

CAPITOLUL 6

CONTROLUL EMISIILOR POLUANTE ALE MOTOARELOR DE AUTOMOBIL ALIMENTATE CU BENZINĂ

6.1. GENEZA SUBSTANTELOR NOCIVE ÎN MOTOARELE CU APRINDERE PRIN SCÂNTEIE. MĂSURI DE LIMITARE

Progresele recente din domeniu au permis abordarea problemelor de poluare mult mai eficient, ajungându-se prin această modalitate mai aproape de mecanismul de formare a principalilor produși.

Astfel, **oxidul de carbon (CO)**, ca rezultat al unei arderi cu lipsă de oxigen, uneori numai în anumite zone ale camerei de ardere, este influențat în mod direct de dozaj și de gradul de omogenitate a amestecului în momentul parcurgerii sale de către flacără. Aceste condiții de formare a oxidului de carbon pot fi generate atât de tipul și parametrii aparatului de alimentare cât și de necorelarea ei cu tipul și geometria camerei de ardere. În acest mod se compromite foarte ușor performanțele de poluare și de consum ale motorului. Aspectul legat de aparatul de alimentare trebuie corelat cu omogenitatea cât mai bună a amestecului și cu utilizarea unor dozaje cât mai sărace, în vederea reducerii substanțiale a emisiilor de oxid de carbon.

Prezența **hidrocarburilor** (notate generic cu **HC**), după cum se cunoaște, își are originea în fenomenul de *stingere a flăcării* în volum (volum *reci* generate de raportul mare suprafață/volum, al camerei de ardere) sau în stratul limită de la perete, precum și în formarea unor amestecuri în afara limitei de inflamabilitate.

În mod evident însă, măsurile mai eficiente de reducere a cantității de hidrocarburi sunt în primul rând de natură geometrică, adică realizarea unei camere de ardere compacte, apoi, pe cât posibil, reducerea grosimii stratului limită, asigurarea unei propagări cât mai complete a flăcării prin intensificarea turbulenței, precum și prin diminuarea concentrației de hidrocarburi în strat limită, deziderat realizabil prin utilizarea dozajelor sărace a amestecurilor stratificate. În privința acestui aspect, adică al formării și utilizării în motor a unui amestec stratificat, o condiție esențială este utilizarea unei instalații de alimentare corespunzătoare, instalație în care ponderea principală o are partea de injecție. Tot în scopul reducerii conținutului de hidrocarburi trebuie citat și procedeul prelucrării în destindere.

Oxidul de azot (NO) care prezintă, după cum se cunoaște, un gradient de concentrație în interiorul cilindrului, gradient care-l urmărește pe cel termic al gazelor, este dependent cantitativ de temperatura maximă din ciclu, a fiecărei tranșe de gaze, de tipul de expunere a tranșei la temperatură ridicată, precum și de disponibilitatea de oxigen, deci practic de dozajul local.

Din cele prezentate reiese că dozajul este un factor obiectiv de control al acestor produși poluanți, dar acționează în mod contradictoriu în sensul că, atunci când este bogat reduce NO, în condiții în care CO și HC cresc îngrijorător, iar pe de altă parte, printr-o ușoară sărăcire crește mult conținutul de NO [6, 7, 11, 33, 35, 67].

6.2. REDUCEREA NIVELULUI EMISIILOR POLUANTE PE CALE CATALITICĂ

Cea mai actuală metodă de control a nivelului emisiilor poluante este posttratarea catalitică a gazelor pe circuitul de evacuare a motorului; posttratarea catalitică acționează prin completarea oxidării unor substanțe nocive și se realizează prin intermediul unui catalizator ale cărui funcții sunt următoarele:

- postarderea monoxidului de carbon (CO) și a hidrocarburilor (HC) cu degajarea de substanțe nedăunătoare, adică bioxid de carbon (CO_2) și apa (H_2O);

- reducerea azotului din oxizii de azot prezenți în gazele arse, în azot neutru (N_2).

Prin utilizarea unui convertor catalitic, peste 90% din substanțele toxice prezente în gazele de eșapament sunt transformate în substanțe chimice nepericuloase. Rezultă deci că posttratarea catalitică a gazelor de evacuare este mult mai eficientă decât, de exemplu, postarderea gazelor de evacuare într-un reactor termic.

Materialele utilizate pentru tratarea catalitică a gazelor evacuate sunt uzual metale nobile, în speță platina (Pt) și rhodiul (Rh). Platina este foarte activă pe durata oxidării monoxidului de carbon și a hidrocarburilor în condiții stoichiometrice și lejer bogate, în timp ce rhodiul este activ pe durata reducerii oxizilor de azot; astfel, atomii de oxigen sunt rapid disociați din atomii de oxizi de azot. În acest mod, toți cei trei produși poluanți sunt eliminați simultan, catalizatorul purtând din acest motiv denumirea de *catalizator cu trei căi*. O secțiune prin acest tip de catalizator este prezentată în **fig.6.1**.

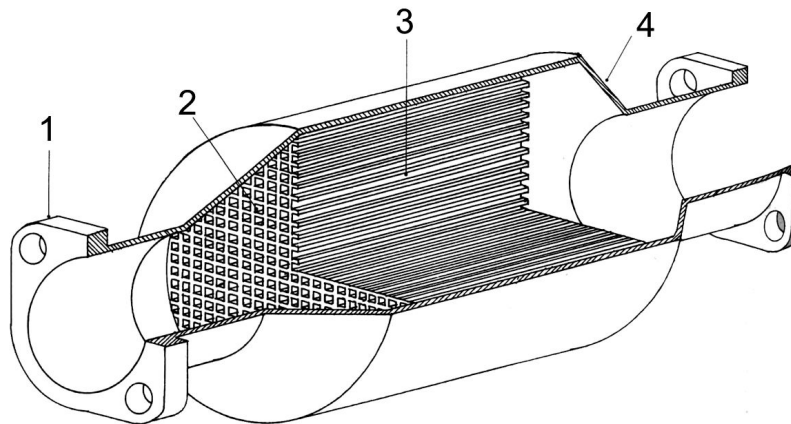


Fig. 6.1. Vedere în secțiune a catalizatorului cu trei căi:
1 – flanșă; 2 – fagure ceramic; 3 – canale de evacuare a gazelor;
4 – carcasă din oțel inoxidabil

Procesul de cataliză implică absorbția continuă a reactanților de pe suprafețele active, cu formarea unui strat de gaz, urmată de reacții chimice însoțite de degajarea altor gaze de pe suprafețe, așa cum se sugerează [37] în **fig. 6.2**. În vederea oxidării și reducerii eficiente a oxidului de carbon, hidrocarburilor și oxizilor de azot, temperatura gazelor evacuate trebuie să se situeze deasupra intervalului 250–300°C. Desfășurarea în condiții optime a catalizei impune ca metalele nobile active să fie dispuse pe o suprafață cât mai largă, expusă fluxului de gaze evacuate. În vederea asigurării unei suprafețe maxime se poziționează în calea fluxului de gaze un suport monolit, ceramic sau metalic, în care se practică o multitudine de canale de circulație a gazelor (**fig. 6.3**). Pereții canalelor sunt acoperiți cu un strat poros de Al_2O_3 care este inert chimic dar care, prin asperitățile sale contribuie la creșterea suprafeței active.

Pentru a menține o eficiență crescută a catalizatorului pe o perioadă lungă de timp, gazele trebuie să aibă temperaturi cuprinse între 400–800°C. În cazul temperaturilor mai mari și anume 800–1000°C, indiferent de durată, metalele nobile și stratul de Al_2O_3 depus au tendința să se sinterizeze, procesul de îmbătrânire termică a catalizatorului accelerându-se rapid. De menționat că un convertor catalitic care lucrează în condiții normale își menține o eficiență optimă pe o durată de exploatare de circa 100.000 km. Așa cum s-a menționat deja, din **fig. 6.4** se observă că la temperaturi superioare valorii de 300°C eficiența unui convertor nou poate fi de 98% - 99% pentru oxidul de carbon și de circa 95% pentru hidrocarburi. În același timp reiese că pentru temperaturi mult sub 300°C convertorul catalitic este practic ineficient [37].

Deteriorarea catalizatorului se produce în special prin alterarea materialelor active, expuse gazelor de evacuare fierbinți o perioadă îndelungată. În egală măsură, un contact prelungit cu elemente de *interferență* precum plumbul din benzină, ca inhibitor de detonație sau fosforul din

anumiți aditivi ai uleiurilor, conduce la scoaterea din uz a catalizatorului prin blocarea suprafețelor active ale acestuia.

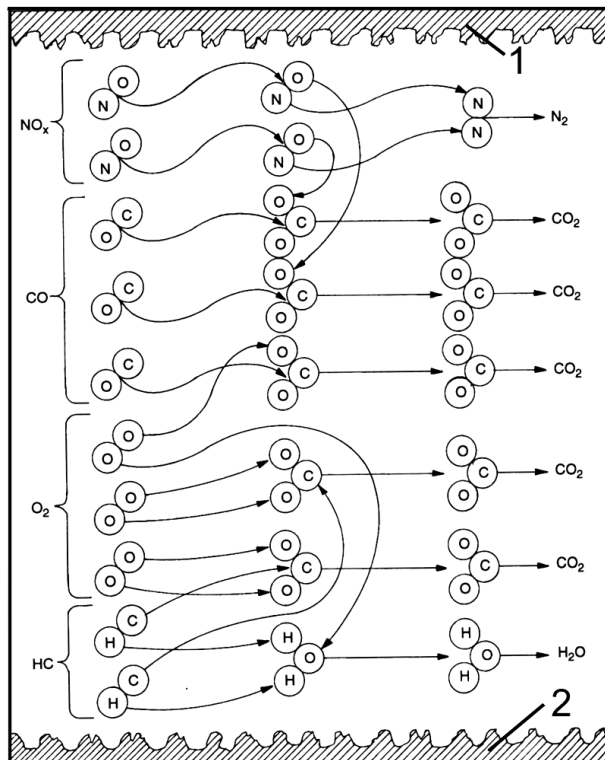


Fig. 6.2. Modul de desfășurare a reacțiilor chimice în interiorul catalizatorului:
1 și 2 – învelișuri catalitice din platină și rodiiu

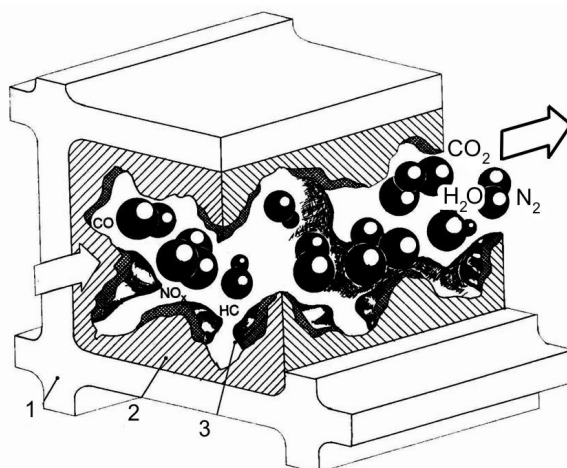


Fig. 6.3. Vedere a canalelor active din fagurele convertorului catalitic:
1 – suportul fagurelui ceramic; 2 – strat poros din oxid de aluminiu;
3 – înveliș catalitic din platină și rodiiu

Concentrația oxizilor de azot crește puternic odată cu sarcina motorului, în special în domeniul amestecurilor sărace, așa cum se arată în **fig. 6.5**. De aici interesul de a menține uneori

amestecul în domeniul lejer bogat din apropierea valorii stoechiometrice. Acest lucru este posibil numai prin controlul în buclă închisă a procesului de formare a amestecului. Aceasta presupune măsurarea compoziției gazelor de evacuare și folosirea rezultatelor în vederea corectării dozei de combustibil. Metoda este deosebit de eficientă la motoarele care folosesc injecția de benzină, întrucât în acest caz nu apar timpuri de întârziere suplimentare, consecință a traseelor de admisie lungi, specifice motoarelor cu carburator.

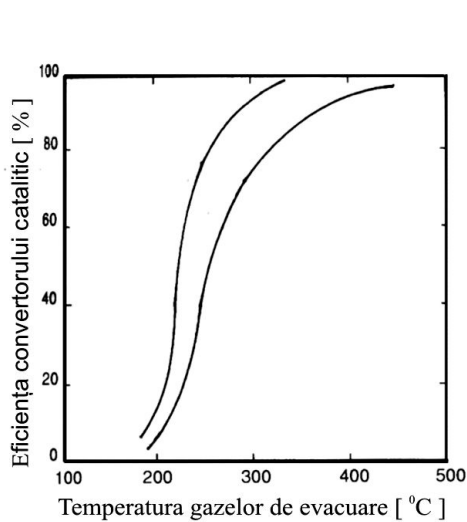


Fig. 6.4. Eficiența catalizatorului la diverse temperaturi ale gazelor de evacuare:
1 – monoxid de carbon; 2 – hidrocarburi

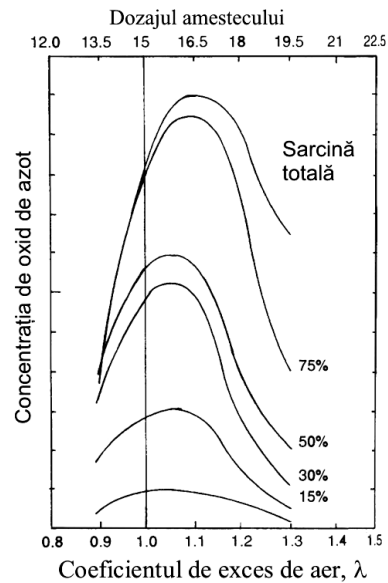


Fig. 6.5. Influența excesului de aer asupra conținutului de oxid de azot la diverse sarcini ale motorului

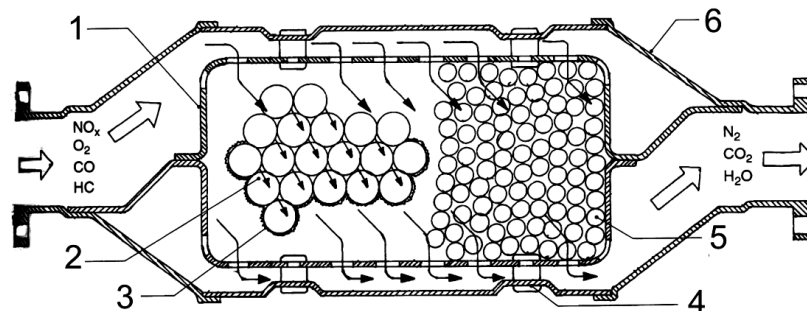


Fig. 6.6. Secțiune prin catalizatorul cu straturi ceramice:
1 – carcasă interioară cu orificii; 2 – canale interstițiale; 3 – strat catalitic activ;
4 – suport flexibil; 5 – granule ceramice; 6 – carcasă exterioră

Din punct de vedere constructiv zona catalitică interioară poate fi realizată în trei moduri și anume:

- cu granule ceramice, ca în **fig. 6.6**;
- sub forma unui fagure ceramic (**fig. 6.7**);
- sub forma unui fagure metalic (**fig. 6.8**).

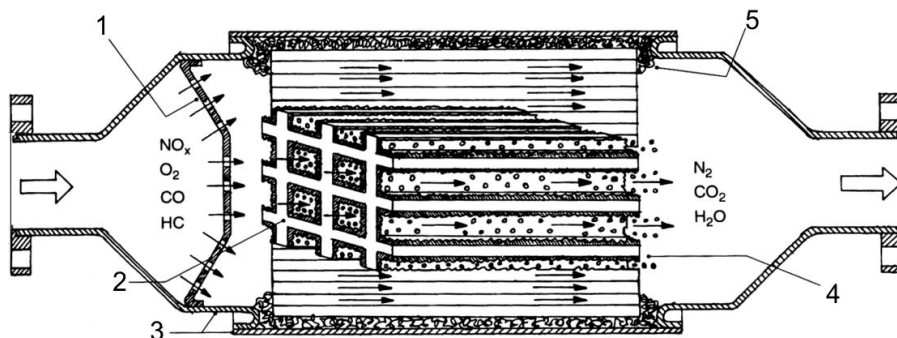


Fig. 6.7. Secțiune prin catalizatorul cu fagure ceramic:
1 – ecran perforat; 2 – fagure ceramic; 3 – carcasă din oțel inoxidabil;
4 – strat catalitic activ; 5 – strat din sită metalică

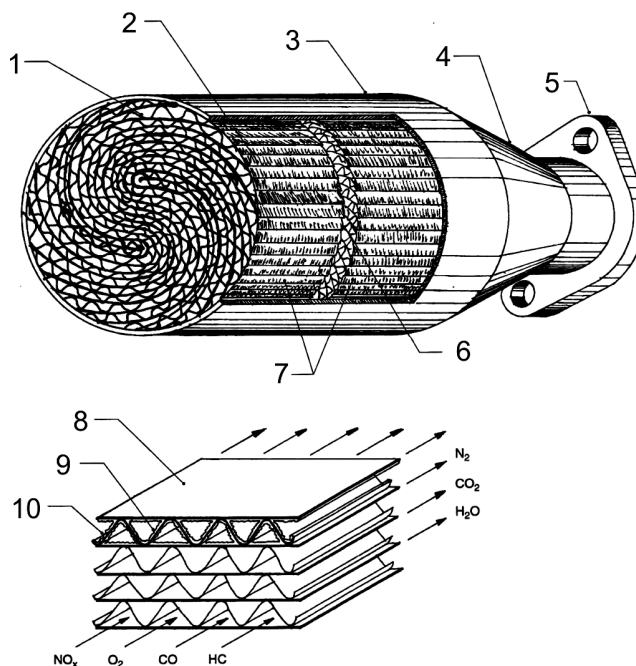


Fig. 6.8. Secțiune prin catalizatorul cu fagure metalic:
1 – straturi ondulate; 2 – înveliș din tablă de oțel rulat; 3 – carcasă metalică; 4 – parte conică; 5 – flanșă; 6 – canal de aer; 7 – straturi celulare interioare, primare și secundare;
8 – înveliș plan; 9 – straturi ondulate; 10 – strat catalitic activ

6.3. CONTROLUL LAMBDA ÎN BUCLA ÎNCHISĂ

Senzorul Lambda este un instrument care permite măsurarea compoziției instantanee a amestecului aer-benzină. El se montează în galeria de evacuare și este proiectat astfel încât electrodul său extern să fie în contact direct cu fluxul de gaze arse iar electrodul intern să fie în contact cu aerul atmosferic (**fig. 6.9.a**). În principiu, senzorul Lambda este construit dintr-un element de ceramică specială, acoperit cu electrozi din platină microporoasă. Funcționarea sa se datorează materialului ceramic poros care permite difuzia oxigenului prezent în aer; la temperaturi ridicate, materialul ceramic devine bun conducător de electricitate dacă concentrația de oxigen de

pe o față diferă de cea de pe cealaltă față. Între electrozi se generează o tensiune electrică ce prezintă în zona amestecului stoechiometric ($\lambda=1$) un salt apreciabil (**fig. 6.9.b**).

Tensiunea de ieșire a senzorului Lambda și rezistența sa internă depind de temperatură. Din acest motiv este preferat *senzorul Lambda încălzit*, al cărui element ceramic activ este menținut permanent la o temperatură de funcționare de peste 350°C. Acest fapt îi conferă acestui tip de senzor o serie de avantaje, printre care:

- controlul mai eficient al compoziției gazelor evacuate, chiar la temperaturi reduse ale acestora (pornire la rece, mers în gol etc.);
- intrarea rapidă în funcțiune a buclei de control Lambda, imediat după pornirea motorului;
- viteză de reacție sporită, ceea ce previne posibilitatea apariției unor abateri, oricât de mici, ale compoziției amestecului;
- funcționarea sa nu este afectată de temperatura gazelor arse.

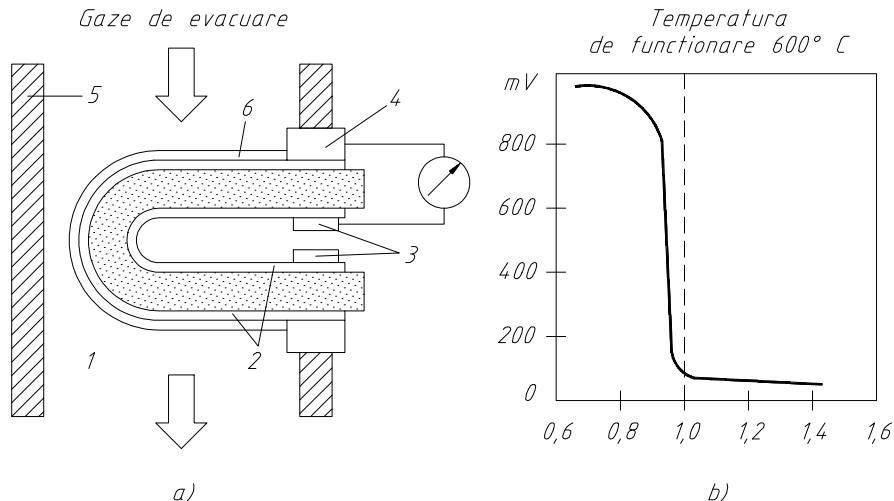


Fig. 6.9. Senzorul Lambda:

a) Construcție: 1 – senzor ceramic; 2 – electrozi; 3 – contacte; 4 – contact electric la carcasă; 5 – galerie de evacuare; 6 – înveliș ceramic protector; b) Forma semnalului de ieșire

Prin intermediul unui circuit de control Lambda în bucla închisă, excesul de aer poate fi menținut cu precizie la valoarea $\lambda=1,00$. În cadrul acestui circuit de control, senzorul Lambda acționează ca o sondă în conducta de evacuare a gazelor arse, furnizând informații despre starea instantanee a amestecului aer-combustibil. În cazul unei variații a compoziției amestecului, tradusă într-o variație a tensiunii de ieșire din senzor, circuitul de control acționează în sensul creșterii sau reducerii dozei de combustibil în vederea păstrării raportului optim între cei doi constituenți. Circuitul de control Lambda în buclă închisă generează, în urma prelucrării semnalului electric furnizat de senzor, pe baza unei legi prestabilite de reglare, tensiunile de comandă ale elementelor de execuție, respectiv injectoarelor electromagnetice. Prin intermediul circuitului electronic de control, benzina poate fi dozată extrem de precis, asigurându-se în permanență o compoziție optimă a amestecului, în funcție de sarcina și de turația motorului. Mai mult decât atât, sistemul este practic fără întreținere întrucât toleranțele tehnologice sau uzura datorată îmbătrânirii nu au efect asupra calității reglajului.

Controlul în bucla închisă a procesului de formare a amestecului utilizând senzorul Lambda poate fi asociat, în principiu, oricărui tip de sistem de alimentare prin injecție de benzină. El s-a dovedit însă deosebit de eficient în cazul sistemelor de injecție electronică de benzină dezvoltate de firma *Bosch* (Jetronic și Motronic). De altfel, reglajul electronic optim al amestecului este una din condițiile prealabile pentru funcționarea eficientă a sistemelor de posttratare catalitică a gazelor de evacuare.

6.4. CONTROLUL EMISIILOR POLUANTE PRIN INTERMEDIUL DOZAJELOR SĂRACE OBTINUTE PE BAZA INECȚIEI COMBUSTIBILULUI

Dozajul, în domeniul foarte sărac, constituie o modalitate mult mai eficientă de control al celor trei produși poluanți mărindu-se, în mod corespunzător și economicitatea motorului. Restricția principală însă, așa cum se cunoaște, este legată de extinderea limitelor de aprindere și de propagare a flăcării. În plus se afectează în mod evident puterea litrică a motorului. Tocmai din acest motiv, calea reducerii avansului la aprindere, în vederea unei diminuări suplimentare a cantității de oxid de azot este discutabilă. De asemenea, la doze foarte sărace, efectul de acumulator termic al aerului suplimentar, în vederea reducerii temperaturii maxime din ciclu este predominant față de excesul de oxigen. Din acest motiv, rolul de diluant poate fi preluat mai eficient de un alt gaz inert. El poate fi reprezentat chiar de gazele arse restante care în plus prezintă avantajul major al disponibilității.

Tendențele de reducere a cantității de oxid de azot prin funcționarea cu amestecuri sărace pot fi asigurate de o plasare judicioasă pe ciclu a fazei mărite de formare a nucleului stabil de flacără, combinată suplimentar, în limita posibilităților și cu alte măsuri de reducere a duratei arderii, adică extinderea limitei sărace de aprindere datorită adăugării de hidrogen, multiplicarea surselor de aprindere pe baza utilizării jetului de flacără și, de asemenea, prin stratificarea amestecului [3, 4, 6, 7, 22, 35].

6.5. CONTROLUL EMISIILOR POLUANTE PRIN RECIRCULAREA GAZELOR ARSE ASOCIATĂ INECȚIEI DE BENZINĂ

Deși, principal, atât procedeul utilizării amestecurilor sărace cât și recircularea de gaze arse în vederea diminuării emisiei de oxizi de azot acționează în același sens, adică al reducerii temperaturii gazelor arse prin diluția încărcăturii proaspete, recircularea prezintă totuși avantajul că amestecul aer-combustibil se diluează fără adaos de oxigen, pe de o parte și pe de altă parte că gazele arse introduc specii triatomice (CO_2 , H_2O) cu căldură specifică superioară azotului din aer.

Se constată însă că diluarea încărcăturii proaspete cu gaze arse recirculate nu se poate extinde la valori ridicate, mai ales în cazul amestecurilor omogene, ceea ce impune utilizarea amestecurilor neomogene, controlate, global sărace.

În accepțiunea prezentată, dirijarea formării amestecului, mai ales al celui neomogen, vine să asigure o desfășurare rapidă a primei faze de ardere, menită să realizeze o dezvoltare ulterioară, cu viteze acceptabile, precum și evitarea fenomenului de stingere în volum.

După cum subliniază [22], stratificarea încărcăturii în cameră unitară prezintă unele avantaje, dar realizarea unei astfel de stratificări, mai ales prin inecție de combustibil și mișcare organizată a aerului presupune corelarea la toate regimurile a caracteristicilor jetului cu cele ale mișcării aerului. Ideea stratificării încărcăturii proaspete cu gaze arse recirculate are drept scop utilizarea volumului disponibil al cilindrului în regim de sarcini parțiale ca reactor termic intern și a fost introdusă de Myers și Uyehara.

Aplicarea acestui procedeu presupune, în primul rând, asigurarea stratificării încărcăturii proaspete și gazelor arse recirculate, apoi recircularea selectivă a gazelor, precum și adăugarea de aer necesar prelucrării lor. Cu acest procedeu nu se poate controla însă formarea poluanților la regim de sarcină plină.

Electronizarea echipamentelor auxiliare ale motoarelor a deschis noi posibilități și în realizarea mult doritului concept de *motor sărac în gaze nocive* (*K.S.M.* – în limba germană), inițiat chiar înaintea celui de al doilea război mondial. Utilizarea microprocesoarelor, așa cum se cunoaște, asigură obținerea unui dozaj mult mai precis (în limite strânse) pentru orice regim de funcționare a motorului și, de asemenea, realizează declanșarea scânteii electrice tot cu precizie mărită.

Figura 6.10 prezintă schema instalației de alimentare propusă de firma *Volkswagen*, în care se remarcă traiectul de încălzire directă a amestecului. Prin acest procedeu se reduce substanțial durata de încălzire a amestecului (curba 1, în **fig. 6.11**), față de procedeele preîncălzirii prin gaze de

eșapament (curba 2) și prin lichidul de răcire (curba 3) – așa zisele *pete calde* cu gaze arse, respectiv cu lichid.

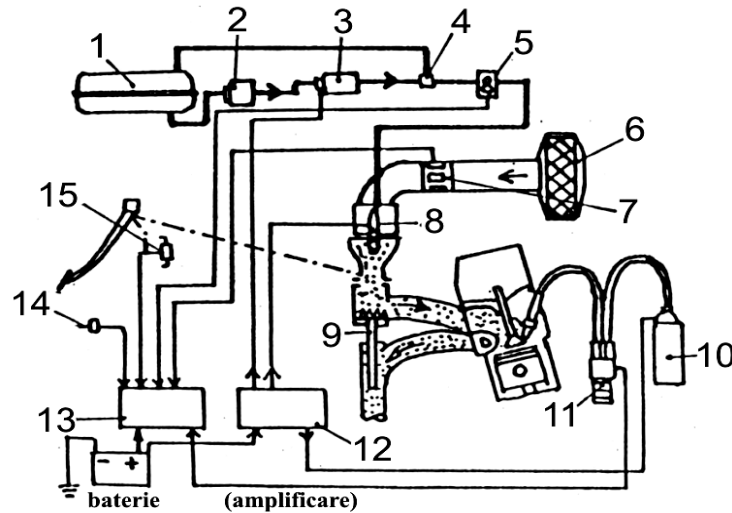


Fig. 6.10. Schema instalației de alimentare cu încălzire directă: 1 – rezervor; 2 – filtru; 3 – pompă; 4 – regulator presiune; 5 – dozator benzină; 6 – filtru; 7 – dispozitiv măsurare aer; 8 – injector; 9 – țevă caldă; 10 – bobină; 11 – delco; 12 – etaj de putere; 13 – microcomputer; 14 – traductor temperatură; 15 – traductor accelerație

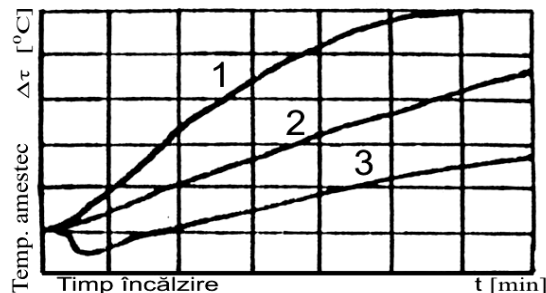


Fig. 6.11. Variația duratei de încălzire a amestecului în diferite situații de preîncălzire:
1 – preîncălzire directă; 2 – preîncălzire prin gazele de eșapament; 3 – preîncălzire prin lichidul de răcire

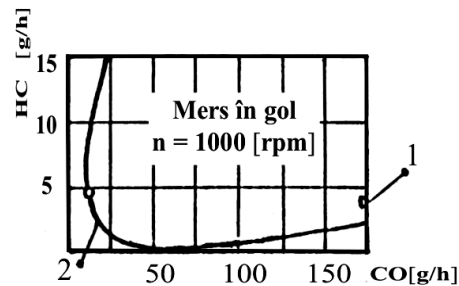


Fig. 6.12. Modificarea conținutului de produși poluanți la utilizarea sistemului SDT:
1 – fără DLS (SDT); 2 – cu DLS (SDT)

Se observă că prin acest procedeu se obține aceeași temperatură a amestecului într-un timp de 3 minute, față de 6 minute la cele clasice. Acestei instalații i se asociază și un regulator pentru regimul de mers în gol, denumit **SDT** (Stabilizator Digital de Turație). Prin această stabilizare se evită variațiile turației de mers în gol. Instalația acționează în sensul măririi presiunii medii indicate prin majorarea debitului de aer aspirat și a avansului la producerea scântei electrice, compensând astfel tendința de scădere a presiunii medii indicate și deci de oprire a motorului, odată cu sărăcirea dozajului în regim de mers în gol. Așa cum reiese din **fig. 6.12**, se obține astfel o diminuarea substanțială a conținutului de CO în gazele de eșapament (prelevate de la motoare V/W cu cilindri opuși, având capacități cuprinse între 1,6 l și 2 l, pe care s-au montat astfel de instalații).

Stabilizatorul digital de turație **SDT** se inserează între bobina de inducție și instalația tranzistorizată de aprindere.