

Prelegerea nr. 14

Sistemul de injecție de motorină cu acumulator rampă comună (Common-Rail)

Necesitățile în creștere privind o economicitate mai mare, nivel de noxe mai mic, împreună cu cerințele de reducere a zgomotului motoarelor Diesel nu mai pot fi realizate prin folosirea sistemelor de injecție cu control mecanic.

Pentru a îndeplini cerințele de mai sus sunt necesare presiuni de injecție foarte mari, în corespondență cu o curbă precisă a vitezei de descărcare și cantități injectate de motorină dozate cu exactitate.

Una din noile dezvoltări în domeniu cuprinde un sistem cu acumulator de motorină, așa-numita "rampă" ("*common-rail*") care este în permanență sub presiune, un sistem special de alimentare la înaltă presiune, injectoare și un sistem de control electronic care îndeplinește cu precizie funcții de control dintre cele mai complicate.

Sistemul nu are nici o problemă cu îndeplinirea celor mai severe norme legislative actuale privind noxele de evacuare și nici cu cele privind specificațiile de viitor.

Structura sistemului rampă comună (common-rail)

În sistemele de injecție Diesel cu injecție directă, pompa produce presiune înaltă în motorină de fiecare dată când are loc injecția. În sistemul cu rampă comună, înalta presiune se dezvoltă în mod independent de ordinea de injecție și este permanent disponibilă în conducta de motorină.

Cu alte cuvinte, obținerea înaltei presiuni și injecția au loc în mod independent. Această tehnologie face posibilă satisfacerea acelor cerințe ce afectează în mod favorabil consumul și emisiile de noxe. Presiunea înaltă este în acest mod disponibilă chiar și la turații reduse ale motorului.

Cea mai importantă condiție pentru acest mod de lucru este prezența unui acumulator în care înalta presiune de injecție este păstrată constantă la o valoare care să nu scadă niciodată sub 1350 bari (generațiile noi sub 1600 bari). Această funcție revine conductei comune de motorină (rampa).

La rampă se conectează injectoarele (duze cu șase orificii). Începutul injecției și dozarea cantității de motorină (sfârșitul injecției) sunt controlate cu un singur electroventil cu viteză mare de comutare.

Avantajele sistemului cu rampă comună:

- **sincronizarea și cantitatea de motorină injectată sunt controlate printr-un singur electroventil;**
- **libertate de alegere a presiunii de injecție (în domeniul caracteristicii);**
- **presiuni de injecție înalte la turații reduse;**
- **flexibilitatea începutului injecției - avansare și întârziere;**
- **reglaje ușoare pentru adaptare la condițiile de funcționare ale motorului;**
- **se poate folosi injecție pilot ce asigură o creștere lină a presiunii și o ardere mai calmă (vibrații mai mici), precum și noxe de evacuare mai reduse datorită unei arderi mai complete.**

Pentru generațiile noi de sisteme common-rail, cu presiuni de injecție de 1600 - 2000 bari se folosesc în locul injectoarelor electrohidraulice (Bosch) injectoare piezoelectrice (Siemens).

Acstea asigură timpi de comutație mai mici, ceea ce permite satisfacerea celor mai stricte condiții din standardele privind gazele de evacuare. În plus, sistemul are perspectiva reală de a deveni din ce în ce mai economic.

În figura 13.37 se prezintă structura unui sistem de injecție common-rail, iar în figura 13.38 o imagine sugestivă cu amplasarea principalelor părți componente.

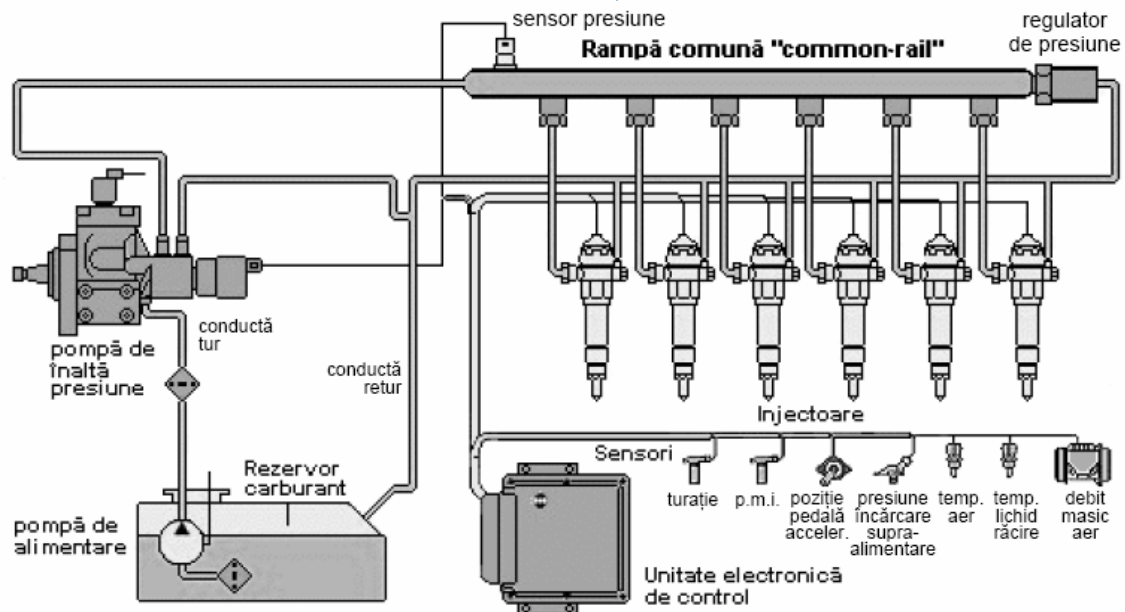


Figura 13.37

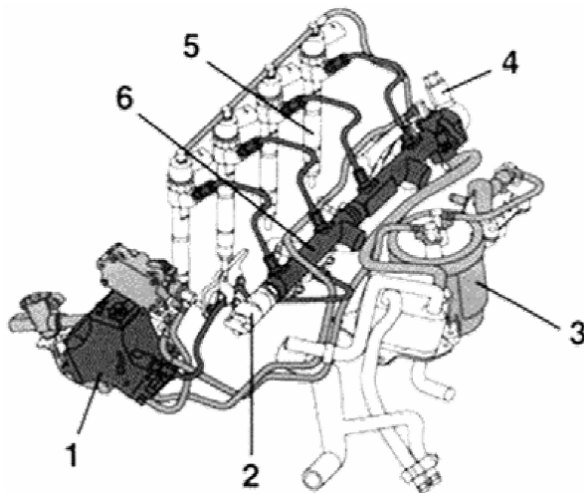


Figura 13.38

- 1 – pompă de înaltă presiune;
- 2 – sensor de presiune;
- 3 – radiator motorină;
- 4 – regulator de presiune;
- 5 – injector;
- 6 – rampă comună (common-rail).

Înaltă presiune este produsă de o pompă de înaltă presiune cu funcționare radială. Pentru un anumit punct de funcționare, presiunea din sistemul de înaltă presiune este controlată de o supapă de control a presiunii. Controlul electronic al motorului reglează presiunea de injecție funcție de turație și de sarcină.

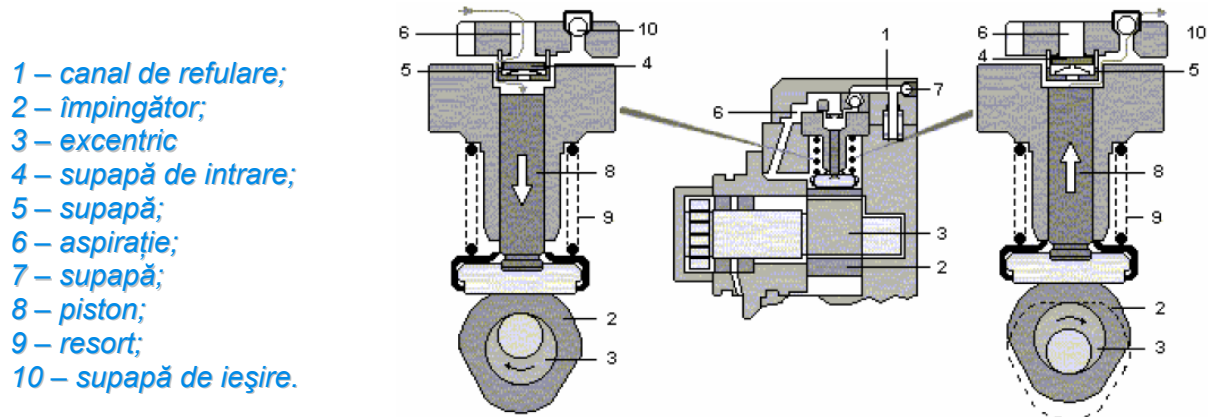
Informația de la sensorul de mișcare a arborelui cotit (turație și poziție unghiulară) și a axei cu came (sensor de poziție - cilindrul 1 în faza de compresie) servesc unității electronice de control a motorului ca bază pentru stabilirea unei valori precise a presiunii de injecție.

Pompa de înaltă presiune

Construcția pompei de înaltă presiune este specifică sistemului și cuprinde trei pistoane radiale decalate la 120°. Pistoanele sunt comandate de un excentric printr-un pinion intermediar antrenat de curea de distribuție.

Pompa de înaltă presiune alimentează rampa comună, iar debitul său este dependent de turația motorului. Înalta presiune este controlată de un regulator de presiune conectat la capătul rampei.

În figura 13.39 se prezintă structura pompei de înaltă presiune.



- 1 – canal de refulare;
- 2 – împingător;
- 3 – excentric
- 4 – supapă de intrare;
- 5 – supapă;
- 6 – aspirație;
- 7 – supapă;
- 8 – piston;
- 9 – resort;
- 10 – supapă de ieșire.

Figura 13.39

Funcționarea pompei, conform figurii 13.39 care prezintă un detaliu cu unul din cele trei pistoane, cuprinde faza de aspirație a motorinei (stânga) și faza de refulare (dreapta).

Sensorul de presiune din rampă

Destinație. Pentru a furniza unității electronice de control tensiune de semnal ce corespunde presiunii aplicate, sensorul de presiune din rampă trebuie să măsoare presiunea instantanee din rampă:

- cu acuratețea corespunzătoare;
- cât mai rapid posibil.

Proiectare și construcție. Sensorul de presiune din rampă cuprinde următoarele componente (figura 13.40):

- un sensor integrat sudat pe fittingul de presiune;
- placă de circuit imprimat cu circuitul electric de evaluare;
- un corp pentru sensor cu conector electric.

- 1 – conexiune electrică;
- 2 – circuit de evaluare;
- 3 – diafragmă metalică cu sensor;
- 4 – racord de înaltă presiune;
- 5 – filet de montare.

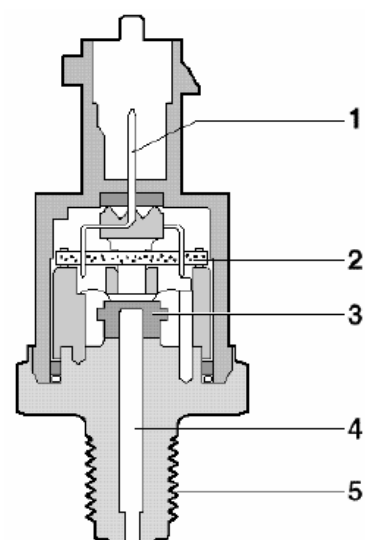


Figura 13.40

Motorina curge spre sensorul de presiune din rampă printr-o deschidere din rampă, a cărei capăt este închis de diafragma sensorului. Motorina sub presiune ajunge la diafragma sensorului printr-o gaură înfundată.

Elementul sensor (dispozitiv semiconductor) pentru conversia presiunii la semnal electric este montat pe această diafragmă. Semnalul generat de sensor este aplicat unui circuit de condiționare, care îl amplifică și îl trimite unității electronice de control (ECU).

Funcționare. Sensorul de presiune din rampă funcționează după cum urmează: când forma diafragmei de modifică, se schimbă și rezistența electrică a stratului atașat diafragmei.

Schimbarea formei diafragmei (aproximativ 1 mm la 1500 bari) ca rezultat al creșterii presiunii sistemului, modifică rezistența electrică și provoacă o schimbare a tensiunii într-o punte de rezistențe alimentată la 5 V. Variația de tensiune este în domeniul 0 ... 70 mV (funcție de presiunea aplicată) și este amplificată de circuitul de evaluare la 0,5 ... 4,5 V.

Măsurarea cu precizie a presiunii din rampă este esențială pentru corecta funcționare a sistemului. Aceasta este una din rațiunile pentru care măsurarea presiunii aplicate sensorului de presiune din rampă se face cu o acuratețe de aproximativ $\pm 2\%$ din diapazon.

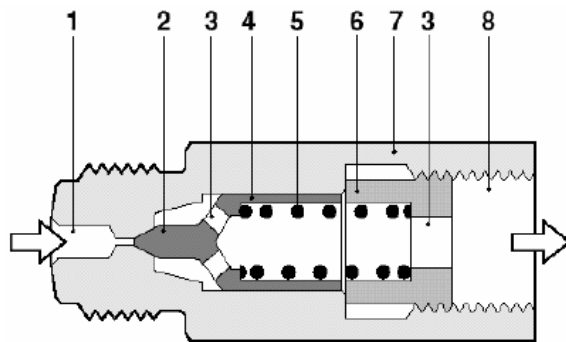
Dacă sensorul de presiune se defectează, valva de control al presiunii este declanșată în mod "orb" folosind o funcție de urgență (*limp-home*) și valori fixe.

Supapa limitator de presiune

Destinație. Supapa limitator de presiune are aceeași funcție ca și o supapă de suprapresiune. În cazul unei presiuni excesive, supapa limitator de presiune limitează presiunea din rampă prin deschiderea unei canalizații de scăpare. Supapa permite o presiune maximă în rampă de scurtă durată, de exemplu, de 1500 bari.

Proiectare și construcție. Supapa limitator de presiune (figura 13.41) este un dispozitiv mecanic ce cuprinde următoarele componente:

- corp cu filet exterior pentru înfiletare în rampă;
- conexiune la conducta de retur spre rezervor;
- piston mobil;
- arc.



- 1 – racord de înaltă presiune;
- 2 – supapă;
- 3 – pasaje de curgere;
- 4 – piston plonjor;
- 5 – arc;
- 6 – opritor;
- 7 – corp supapă;
- 8 – retur motorină.

Figura 13.41

În capătul de conectare la rampă, corpul este prevăzut cu o trecere ce este închisă cu capătul în formă de con al pistonului apăsat în scaunul de etanșare din interiorul corpului. La presiuni de funcționare normale (până la 1350 bari), pistonul este apăsat de un arc pe scaun și rampa rămâne închisă.

De îndată ce presiunea maximă din sistem este depășită, pistonul este ridicat de presiunea din rampă ce învinge forța arcului. Motorina sub presiune poate scăpa, curgând prin trecerile din interiorul pistonului, de unde este dirijată înapoi în rezervor printr-o conductă colectoare.

Când supapa se deschide motorina iese din rampă, astfel încât presiunea din rampă este limitată.

Limitatorul de debit

Destinație. Limitatorul de debit previne injecția continuă în eventualitatea, foarte puțin probabilă, în care un injector ar rămâne deschis permanent. Pentru a realiza această funcție, limitatorul de debit închide conducta injectorului în discuție de îndată ce cantitatea de motorină ce iese din rampă depășește un nivel bine definit.

Proiectare și construcție. Limitatorul de debit cuprinde un corp metalic cu filet exterior pentru înfiletare în rampă (înaltă presiune) și un filet exterior pentru înfiletare în conductele

injectoarelor. Corpul are câte o trecere la fiecare capăt care asigură conectare hidraulică la rampă și la conducta injectorului. În interiorul corpului limitatorului de debit se găsește un piston ce este apăsat de un arc în direcția acumulatorului de motorină (common-rail).

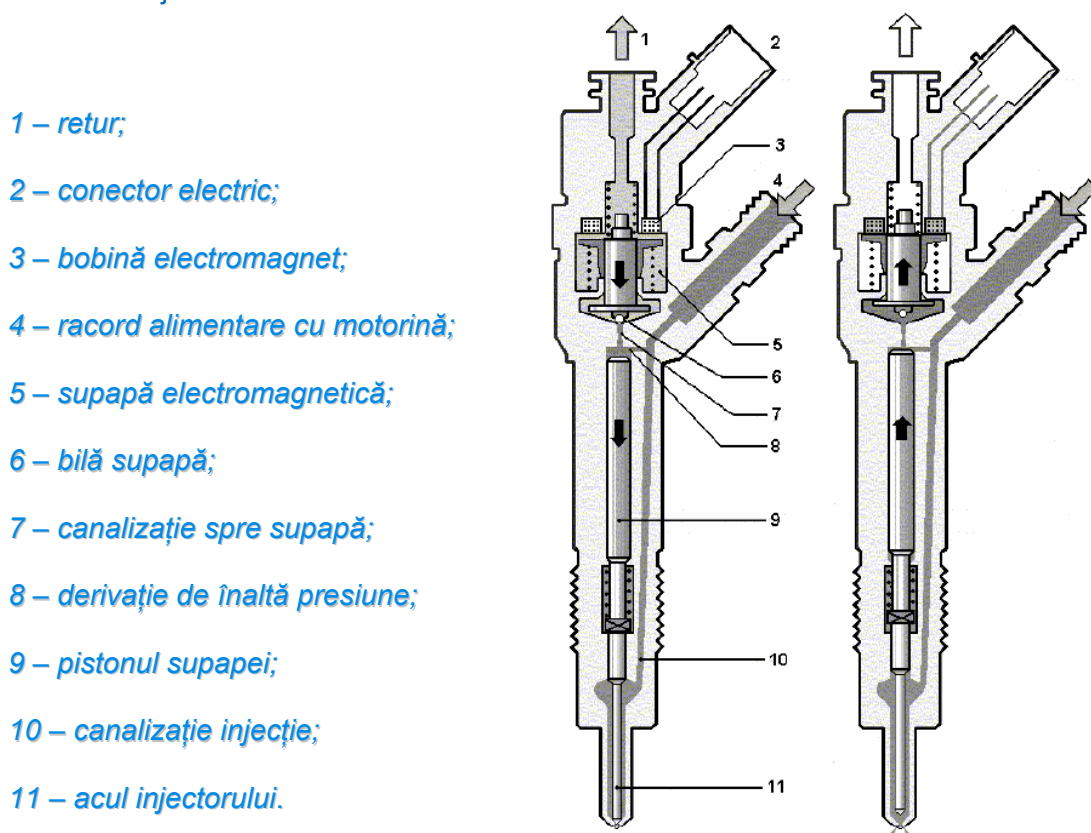
Regulatorul de presiune

Regulatorul de presiune este în esență o supapă electromagnetă. El reglează presiunea din rampă în funcție de curentul primit ce este livrat de unitatea electronică de control. Intensitatea curentului determină forța de închidere a supapei regulatorului de presiune. Excesul de motorină este returnat în rezervor.

Injectorul

În sistemele de injecție rampă comună se folosesc două tipuri de injectoare: electromagnetice și piezoelectrice.

În figura 13.42 se prezintă structura injectorului electromagnet, iar în figura 13.43 un detaliu privind montarea injectorului.



- 1 – retur;
- 2 – conector electric;
- 3 – bobină electromagnet;
- 4 – racord alimentare cu motorină;
- 5 – supapă electromagnetă;
- 6 – bilă supapă;
- 7 – canalizație spre supapă;
- 8 – derivație de înaltă presiune;
- 9 – pistonul supapei;
- 10 – canalizație injecție;
- 11 – acul injectorului.

Figura 13.42

Folosirea acționării piezoelectrice în noile sisteme Diesel common-rail are drept rezultat motoare mai puțin zgomotoase și mai puțin poluante. Producția lor de serie a fost lansată de firma Siemens în septembrie 2001.

În general, o înaltă presiune mai mare produce o pulverizare mai fină a motorinei, care astfel arde mai bine și mai curat. Aceste ameliorări, asigurate de o valoare mai mare a înaltei presiuni, se regăsesc într-un consum mai redus și performanțe mai bune ale motorului.

În prima generație de sisteme common-rail, întreg volumul de motorină injectată este împărțit într-o injecție pilot de durată fixă și injecția principală. Dacă motorina poate fi împărțită în mai multe părți pe durata unui singur ciclu de combustie, procesul de ardere este mai armonios.

Aceasta este rațiunea pentru care au fost dezvoltate dispozitivele de acționare piezoelectrice. Cum aceste elemente de comutație funcționează mult mai rapid decât supapele electromagnetice convenționale, în generațiile viitoare de sisteme common-rail va fi posibil să se împartă volumul de motorină și în cinci părți.

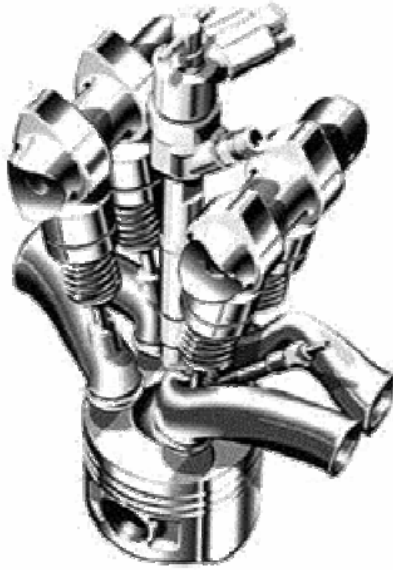


Figura 13.43

Strategiile de management ale motorului pot include două pre-injecții cu volume foarte mici de motorină, urmate de injecția principală și două post-injecții mai mici.

Pre-injecția servește în primul rând pentru a se dezvolta o presiune uniformă în camera de ardere, ceea ce reduce zgomotul din timpul arderii. Post-injecțiile sunt prevăzute pentru post-tratamentul gazelor de evacuare, permițând reducerea emisiilor poluante ale motorului.

Sistemele de acționare piezoelectrice sunt elemente de comutație folosind comportarea specifică a cristalelor piezoelectrice. Când o sarcină electrică este conectată la un astfel de cristal, rețeaua cristalină a materialului își schimbă forma în câteva milisecunde și se dilată.

Numai când sarcina electrică este descărcată, materialul revine la dimensiunile sale originale. Această proprietate poate fi folosită și la construcția injectoarelor pentru injecția de motorină.

Pentru elementul activ al injectorului piezoelectric se utilizează o structură de tip multistrat, asigurându-se astfel cursă utilă mai mare.

Și alte componente ale injectorului satisfac cerințele foarte pretențioase impuse pentru injecția Diesel.

De exemplu, orificiile din duza injectorului pot avea valori reduse ale diametrului, de ordinul 0,12 mm. Toleranța admisă pentru prelucrarea acestor orificii este mai mică de 0,003 milimetri.

Se poate estima că viitorul injecției de motorină aparține acționării piezoelectrice. Sistemele common-rail de mare viteză și precizie realizează condițiile prealabile necesare pentru îndeplinirea normei Euro 5.

Această soluție este folosită din finalul anului 2001 de automobile ale grupului PSA (Peugeot-Citroën) sub denumirea comercială HDI, cu presiuni de injecție de până la 1500 bari, modernizând varianta anterioară cu injectoare electro-magnetice.

Unitatea electronică de control

Tehnologia common-rail se bazează pentru cartografiere pe controlul timpului de injecție. Unitatea electronică de control folosește semnalele de intrare preluate cu ajutorul sensorilor și, funcție de multiplele informații primite, generează semnale de ieșire condiționate de criteriile de funcționare ale motorului.

Pentru a adapta cantitatea de motorină, unitatea electronică de control acționează fie asupra presiunii din rampă, fie asupra duratei de acționare a electroventilelor injectoarelor, sincronizând cu acuratețe aceste acțiuni.

Cantitatea de motorină injectată depinde de comanda electroventilelor, de viteza de deschidere și de închidere a acului injectorului, de presiunea carburantului în rampă, de cantitatea trecută prin injector și de ridicarea acului.

Unitatea electronică de control folosește semnale privind:

- înalta presiune din rampă;
- turația;
- presiunea din galeria de admisie;
- temperatura lichidului de răcire;
- poziția pedalei de frână;
- nivelul uleiului;
- poziția unghiulară a arborelui cotit;
- poziția pedalei de accelerație;
- debitul masic de aer (sensor cu peliculă încălzită);

- **temperatura aerului.**

De asemenea se schimbă informații și cu alte sisteme de control ale automobilului: ABS, antifurt, climatizare, tracțiune, etc. De exemplu, sistemul de control al tracțiunii are nevoie de anumite informații transmise de calculatorul ce controlează injectia common-rail.

Controlul noxelor din gazele de evacuare

În tabelul următor se prezintă substanțele ce rezultă prin arderea motorinei în motorul Diesel:

Componente ale gazelor de evacuare		la mers în gol	la sarcină plină
oxizi de azot (NO _x)	ppm	50 ... 250	600 ... 2500
hidrocarburi	ppm	50 ... 500	150 ...
monoxid de carbon	ppm	100 ... 450	350 ... 2000
bioxid de carbon	% din volum	... 3,5	12 ... 16
vapori de apă	% din volum	2 ... 4	... 11
oxigen	% din volum	18	2 ... 12
azot și altele	% din volum	diferența	diferența
funingine	mg / m ³	20	200
temperatura gazelor de evacuare	°C	100 ... 200	550 ... 750

Pe timpul arderii motorul Diesel determină apariția de CO, HC, NO_x și particule de funingine, care sunt substanțe poluante.

Particule Diesel. În ciuda consumului redus și a poluării reduse, motorul Diesel este adesea criticat din cauza particulelor și a fumului emis. Particulele constau din sfere microscopice din carbon cu un diametru de aproximativ 0,05 μ la care aderă hidrocarburi și ulei, rezultând o structură consolidată. La suprafață aderă de asemenea apă și sulfați.

Aceste particule măsurate în curentul gazelor de evacuare prezintă un diametru de aproximativ 0,09 μ. Această valoare este independentă de tehnologia de realizare a motorului și condițiile de funcționare, care afectează numai numărul de particule formate. Particulele pot fi separate cu filtre folosind aglomerări de molecule având o dimensiune de la 0,1 la 1 μ.

Formarea particulelor. În motorul Diesel, arderea motorinei are loc cu aprindere prin compresie a amestecului eterogen aer-motorină. Calitatea arderii depinde de modul în care se formează amestecul aer-motorină.

Motorul Diesel funcționează în principiu cu aceeași cantitate de aer; puterea ce se dorește a fi obținută este controlată prin intermediul cantității de motorină injectată.

În anumite condiții de funcționare (în particular la accelerare) amestecul din camera de ardere se îmbogățește într-o anumită măsură. Astfel arderea rămâne incompletă din cauza oxigenului insuficient, ceea ce are drept efect formarea de particule.

Gazele de evacuare Diesel conțin hidrocarburi aromatice policiclice, considerate a avea efect cancerigen. Funinginea este încă prezentă în mod natural, chiar dacă se observă mai puțin.

Aceasta se explică prin normele legislative privind poluarea cu gaze de evacuare ce sunt din ce în ce mai stricte. Astfel, după 1.1.2000 (norma euro 3) nu mai sunt permise particule decât într-o cantitate de 0,05 g/km. Pentru CO se impune valoarea de 0,64 g/km, pentru NO_x 0,5g/km, iar (HC + NO_x) limita este până la 0,56 g/km.

În tabelul următor se prezintă comparativ prevederile diferitelor norme (euro) privind noxele din gazele de evacuare Diesel. În tabel s-a notat cu DI = injectia directă. Valorile sunt precizate în g/km.

	EEC etapa 1 (după 1992)	EEC etapa 2 (după 1996)	Euro 3 (după 2000)	Euro 4 (din 2005)
CO	2,27	1,0	0,64	0,5
NO _x			0,5	0,25
HC + NO _x		0,7 (0.9 DI)	0,56	0,3
Particule	0,19	0,08 (0.1 DI)	0,05	0,025

Poluanții din gazele de evacuare Diesel

Componentele poluante din gazele de evacuare, problemele și modul de rezolvare sunt prezentate în cele ce urmează.

CO și (HC + NO_x). De la norma euro 2, până la norma euro 4, trebuie să se realizeze o reducere de 10% pentru HC + NO_x, iar la CO reducerea este de 50%. Pentru îndeplinirea acestor cerințe, se au în vedere următoarele mijloace:

- oxidarea catalitică, ce scade nivelul pentru CO și HC, dar nu și pentru NO_x (care trebuie supus unei reacții chimice de reducere);
- control electronic pentru a se reduce temperatura din camera de ardere și astfel emisia de NO_x;
- folosirea injecției pilot, care printre altele scade nivelul de NO_x și asigură un mers mai calm al motorului;
- presiuni de injecție înalte, ce reduc nivelul noxelor în gazele de evacuare;
- catalizator din zeolit (silicat natural complex din anumite roci vulcanice) împotriva NO_x;
- tehnologie cu patru supape pe cilindru, cu injector plasat central, împreună cu o formă corespunzătoare a degajării din capul pistonului ce îmbunătățește formarea amestecului aer-motorină, asigurându-se o ardere mai bună și astfel un nivel mai scăzut al noxelor.

Particulele de funingine. Acestea apar din cauza arderii incomplete. Hidrocarburile aromatice policiclice sunt considerate cancerigene. Reducerea impusă de norma euro 4 (2005) față de euro 2 este de circa 40%. Filtrele de particule asigură o reducere cvasi-completă.

Fumul de accelerație. Se poate reduce folosind turbină cu geometrie variabilă pentru compresorul de supraalimentare sau compresor mecanic auxiliar și răcirea aerului admis (intercooler).

Sulf. În prezent concentrația de sulf în gazele de evacuare este de 350 ppm. Sulful formează depuneri în catalizatorul cu acumulare de NO_x, impunând o ardere liberă. Diminuarea cantității de sulf asigură o funcționare mai eficientă a filtrului de particule cu regenerare și a catalizatorului de oxidare. Ca urmare, de exemplu Volkswagen impune o valoare de 10 ppm pentru sulf. Rezultă deci necesitatea reducerii cantității de sulf din motorină.

Influența construcției motorului Diesel asupra nivelului noxelor

Camera de ardere. Nivelul emisiilor de evacuare este afectat de construcția camerei de ardere.

Motoarele ce folosesc cameră de ardere divizată (antecameră, cameră cu turbulență) produc nivele mai reduse de oxizi de azot decât motoarele cu injecție directă. Pe de altă parte, motoarele cu injecție directă asigură un consum de motorină mai mic.

Forma turbulenței aerului din camera de ardere și forma în care se descarcă motorina pot fi adaptate pentru o compatibilitate reciprocă maximă, având drept rezultat un amestec aer-

benzină mai eterogen și o ardere mai completă. Temperatura de ardere trebuie să fie suficient de ridicată pentru a asigura o aprindere sigură.

Injecția de motorină. Sincronizarea și secvențele injecției, precum și pulverizarea motorinei au efect asupra nivelului emisiilor poluate. Punctul la care începe arderea este una din funcțiile esențiale ale sincronizării injecției.

Întârzierea injecției conduce la reducerea nivelului de poluare cu NO_x , iar o întârziere excesivă are drept rezultat un nivel mai înalt al hidrocarburilor în gazele de evacuare. O deviație de 1° (rotire arbore cotit) a momentului de începere a injecției poate duce la creșterea emisiilor de NO_x cu până la 5%, în timp ce emisiile de HC cresc cu până la 15%.

Acest înalt nivel de sensibilitate arată importanța preciziei de reglare a sincronizării injecției. Sistemele electronice de control sunt capabile să mențină o sincronizare optimă cu un înalt grad de precizie.

Cu un astfel de sistem electronic de control (EDC), elementul care stă la baza controlului poziționării dispozitivului de sincronizare este un punct de referință al arborelui cotit.

O precizie extrem de ridicată se poate obține prin monitorizarea directă a momentului de începere a injecției la nivelul duzei prin intermediul unui sensor de mișcare a acului (controlul momentului de începere a injecției).

Orice cantitate de motorină ce intră în camera de ardere după ce procesul de ardere s-a terminat poate fi descărcată direct în sistemul de evacuare sub formă nearsă, ceea ce crește nivelul emisiilor de hidrocarburi. Pentru a preveni ca acest lucru să se întâmple, volumul de motorină rămas între scaunul duzei și capătul orificiului de descărcare este menținut la o valoare minimă. De asemenea este esențial să se evite picurarea și post-injecția.

O pulverizare fină a motorinei promovează un amestec intim între aer și motorină, ceea ce contribuie la reducerea emisiilor de funingine (particule) și de hidrocarburi. Acest tip de pulverizare fină se realizează folosind presiuni de injecție ridicate și o geometrie optimă a orificiului de descărcare.

Debitul maxim de motorină pentru o anumită cantitate de aer din admisie trebuie limitat cu scopul de a preveni ca motorul să formeze emisii sub formă de funingine. Din acest motiv este necesar un factor de exces al aerului de 10 ... 20 % ($\lambda = 1,1 \dots 1,2$).

Temperatura aerului din admisie. O temperatură mai mare a aerului din admisie este însoțită de temperaturi de ardere mai mari, cu o creștere observabilă a emisiilor de NO_x . La motoarele supraalimentate cu turbocompresor, răcirea aerului din admisie (cu intercooler) reprezintă un mijloc eficient de inhibare a formării de NO_x .

Recircularea gazelor de evacuare (EGR). O anumită cantitate din gazele de evacuare poate fi readusă în aerul de admisie pentru a reduce cantitatea de oxigen din încărcătura proaspătă, ceea ce crește și căldura specifică. În acest mod se produc temperaturi de ardere mai reduse (ceea ce limitează producerea NO_x) și se reduc emisiile de evacuare.

O recirculare excesivă a gazelor de evacuare duce la emisii mai ridicate de funingine, monoxid de carbon și hidrocarburi, din cauza insuficienței oxigenului. Ca urmare, cantitatea de gaze recirculate trebuie limitată pentru a fi siguri că în camera de ardere ajunge suficient oxigen pentru a asigura arderea motorinei injectate.

Posibilități de reducere a emisiilor motorului Diesel

În cele ce urmează sunt prezentate principalele căi de reducere a nivelului de noxe emise de motorul Diesel. O atenție deosebită este acordată problemei poluării cu particule, principala critică adusă motorului Diesel, alături de funcționarea zgomotoasă.

Procesul de ardere. Camera de ardere pentru un sistem cu injecție directă este proiectată într-o manieră care să îmbunătățească eficiența aerodinamică și termodinamică. Dacă turbulența aerului este insuficient modelată prin construcție, poate rezulta un amestec omogen care favorizează formarea de particule.

Carburantul. Calitatea carburantului joacă un rol crucial în emisia de particule. Creșterea cetonei și reducerea fracțiunilor poliaromatice limitează numărul de particule format. Un conținut mai redus de sulf scade și nivelul poluării cu sulf.

Oxidarea catalitică. Tratatamentul care urmează prin oxidare catalitică provoacă o reducere a particulelor din hidrocarburi.

Filtrele de particule. Pentru a elimina numai particulele din gazele de evacuare se folosesc filtre speciale.

Procesele de reducere. Reacția chimică de reducere, folosită pentru diminuarea proporției de NO_x din gazele de evacuare, se poate realiza în mai multe variante:

- **Catalizatorul cu acumulare de NO_x .** Oxizii de azot se prezintă ca și cum ar fi acumulați într-un burete. Ca urmare, catalizatorul trebuie să fie curățat periodic întrucât sulful îl contaminează.
- **Catalizatorul cu uree – catalizator cu reducere selectivă (SCR = *selective catalytic reduction*).** Sistemul SCR (catalizator cu reducere selectivă) reduce NO_x la N_2 și H_2O cu o eficiență de 60%. Procedul folosește uree. Se utilizează un catalizator ceramic în care se injectează soluție de uree în apă. Alimentarea cu uree se face separat. La contactul ureei cu gazele de evacuare de temperatură ridicată rezultă amoniac (NH_3), care reacționează cu NO_x . Ca aspect important, catalizatorul de acest tip funcționează eficient și cu motorină cu conținut ridicat de sulf, o cantitate de 6 kg de uree fiind suficientă pentru aproximativ 20.000 km.
- **Catalizatorul cu amoniac.** În cazul camioanelor, Daimler-Chrysler are în vedere o soluție alternativă la utilizarea ureei. În acest caz, pentru reducerea NO_x se folosește drept agent amoniacul. Amoniacul este stocat în rezervoare speciale într-o cantitate de 10 kg și se folosește direct în formă gazoasă. Sistemul este încă în faza de dezvoltare, fiind impuse condiții severe de siguranță în funcționare, întrucât amoniacul este toxic

Filtre cu regenerare pentru funingine și sulf. Regenerarea filtrului se bazează pe arderea particulelor. În general se realizează o ardere la anumite intervale de timp, folosind O_2 la temperatura gazelor de evacuare de peste 500°C . Aceasta provoacă o creștere a consumului și volumului de gaze evacuate.

Sunt cunoscute mai multe tipuri de filtre, dezvoltate de diferiți producători. Astfel compania Volkswagen folosește sistemul CRT (Continuous Regeneration Trap) – separator cu regenerare continuă, în care arderea se face în mod constant în prezența NO_2 , filtrul fiind încărcat numai până la 30%.

Temperatura necesară este de 300°C . Încălzirea se face prin post-injecție sau electric, iar controlul necesită senzori de presiune și temperatură.

Compania PSA (Peugeot, Citroën) folosește sistemul FAP (Filtre À Particules). Funcționarea se face la temperaturi peste 450°C .

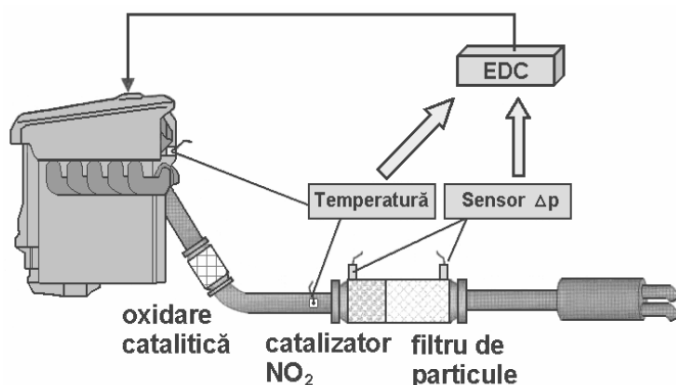


Figura 13.44

Se folosesc aditivi speciali (cu ceriu) pentru a reduce temperatura de descompunere a particulelor. Consumul de motorină crește cu circa 5% (din cauza utilizării post-injecției). Aditivii sunt stocați într-un rezervor auxiliar și ajung pentru 80.000 km. Filtrul nu se schimbă și se curăță la fiecare 80.000 km, atunci când se face și umplerea rezervorului suplimentar pentru aditivi. Un Diesel common-rail modern fără filtru de particule emană la 80.000 km parcurși aproximativ 3 kg de

funingine, iar cu filtru FAP produce mai puțin de 100 g.

În figurile 13.44, 13.45 și 13.46 se prezintă câteva configurații utilizate pentru tratamentul gazelor de evacuare la motoare Diesel.

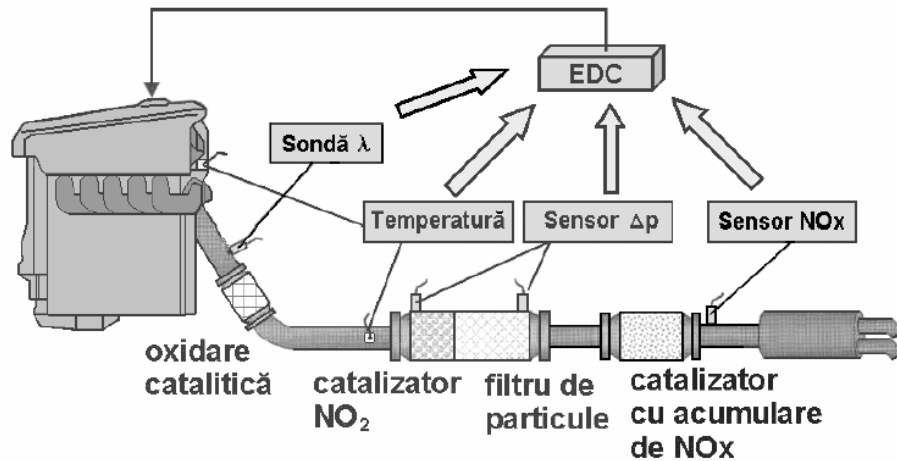


Figura 13.45

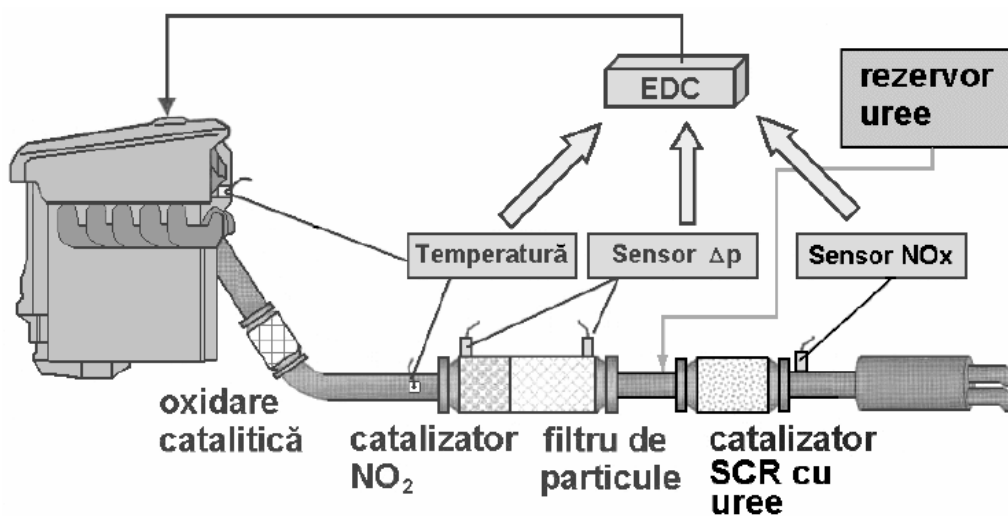


Figura 13.46

Recircularea gazelor de evacuare

În această soluție se utilizează o valvă EGR (Exhaust Gas Recirculation = recircularea gazelor de evacuare), cu ajutorul căreia se introduce în curentul aerului de admisie o anumită cantitate de gaze arse din circuitul de evacuare. Funcționarea valvei poate fi controlată electronic conform unei cartograme caracteristice.

Scăderea temperaturii de ardere, ce se obține prin diminuarea concentrației de oxigen din amestecul carburant, determină o reducere a concentrației de NO_x în gazele de evacuare.

CO și HC se pot diminua, după cum s-a văzut, folosind catalizatorul cu oxidare care are o construcție mult mai simplă decât catalizatoarele cu reducere.

Dacă gazele de evacuare folosite pentru amestecul cu aerul din admisie sunt în prealabil răcite, se poate obține o scădere suplimentară a concentrației oxizilor de azot.