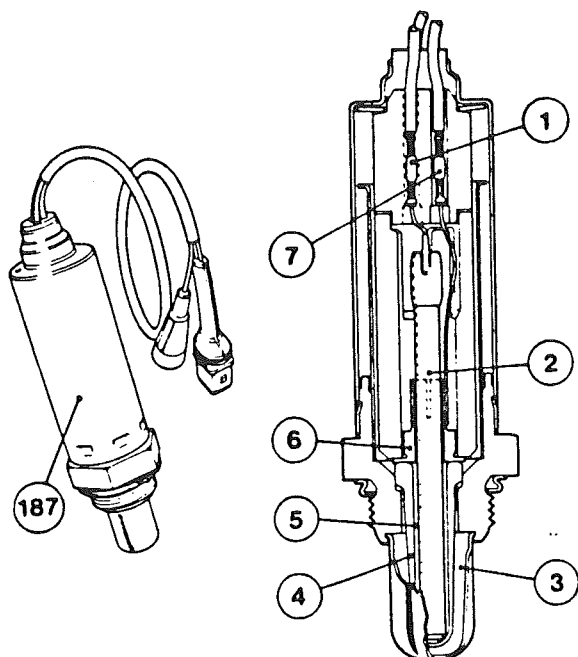


De onderbroken lijn (---) laat de uitstoot van de drie belangrijkste schadelijke stoffen (CO, HC, NO_x) zien. Duidelijk is te zien dat deze uitstoot afhankelijk is van de waarde van het luchtvermaatsgetal lambda.

De getrokken lijn (—) laat de uitlaatgassen-emissie zien, wanneer een drieweg katalytische reactor is gemonteerd. De hoeveelheid schadelijke stoffen is duidelijk minder geworden. Hierbij is duidelijk zichtbaar dat alleen bij $\lambda = 1$ een optimum bereikt wordt in de uitstoot van alle drie gassen. Opvallend is dat de drieweg katalytische reactor het best werkt in een zeer klein gebied rondom lambda = 1.

Bij een gemonteerde drieweg katalytische reactor is het dus zaak te zorgen dat de lambda-waarde zo goed mogelijk op 1 wordt afgeregeld om een optimale werking te waarborgen. Dit wordt veelal in de praktijk gerealiseerd door middel van een zuurstofsensor. De werking van deze zuurstofsensor komt in het volgende hoofdstuk uitgebreid aan de orde. Vooral wat betreft de NO_x-uitstoot is het van belang dat het mengsel zeker niet te arm wordt afgesteld (monteur) of afgeregeld (zuurstofsensor).

DE ZUURSTOFSENSOR



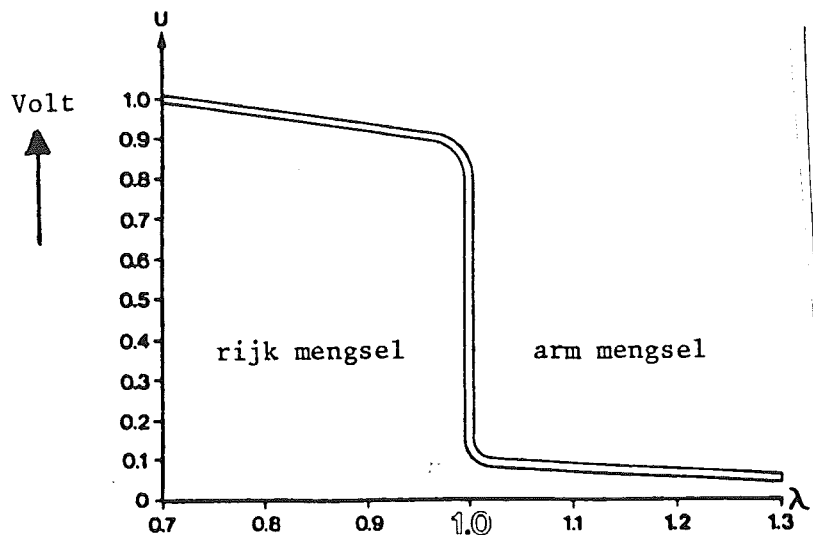
- 1 spanningsklem verwarmings-
element
- 2 verwarmingselement
- 3 beschermbuis
- 4 sensor
- 5 buitenlucht
- 6 contactbus
- 7 spanningsklem uitgangssig-
naal (naar stuureenheid)

De zuurstofsensor, gemonteerd in de uitlaat of katalytische reactor, stuurt een signaal naar het inspuitsysteem van de motor over het O_2 gehalte in de uitlaatgassen. Dit stelt het inspuitsysteem in staat om de hoeveelheid ingespoten brandstof zodanig te regelen dat $\lambda = 1$.

Zodra de contactsleutel wordt omgedraaid, komt de accuspanning op de spanningsklem (1) te staan, waardoor het verwarmingselement (2) zal gaan werken. Het uitlaatgas dringt de zuurstofsensor binnen via kanaaltjes in de beschermbuis (3). De ceramic sensor (4) produceert, afhankelijk van het verschil in zuurstofgehalte tussen het uitlaatgas en de omringende buitenlucht (5), een elektrisch signaal (spanning). Dit signaal wordt via de contactbus (6) en een spanningsklem (7) doorgegeven aan de stuureenheid van het inspuitsysteem.

De zuurstofsensor heeft als nadelige eigenschap, zoals trouwens zoveel onderdelen in een auto, dat deze pas werkt na het bereiken van de bedrijfstemperatuur (ongeveer $350^{\circ}C$). Om te zorgen dat de bedrijfstemperatuur eerder wordt bereikt is de zuurstofsensor voorzien van een verwarmingselement.

HET ZUURSTOFSENSOR SIGNAAL EN DE LAMBDA REGELING



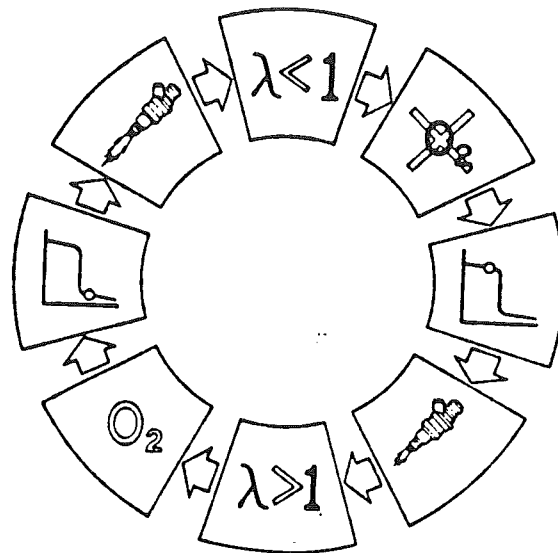
In bovenstaande figuur is het signaal dat de zuurstofsensor afgeeft te zien. Op de horizontale as is de waarde van lambda uitgezet, de verticale as geeft de bijbehorende afgegeven spanning weer.

Als de motor op een rijk mengsel draait ($\lambda < 1$), wordt alle zuurstof opgebruikt bij de verbranding; er blijft dus niets over in het uitlaatgas. In de grafiek is te zien dat het bijbehorende signaal van de zuurstofsensor een hoge spanning is (ongeveer 1,0 volt).

Draait de motor op een arm mengsel ($\lambda > 1$), dan is er een overschot aan zuurstof aanwezig in het uitlaatgas, omdat de hoeveelheid benzine te klein is om alle zuurstof te verbruiken. In dit geval geeft de zuurstofsensor een lage spanning af (ongeveer 0,1 volt).

Het omslagpunt ligt, zoals uit de grafiek blijkt, precies bij $\lambda = 1$. De elektronische stureeenheid, die het signaal van de zuurstofsensor ontvangt, is hierdoor in staat te onderscheiden of de motor te arm, dan wel te rijk draait. Aan de hand van deze "kennis" kan de stureeenheid de hoeveelheid te injecteren brandstof aanpassen, zodat de lambda-waarde 1 weer benaderd wordt.

De regeling van de lambda waarde is nog eens weergegeven in de onderstaande afbeelding.



Het regelsysteem met de zuurstofsensoren is niet in staat om het lucht/brandstofmengsel op een exacte lambda-waarde van 1 te houden. Het staat kleine schommelingen naar beide zijden toe.

De afbeelding toont de regelcyclus die aangeeft hoe het regelsysteem werkt. Op elk punt van deze cyclus kan men starten; wij beginnen bovenaan.

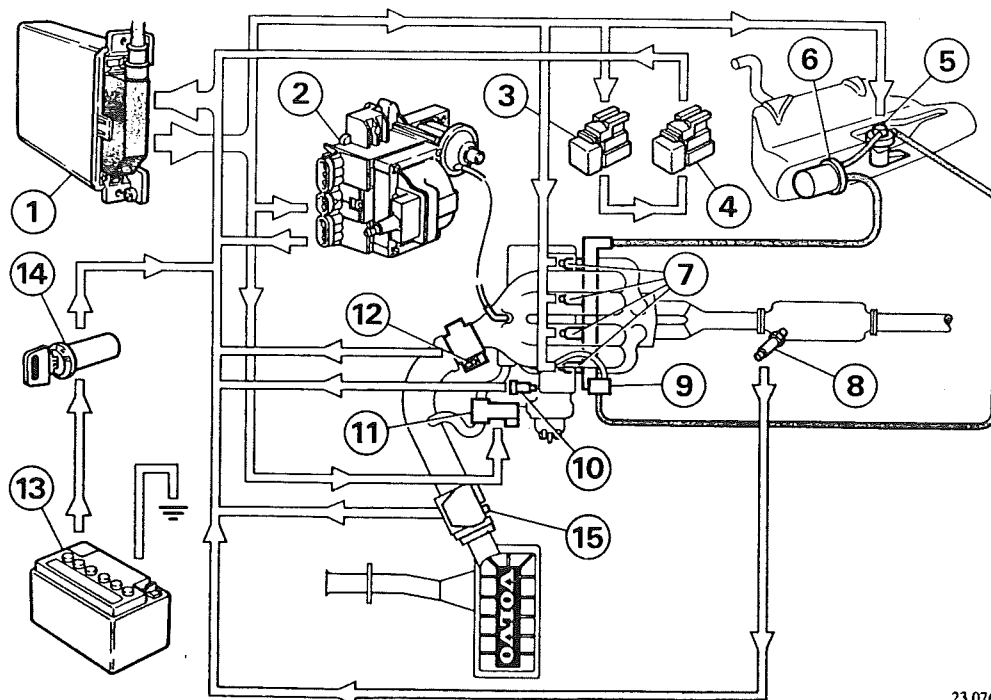
Op dit punt draait de motor op een te rijk mengsel ($\lambda < 1$), er is dus geen restzuurstof aanwezig in het uitlaatgas. De zuurstofsensoren geeft daarom ook een hoge spanning af. Deze spanning wordt doorgegeven aan de regeleenheid, die op zijn beurt de hoeveelheid te injecteren brandstof vermindert.

De hoeveelheid zuurstof in het uitlaatgas zal hierdoor weer toenemen. Het signaal van de zuurstofsensoren zal daarom "laag" zijn. De regeleenheid reageert hierop door de hoeveelheid te injecteren brandstof te vergroten waardoor we weer op ons uitgangspunt aankomen.

Deze cyclus zal zich eindeloos blijven herhalen in een enorm hoog tempo. De motor zal beurtelings te arm of te rijk draaien maar door de hoge regelfrequentie zal de gemiddelde lambda-waarde erg dicht bij de 1 liggen. De kleine schommelingen hebben nagenoeg geen effect op de samenstelling van het uitlaatgas, omdat ze zich zullen mengen in het uitlaatspruitstuk en in het uitlaatsysteem.

De zuurstofsensor is net als de katalytische reactor erg gevoelig voor lood in de benzine. Wanneer een kleine hoeveelheid lood aan de benzine is toegevoegd, zal de zuurstofsensor zijn werking verliezen. Het is zelfs zo dat, wanneer éénmaal loodhoudende benzine is getankt, de zuurstofsensor vervangen zal moeten worden, omdat deze daarna geen signaal meer kan produceren.

De B18F en FT motoren zijn voorzien van een lambda regeling. Hieronder is schematisch het inspuitsysteem van de B18F motor aangegeven.



23 076

- | | | |
|----------------------|-------------------------------|------------------------|
| 1 LH Jetronic ECU | 6 Benzinefilter | 11 Stationairregelklep |
| 2 Bendix F3A ECU | 7 Verstuiers | 12 Gasklepschakelaar |
| 3 Systeemrelais | 8 Zuurstof sensor | 13 Accu |
| 4 Relais benzinepomp | 9 Benzinedrukregelaar | 14 Contactschakelaar |
| 5 Benzinepomp | 10 Koelwatertemperatuurvoeler | 15 Luchtmassameter |

DEEL 2 Praktische toepassing van een katalytische reactor op Volvo benzine motoren.

INLEIDING

We hebben in deel 1 gezien dat we een onderverdeling kunnen maken in de katalytische reactors, te weten: een tweeweg en een drieweg katalytische reactor. De werking, dus het oxideren en reduceren van de schadelijke uitstoot hangt af van de samenstelling en de verhouding van de actieve stoffen (platina, rhodium en palladium).

Door de verhouding en samenstelling van de actieve massa te veranderen, kan de werking van de katalytische reactor worden beïnvloed. Hierdoor zijn we in staat de katalytische reactor aan te passen aan een specifieke motor. Het is belangrijk voor een goede werking van de katalytische reactor, dat altijd de juiste katalytische reactor wordt toegepast op een motor.

Hieronder vindt u een overzicht van motoren die zijn uitgerust met een katalytische reactor.

Katalytische reactor specificaties

B 14 oxicat

De B14 motor is uitgerust met een tweeweg katalytische reactor, ook wel oxicat genoemd. De actieve stoffen in deze oxicat zijn platina en palladium met een verhouding van 2 : 1.

De oxicat oxideert de CO en CH naar CO₂ en H₂O. De motor is verder voorzien van het Pulsair systeem die voor voldoende O₂ zorgt voor de oxidatie van CO en CH. Het EGR systeem zorgt ervoor dat bij de verbranding in de motor minder NO_x wordt geproduceerd.

B 172 K (D) (Volvo 300)

De B 172 K (D) is uitgerust met een drieweg oxicat, de zogenaamde "TWOC" (Three Way Oxy Cat). In deze "TWOC" vormen platina en rhodium de actieve stoffen in een verhouding van 12 : 1. Deze "TWOC" reduceert in lichte mate de NO_x en oxideert de CH en CO.

De B 172 K (D) motor is niet uitgerust met een zuurstofsensor, zodat we spreken van een "ongeregelde katalytische reactor".

B 200 F (Volvo 300) en de B 18 F en FT (Volvo 480)

De bovenstaande motoren zijn uitgerust met een drieweg katalytische reactor met als actieve stoffen platina en rhodium in een verhouding van 5 : 1.

De motoren zijn voorzien van een inspuitstelsel met zuurstofsensoren, zodat we spreken van een "geregelde katalytische reactor". De drieweg katalytische reactor reduceert NO_x en oxideert CH en CO.

B 18 E (D) (Volvo 480)

De B 18 E (D) motor is uitgerust met een ongeregelde drieweg katalytische reactor met als actieve stoffen platina en rhodium in de verhouding 8 : 1.

Deze ongeregelde drieweg katalytische reactor reduceert de NO_x minder dan de geregelde drieweg katalytische reactor op de B18F motor, maar reduceert meer NO_x dan de TWOC op de B172K (D) motor.

De ongeregelde drieweg katalytische reactor oxideert tevens de CH en CO.