

# Electronică pentru Automobile

Prelegerea nr. 14

SISTEME ELECTRONICE PENTRU MOTOARE DIESEL Partea II

---



## Procesarea datelor

Unitatea electronică de control (ECU) procesează semnalele ce sosesc de la senzorii externi și le limitează la nivelul de tensiune admis. Un număr de semnale preluate sunt de asemenea verificate din punct de vedere a plauzibilității.

Folosind aceste date de intrare, împreună cu curbe caracteristice memorate, microprocesorul calculează momentul de declanșare și durata injecției.

Aceste informații sunt apoi convertite într-un semnal caracteristic ce se raportează la mișcarea pistoanelor motorului. Acest program de calcul constituie partea software a unității electronice de control.



Gradul necesar de acuratețe, împreună cu importanța răspunsului dinamic al motorului Diesel, impun o putere de calcul de nivel ridicat. Semnalele de ieșire se aplică etajelor de ieșire ce asigură puterea corespunzătoare pentru dispozitivele de acționare (de exemplu electroventilele pentru injecția de motorină, dispozitivul de poziționare EGR, dispozitivul de acționare suprapresiune).

Pe lângă acestea sunt declanșate și un număr de componente cu funcții auxiliare (de exemplu releul pentru bujiile cu incandescență și sistemul de aer condiționat).

Caracteristicile semnalelor eronate sunt detectate de funcțiile de diagnoză ale etajelor de ieșire. Mai mult, semnalele sunt schimbate cu alte sisteme de pe vehicul prin intermediul interfețelor. Unitatea electronică de control a motorului monitorizează întreg sistemul de injecție în cadrul unui concept de siguranță în funcționare.



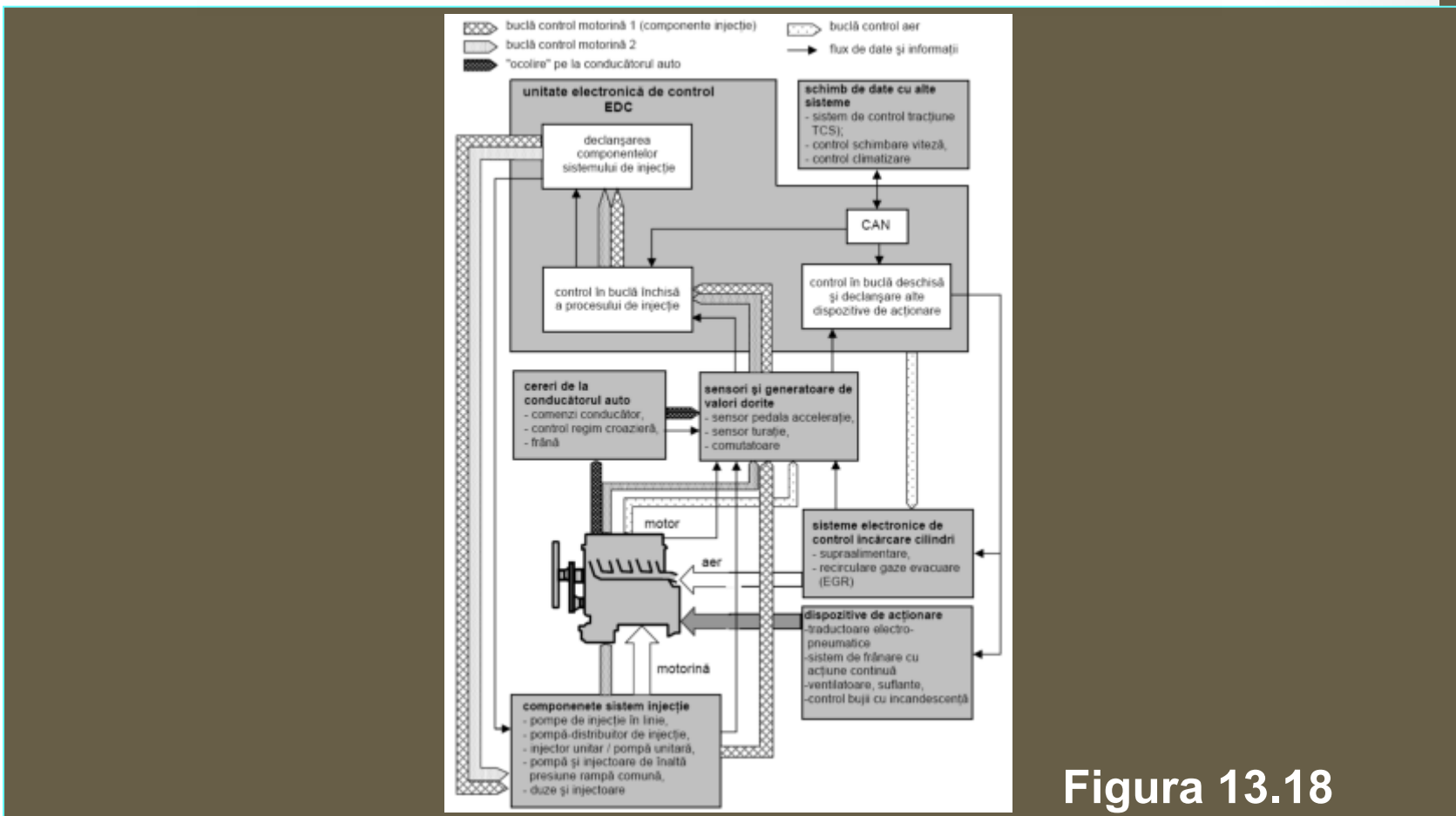


Figura 13.18

## Controlul electronic al motorului Diesel cu pompă de injecție în linie (PE)

Pentru a putea înțelege modul în care controlul electronic intervine în controlul pompei de injecție în linie, vom prezenta câteva elemente legate de funcționarea acestui tip de pompă.

*Pompa de alimentare.* O pompă cu piston furnizează motorina în galeria de carburant a pompei de injecție la o presiune de 1 ... 1,5 bari. Pistonul antrenat cu camă se deplasează la fiecare cursă a motorului spre punctul mort interior. El nu este fixat rigid de elementul de antrenare: un arc asigură forța de revenire. Cursa de revenire este cea în care se produce în realitate pomparea. Arcul pistonului răspunde la creșterea presiunii din conductă prin reducerea cursei de revenire la o fracțiune din întreaga cursă. Cu cât presiunea din conducta de alimentare este mai mare, cu atât este mai mică cantitatea de motorină furnizată.



***Pompa de înaltă presiune.*** Fiecare pompă de injecție în linie are câte un ansamblu piston-cilindru pentru fiecare cilindru al motorului. Pistonul este deplasat în direcția de alimentare de un arbore cu came antrenat de motor, iar un arc îl împinge înapoi în poziția sa inițială. Deși nu se folosește nici un element de etanșare, un ansamblu este realizat cu o asemenea precizie (joc: 3 ... 5  $\mu\text{m}$ ) încât virtual nu sunt scurgeri, chiar la presiuni mari și turații reduse.

Cursa reală a pistonului este constantă. Cantitatea de motorină furnizată este controlată prin rotirea pistonului – în care s-a prelucrat un canal elicoidal (înclinat) – pentru a varia cursa sa efectivă. Pomparea efectivă începe când suprafața superioară a pistonului închide orificiul de admisie. Un canal longitudinal realizează o legătură între camera pistonului (de presiune) și zona canalului elicoidal. Furnizarea încetează atunci când elicoida descoperă orificul de admisie.



Rotirea este asigurată de un mecanism cu cremalieră și sector dințat. Un canal elicoidal superior poate fi folosit pentru a varia punctul de începere al alimentării. Există de asemenea pe piață și ansambluri piston-cilindru ce folosesc într-o singură unitate elicoide inferioară și superioară.

În figura 13.19 se prezintă modul de realizare a mișcării de rotație a pistonului, iar în figura 13.20 se exemplifică controlul motorinei furnizate.



- 1 – cilindru
- 2 – orificiu de intrare
- 3 – piston
- 4 – canal elicoidal
- 5 – cremalieră

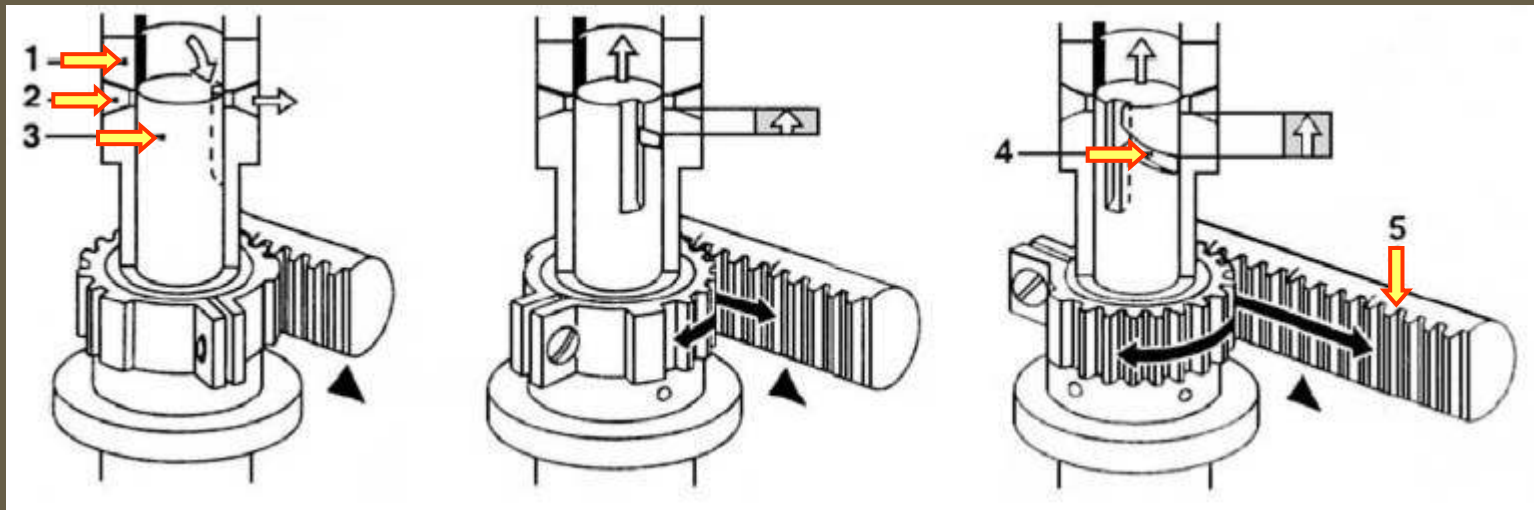
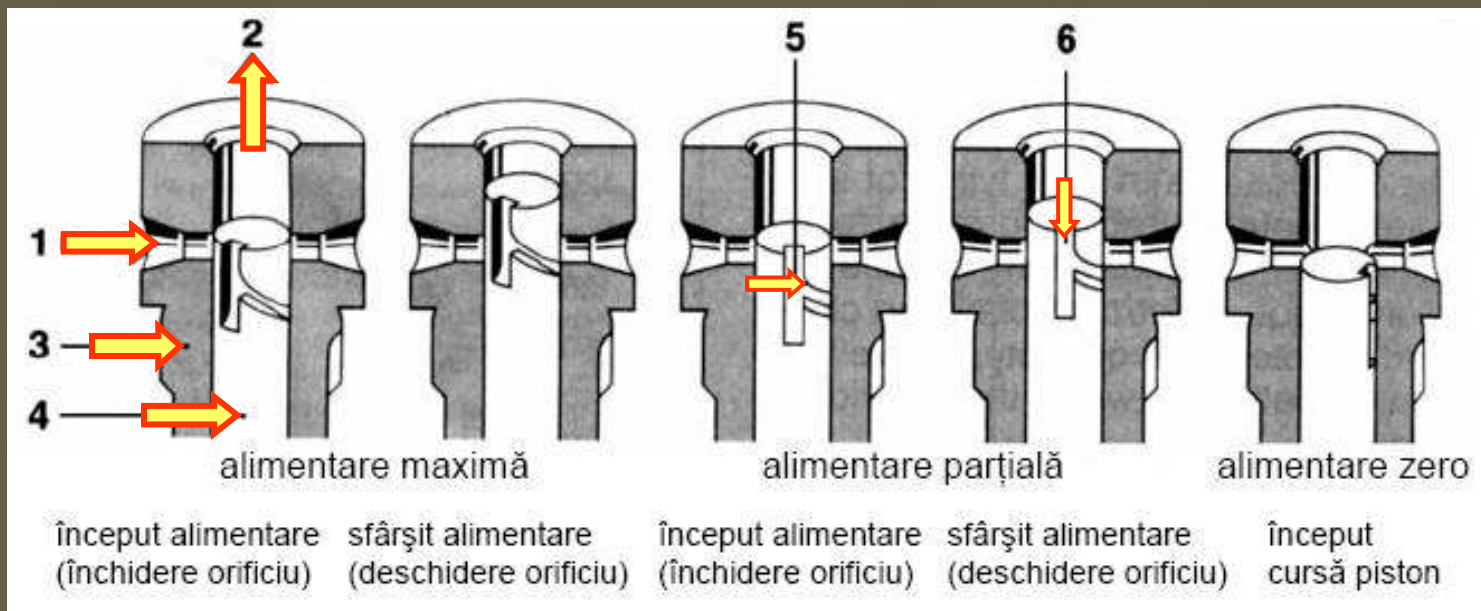


Figura 13.19



- 1 – de la galeria pompei
- 2 – spre injector
- 3 – cilindru
- 4 – piston
- 5 – elicoidă de control plasată inferior
- 6 – canal vertical



**Figura 13.20**

Pentru a fi potrivite în utilizarea la presiuni de injecție ridicate, în mod curent se folosesc următoarele tipuri de supape de refulare:

- supapă limitatoare de presiune la volum constant;
- supapă limitatoare de presiune la volum constant cu restricționarea debitului de retur;
- supapă la presiune constantă.

Supapa de refulare și caracteristica de limitare a presiunii trebuie proiectate în mod specific pentru fiecare aplicație.

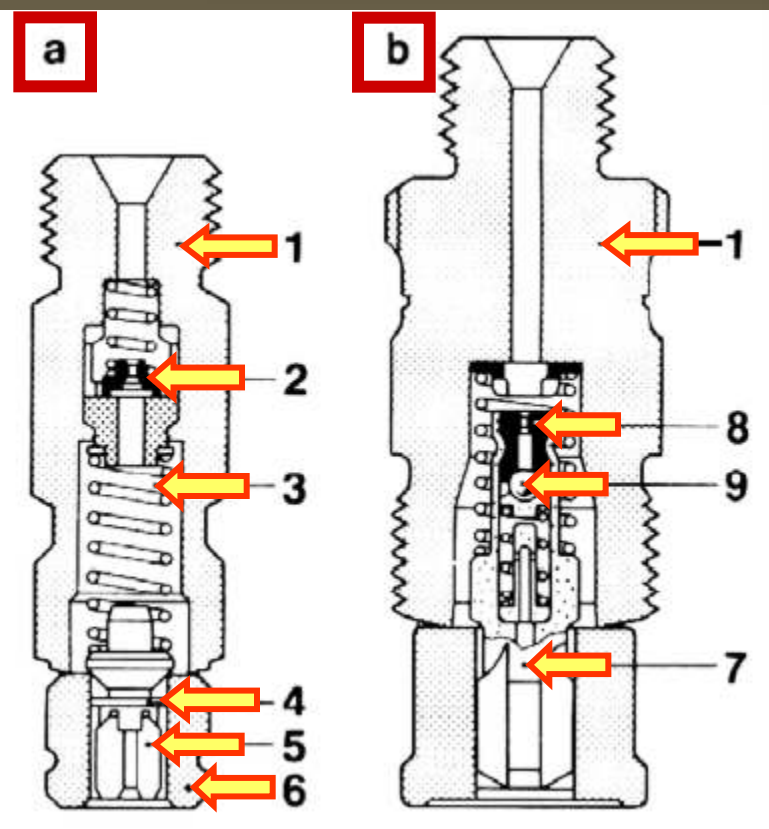
Exemplarele ce încorporează restricționarea debitului de retur sau supapă la presiune constantă folosesc un element de închidere pentru a amortiza undele de presiune reflectate de la duza injectorului, prevenind astfel deschiderea sa din nou.



Supapa la presiune constantă se folosește pentru a menține caracteristici hidraulice stabile ale sistemelor de injecție de înaltă presiune, pe motoare mici, de turație ridicată cu injecție directă.

În figura 13.21 se prezintă modul de construcție al supapelor de refulare.



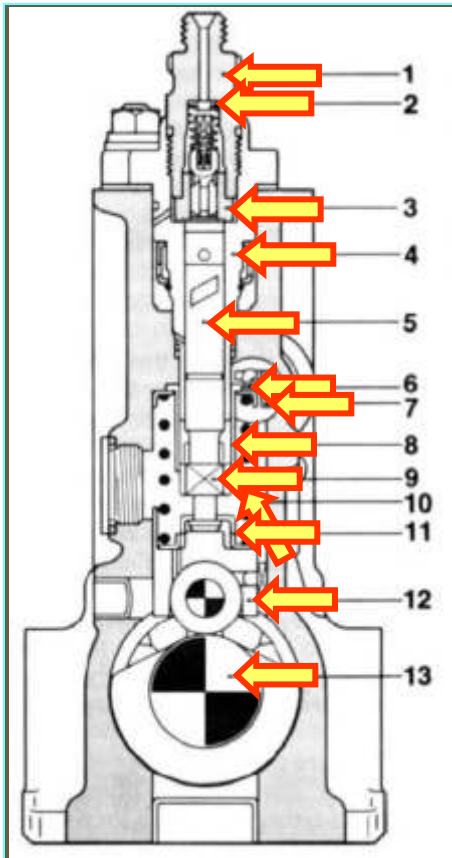


*a) la volum constant și restricționare debit de retur*

*b) supapă la presiune constantă*

- 1 – corpul supapei de refulare
- 2 – restricționare debit de retur
- 3 – volum mort
- 4 – piston
- 5 – supapă de menținere a presiunii
- 6 – corp supapă
- 7 – supapă de alimentare
- 8 – restricționare calibrată
- 9 – supapă cu bilă

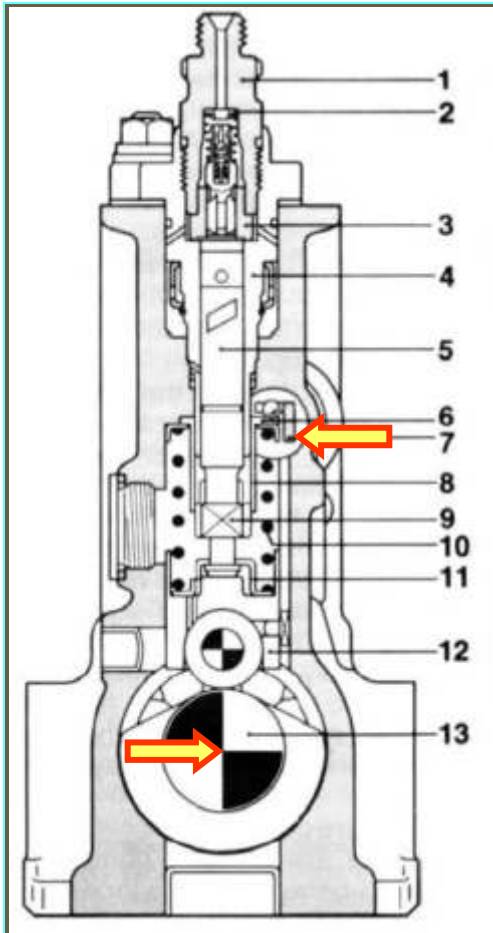
Figura 13.21



În figura 13.22 se prezintă o pompă de injecție în linie.

- 1 – corp supapă de refulare
- 2 – scaun arc
- 3 – supapa de refulare
- 4 – cilindrul pompei
- 5 – pistonul pompei
- 6 – braț pârghie cu cap sferic
- 7 – cremalieră de control
- 8 – manșon de control
- 9 – braț de control al pistonului
- 10 – arc de rapel piston
- 11 – scaun arc
- 12 – tachet cu rolă
- 13 – arbore cu came

Figura 13.22



*Dispozitive de sincronizare.* În trenul de antrenare între motor și pompa de injecție sunt plasate dispozitive de sincronizare cu regatoare centrifugale. Greutățile de echilibrare răspund la creșterea turației motorului prin rotirea arborelui cu came a pompei de injecție în direcția "avans la alimentare". Domeniul de reglaj este de 3 ... 10° la arborele pompei.

*Oprirea pompei.* Pentru a opri motorul Diesel prin întreruperea alimentării cu motorină se folosesc dispozitive mecanice (levier de oprire), electrice sau pneumatice.

## Controlul electronic (EDC)

Problema care se pune este de a controla cantitatea de motorină injectată de pompa de injecție. Acest control se realizează prin intermediul poziției cremalierii pompei. La sistemele clasice, acest control se realizează printr-un sistem cu pârghii, acționat cu cablu.

În cazul controlului electronic, pompele de injecție în linie sunt prevăzute cu un sistem de acționare electromagnetic, sub forma unei bobine ce asigură o deplasare liniară. Sistemul de acționare este prevăzut cu un sensor de poziție de tip inductiv, fără contacte, pentru poziționarea cremalierii de control.



Bobina sistemului de acționare este alimentată cu semnal adecvat de o unitate electronică centrală, în care un microprocesor compară poziția pedalei de accelerație, turația și un anumit număr de factori de corecție adiționali, cu un set de caracteristici memorate, cu scopul de a determina cantitatea de motorină injectată (exprimată ca o funcție a poziției cremalierii de control).

Un controler electronic compară poziția monitorizată a cremalierii de control cu poziția specificată, ceea ce permite determinarea valorii necesare a curentului de excitație al bobinei. Forța electromagnetică a bobinei este echilibrată de forța elastică a unui resort spiral.

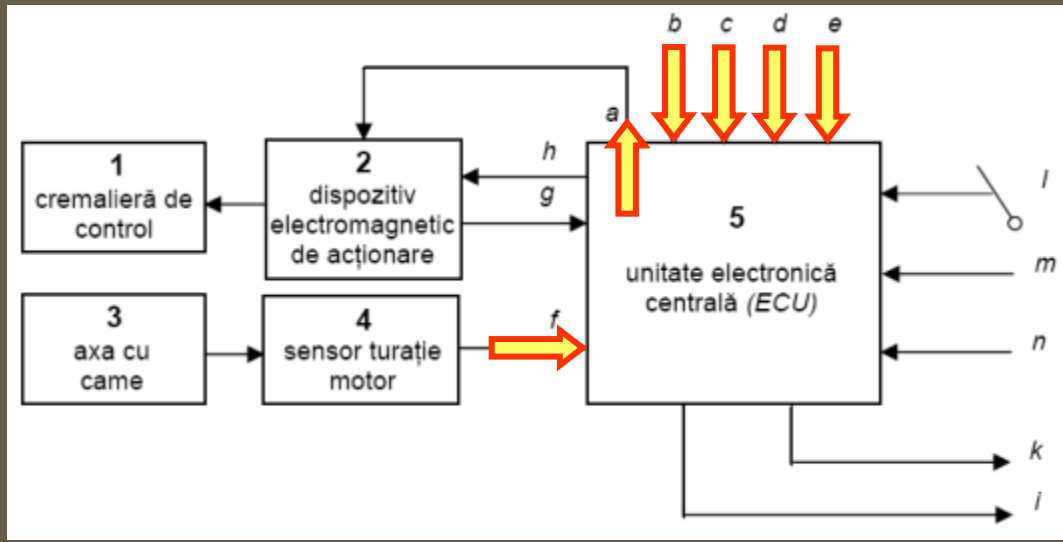
Când este detectată o anumită deviație, valoarea curentului de excitație este ajustată pentru a deplasa cremaliera de comandă a pompei de injecție la poziția necesară.

Structura bloc a sistemului electronic de control pentru motor Diesel (EDC) este prezentată în figura 13.23.



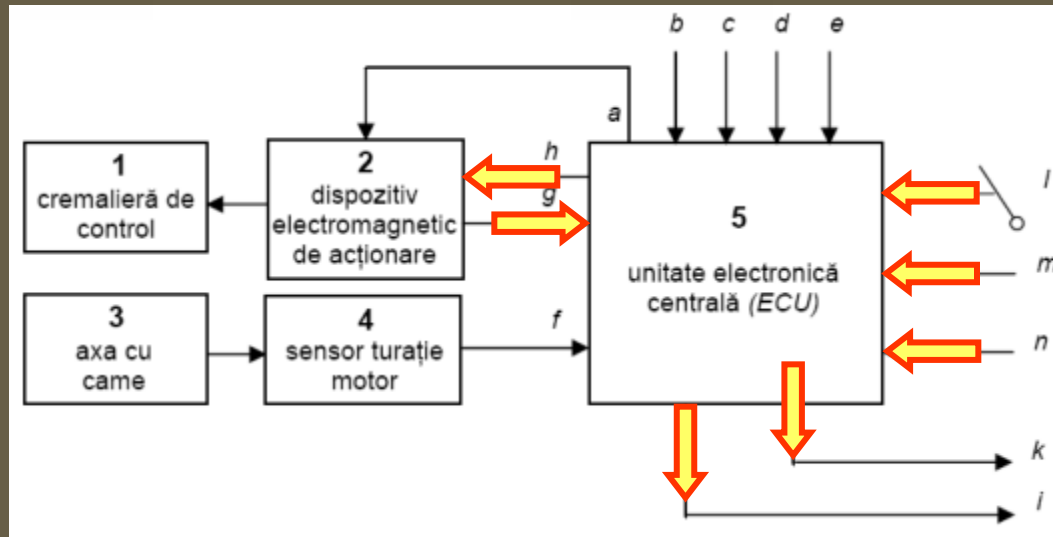


- *a – decuplare suplimentară*
- *b – presiune în admisie*
- *c – viteza vehiculului*
- *d – temperaturi (apă, aer, carburant)*
- *e – intervenție în cantitatea de motorină injectată*
- *f – turație*



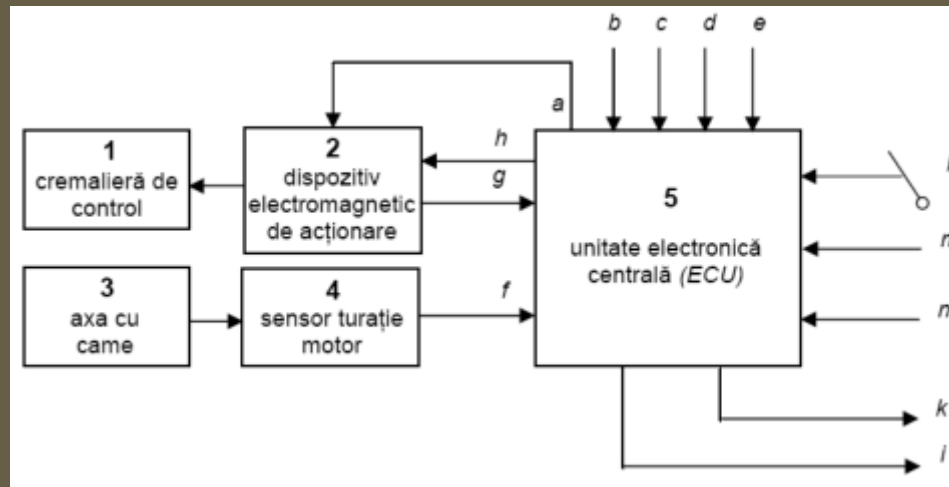
**Figura 13.23**

- *g* – deplasarea cremalierii de control
- *h* – poziția bobinei
- *i* – afișare consum de motorină și turație motor
- *k* – diagnoză
- *l* – poziția pedalei de accelerație
- *m* – turație prestabilită
- *n* – ambreiaj, frână, frână de motor

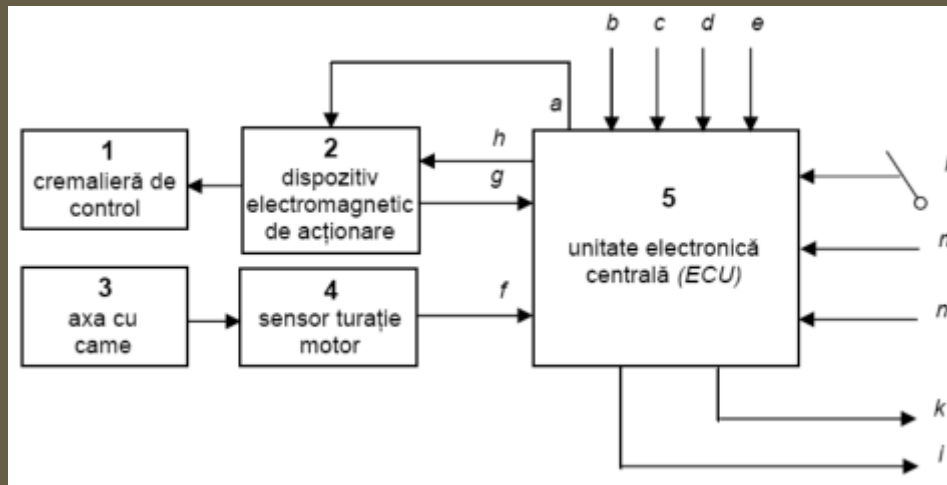


**Figura 13.23**

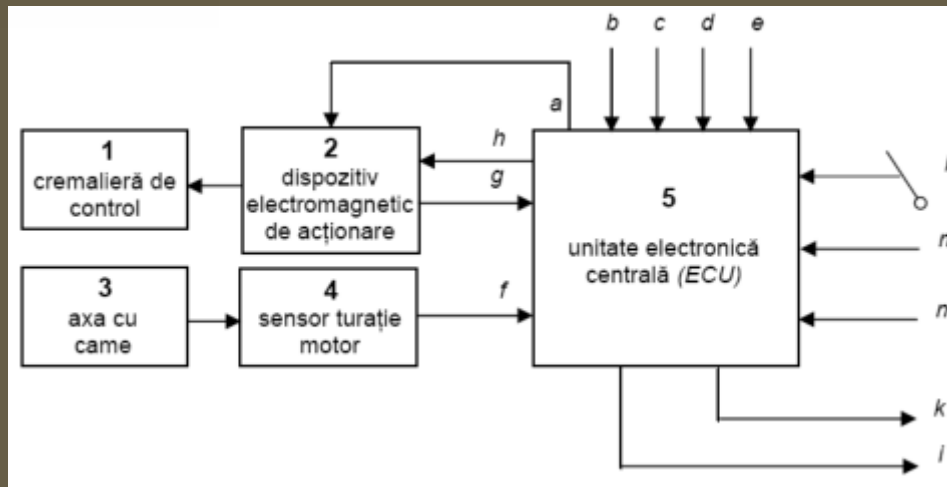
Turația motorului este măsurată cu ajutorul unui sensor de turație de tip inductiv și a unei roți antrenate de axa cu came. Unitatea centrală folosește durata dintre două impulsuri pentru a calcula turația. Întrucât un sistem electronic de control poate monitoriza un număr sporit de parametri ai motorului și vehiculului și să-i utilizeze în combinațiile lor pentru a determina cantitatea de motorină injectată, apar o serie de avantaje în raport cu un sistem mecanic:



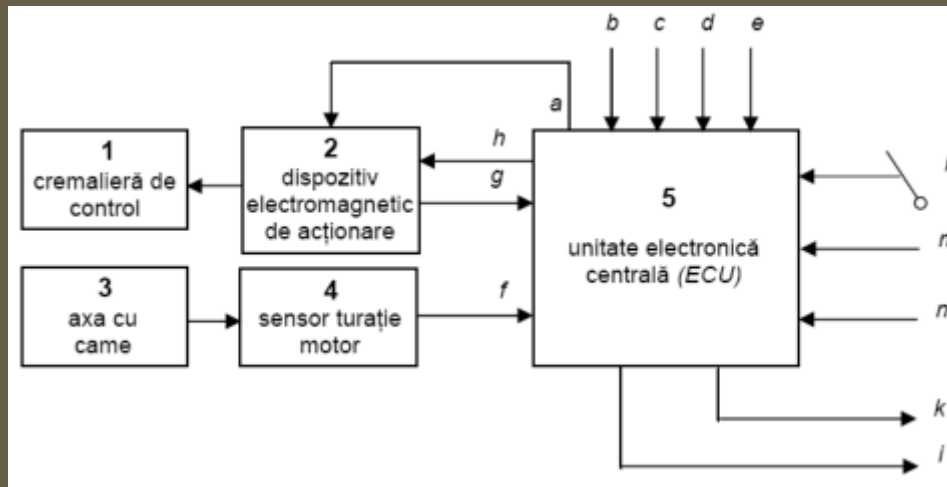
- motorul poate fi pornit și oprit cu ajutorul unui contact cu cheie;
- libertate deplină în determinarea răspunsului la sarcină plină;
- cantitatea maximă de carburant injectată poate fi corelată cu precizie cu presiunea din galeria de admisie, cu scopul de a rămâne în interiorul limitelor de fum;
- pot fi realizate corecții în funcție de temperatura aerului și a motorinei;



- îmbogățire la pornire dependentă de temperatură;
- facilități pentru control de mers în regim de croazieră;
- controlul (limitarea) turației maxime;
- turație de mers în gol de valoare redusă, dar consistentă;
- control activ al gazelor arse (pentru limitarea poluării);
- opțiuni pentru intervenție în controlul electronic al tracțiunii (ASR) și al transmisiei automate;



- semnal de ieșire pentru turometru;
- suport eficient pentru operațiuni de service, asigurând diagnoză integrală a defectelor;
- control electronic al turației motorului conform cerințelor unor sisteme auxiliare.



## Duze și injectoare

*Funcții.* În sistemul de injecție al motorinei din motorul Diesel, duzele și injectoarele au rolul elementului de legătură dintre pompa de injecție și motor. Funcțiile lor sunt următoarele:

- participă la dozarea motorinei;
- prelucrează carburantul;
- definesc caracteristicile procesului de injecție;
- izolează camera de ardere.

Motorina este injectată la presiuni de vârf cu valori și de peste 1000 bari, cu tendință de creștere în viitor. La aceste valori, motorina încetează a mai fi un lichid incompresibil, devenind compresibil. Pe durata scurtă a timpului de alimentare (de ordinul ms) sistemul de alimentare se "umflă" și o anumită cantitate de motorină – ce depinde de secțiunea de trecere a duzei – se descarcă în camera de ardere.



Prin lungime și diametru al orificiului, direcția de pulverizare și prin formă (într-o măsură mai mică sau mai mare), duza de injecție exercită un efect decisiv asupra proceselor, cu consecințe corespunzătoare asupra puterii dezvoltate de motor, consumului de carburant și a emisiilor de evacuare.

Curba vitezei de descărcare trebuie să fie calibrată astfel încât să îndeplinească cerințele specifice ale procesului de ardere. Această relație are un un efect important atât asupra puterii furnizate cât și a zgomotului de ardere.

Durata de injecție corectă se realizează atunci când rata de alimentare a pompei este acordată cu diametrul duzei. Între anumite limite, este posibil să se realizeze viteza de descărcare dorită prin controlul optimal al deschiderii duzei injectorului (dependent de cursa acului) și controlând șablonul mișcării acului.





În sfârșit, acul injectorului trebuie să fie capabil să izoleze sistemul injecției de motorină împotriva gazelor de ardere fierbinți, puternic comprimate, cu temperaturi de ordinul a 1000 °C.

Pentru a evita curgerea în sens invers a gazelor de ardere atunci când duza injectorului este deschisă, presiunea din camera de presiune a duzei injectorului trebuie să fie întotdeauna mai mare decât presiunea de ardere.

Această cerință devine semnificativă în mod deosebit spre sfârșitul secvenței de injecție (când o reducere bruscă a presiunii de injecție este însoțită de creștere masivă a presiunii de ardere), când ea poate fi asigurată numai printr-o îngrijită adaptare a pompei de injecție, duzei și acului pentru o funcționare satisfăcătoare în mod mutual.



*Proiectare. Injectoare standard.* În figura 13.26 se prezintă formele de bază pentru ansamblul duză - injector.

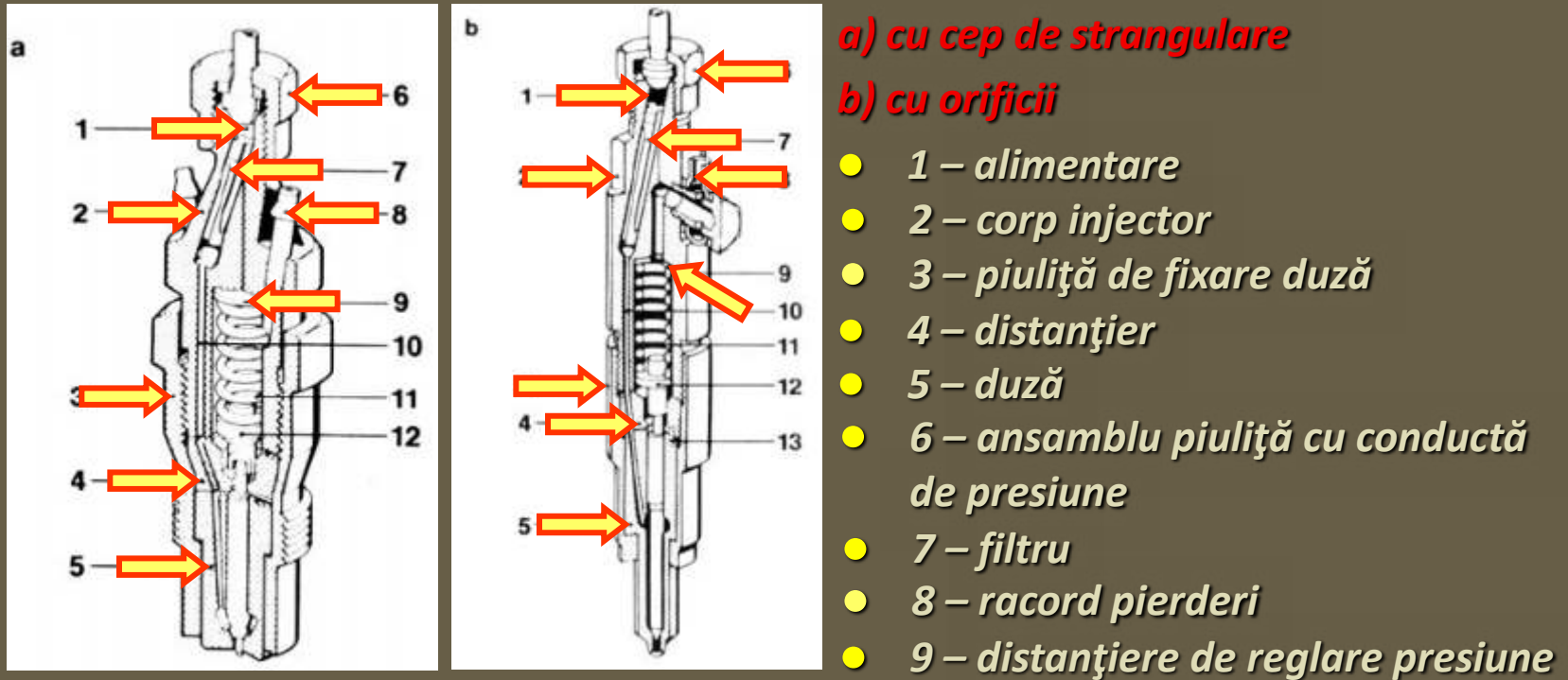
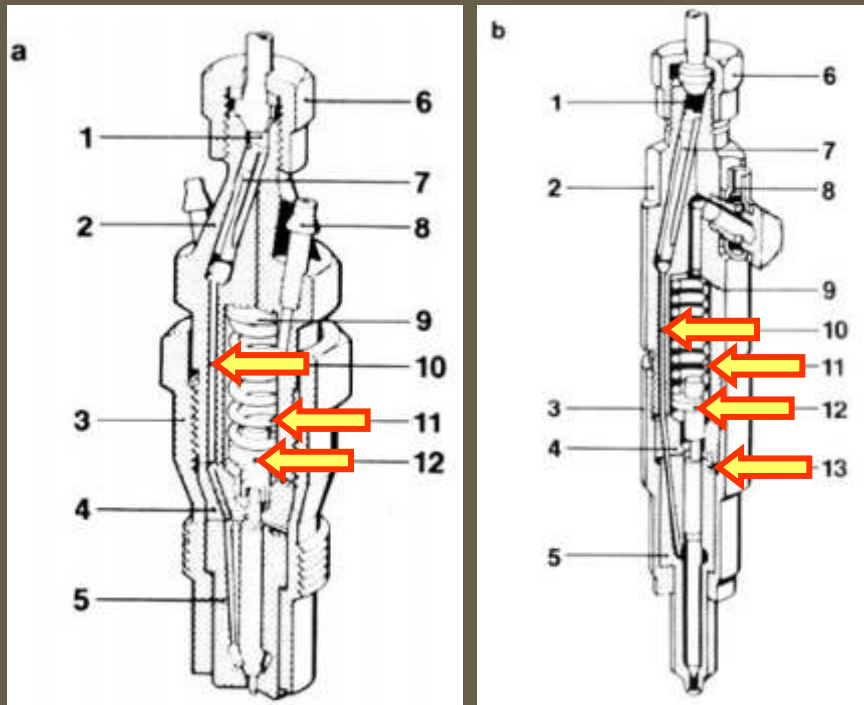


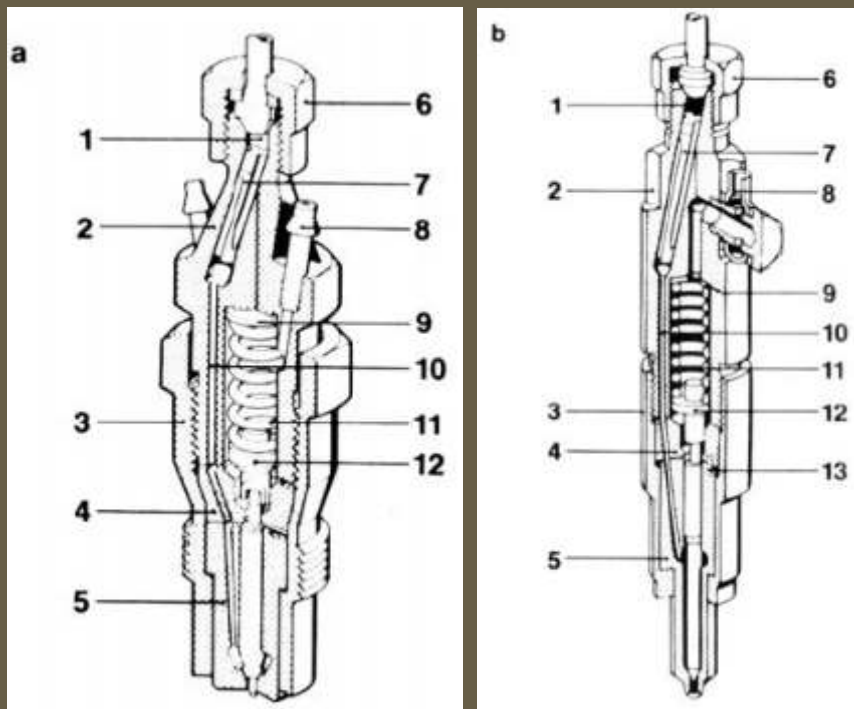
Figura 13.26



- 10 – canal de presiune
- 11 – arc
- 12 – ax de presiune
- 13 – știft

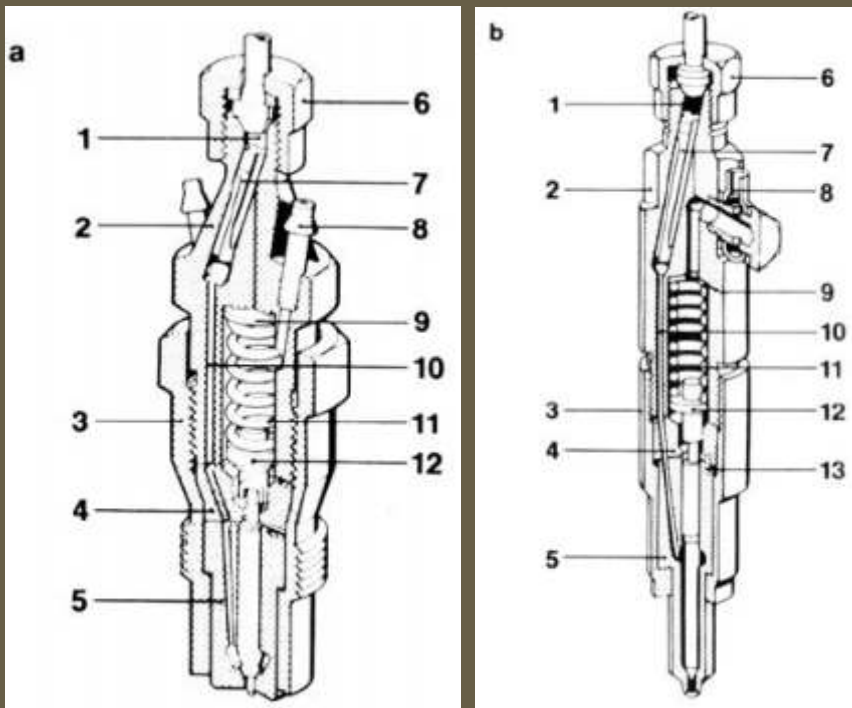
Figura 13.26

Duza injectorului constă din două secțiuni: corpul și acul. Acul se mișcă liber în interiorul canalului de ghidare, în același timp furnizând o etanșare pozitivă împotriva presiunilor înalte de injecție.



În partea inferioară a acului este o suprafață conică de etanșare, pe care arcul duzei o apasă pe o suprafață de etanșare din corp, având o formă corespunzătoare, atunci când duza este închisă. Aceste două suprafețe conice opuse prezintă o ușoară variație reciprocă a unghiului de deschidere, asigurând un contact liniar cu compresie dinamică mare și etanșare pozitivă.

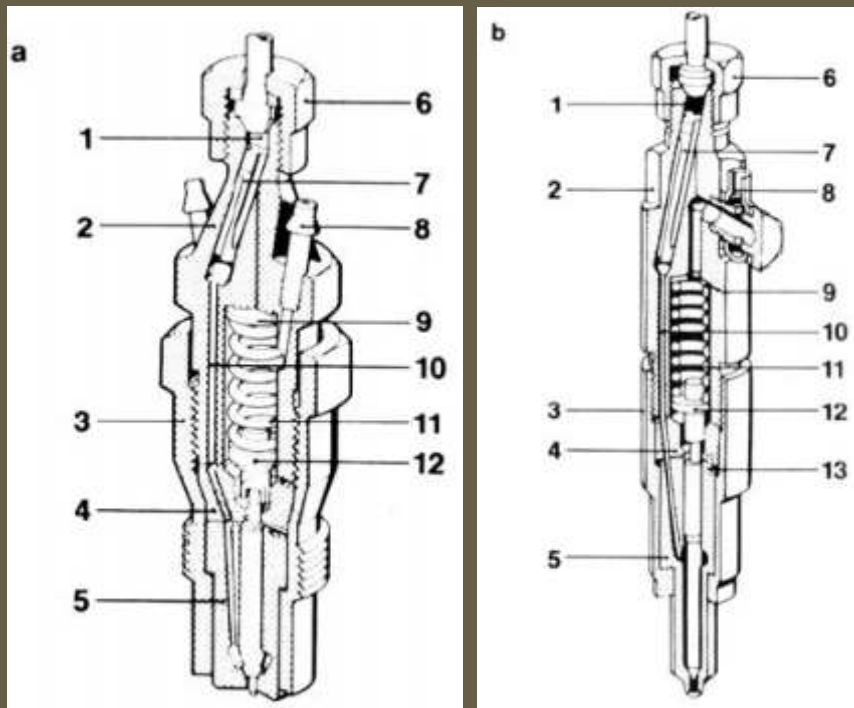
**Diametrul ghidajului acului este mai mare decât cel al scaunului. Presiunea hidraulică de la pompa de injecție acționează asupra diferenței de suprafață dintre diametrul acului și suprafața acoperită de scaun.**



**Duza de injecție se deschide atunci când produsul între suprafața de etanșare și presiune depășește forța arcului.**

**Cum deschiderea duzei are drept rezultat un salt brusc al secțiunii din jurul scaunului ce este expusă la presiune, se va obține o rată de alimentare suficient de mare prin duza ce se deschide foarte rapid.**

Duza nu se închide din nou până când presiunea din sistem nu scade de la presiunea de deschidere până sub presiunea de închidere relativ scăzută. Acest efect de histererezis are o semnificație specială în proiectarea stabilității hidraulice a sistemelor de injecție.



Presiunea de deschidere pentru ansamblurile duză-injector avută în vedere pentru aplicații între 100 și 300 bari este prescrisă prin instalarea de distanțiere sub arc.

Presiunea de închidere este determinată de geometria duzei de injecție (raportul între diametrul acului și diametrul scaunului).

*Injector cu două arcuri.* În injectoarele cu două arcuri pentru a asigura o anumită curbă a ratei de descărcare se fixează și se reglează patru parametri: presiunea de deschidere 1, presiunea de deschidere 2, cursa de inițiere și cursa totală. Principiul rezultă și din figura 13.27.

- ***H1 – cursa preliminară***
- ***H2 – cursa principală***
- ***H<sub>total</sub> = H1 + H2 cursa totală***
- ***1 – corp***
- ***2 – bușă oprire***
- ***3 – scaun arc***

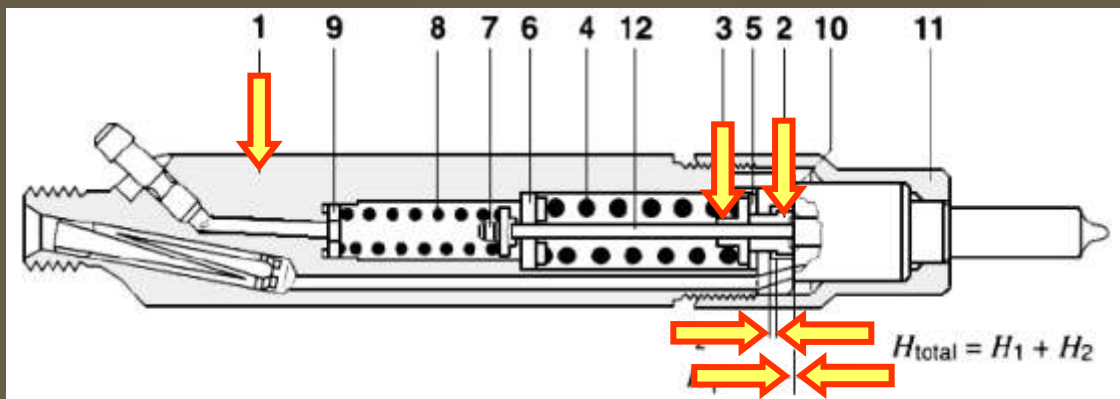
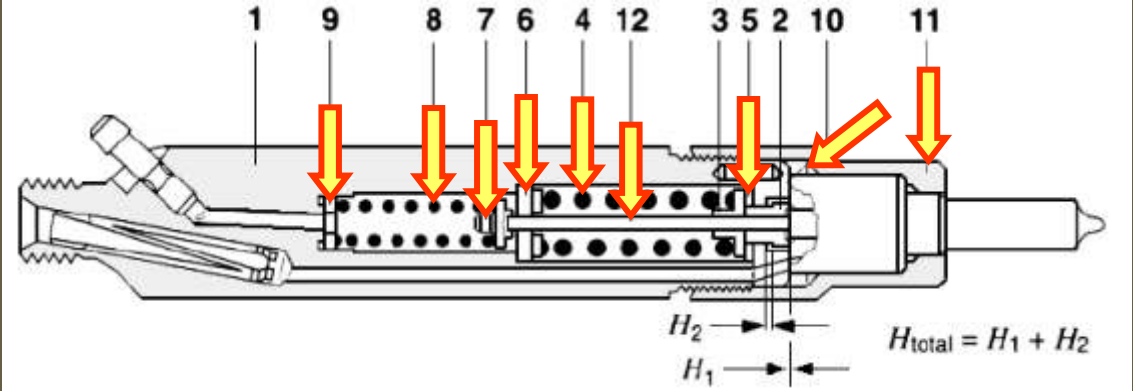


Figura 13.27

- 4 – arc
- 5 – garnitură de reglare
- 6 – disc de ghidare
- 7 – ax de presiune
- 8 – arc
- 9 – garnitură de reglare
- 10 – inel distanțier
- 11 – piuliță de fixare duză
- 12 – ax de presiune



**Figura 13.27**



Acest tip de injector poate fi folosit pentru a reduce nivelul de zgomot în asociere cu motoare cu injecție directă. Presiunea de deschidere 1 este fixată și testată ca și în cazul injectoarelor standard.

Presiunea de deschidere 2 este suma valorilor de pretensionare a arcului 1 și arcului auxiliar 2. Arcul 2 se sprijină pe o bucsă de oprire ce a fost prelucrată conform cu dimensiunea cursei de inițiere.

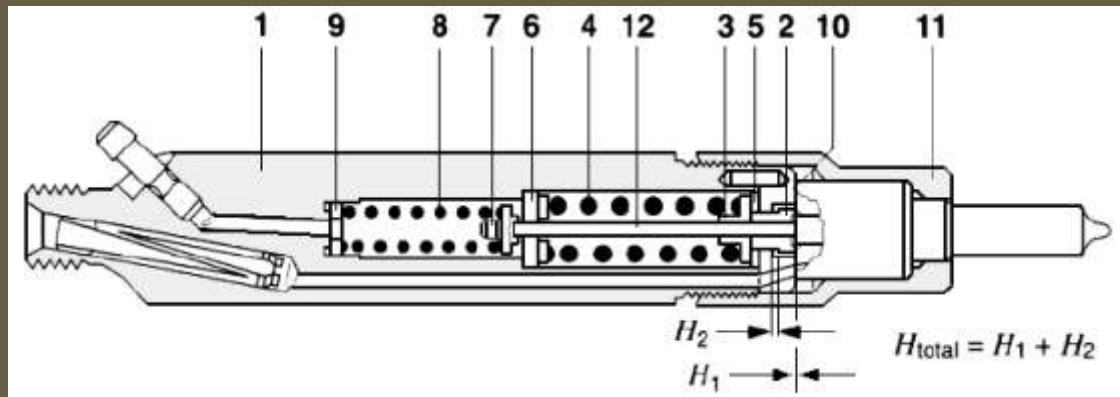


Figura 13.27

Pe durata procesului de injecție, deschiderea duzei este inițial restricționată la valoarea cursei de inițiere. În mod normal, valorile cursei de inițiere sunt 0,03 ... 0,06 mm.

Pe măsură ce presiunea din interiorul injectorului crește, bucușă de oprire se ridică, ceea ce permite ca acul să deschidă complet duza.

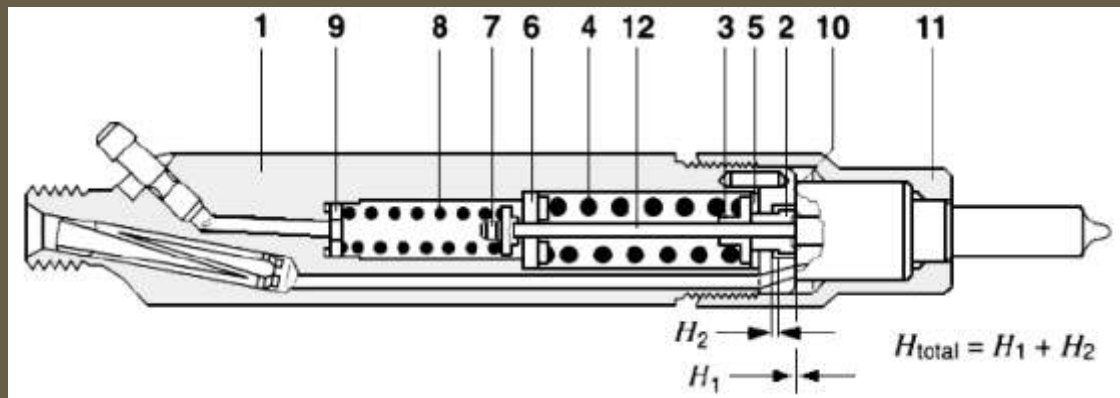


Figura 13.27

Cursa de inițiere asigură o primă treaptă de injecție, cu o cantitate de motorină mai mică, ceea ce permite să se obțină o cantitate de căldură mai mică în faza flăcării de preamestec. În acest fel se poate diminua zgomotul specific al motorului diesel.

Injectoarele cu două arcuri folosesc duze speciale, la care acul nu are cep.

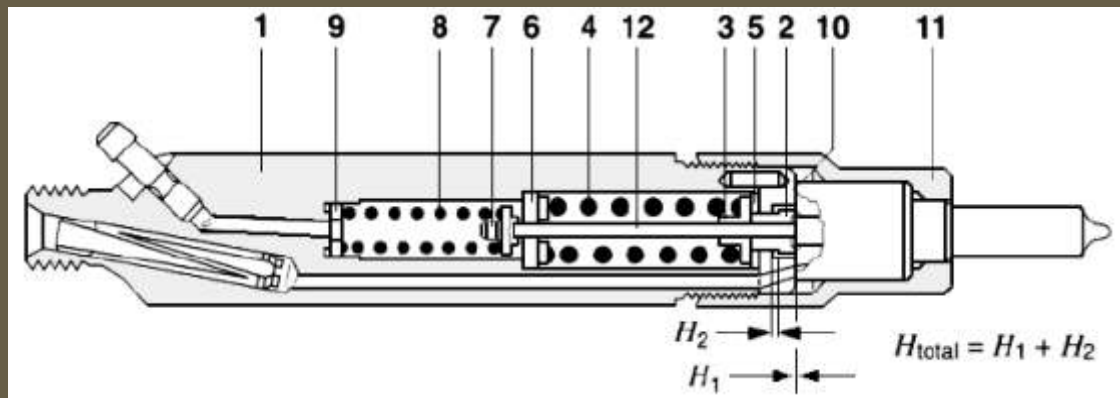
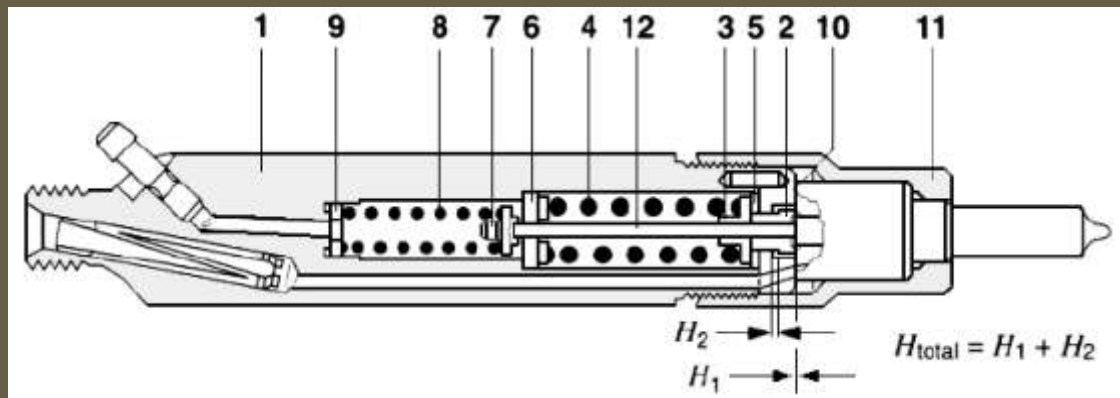


Figura 13.27

Există de asemenea disponibile pe piață injectoare cu două arcuri pentru motoare cu antecameră sau cu cameră cu turbulență. Valorile parametrilor de injecție sunt adaptate la respectivele sisteme de injecție, cu presiuni de deschidere joase (de exemplu 130/180 bari) și curse de inițiere de aproximativ 0,1 mm.



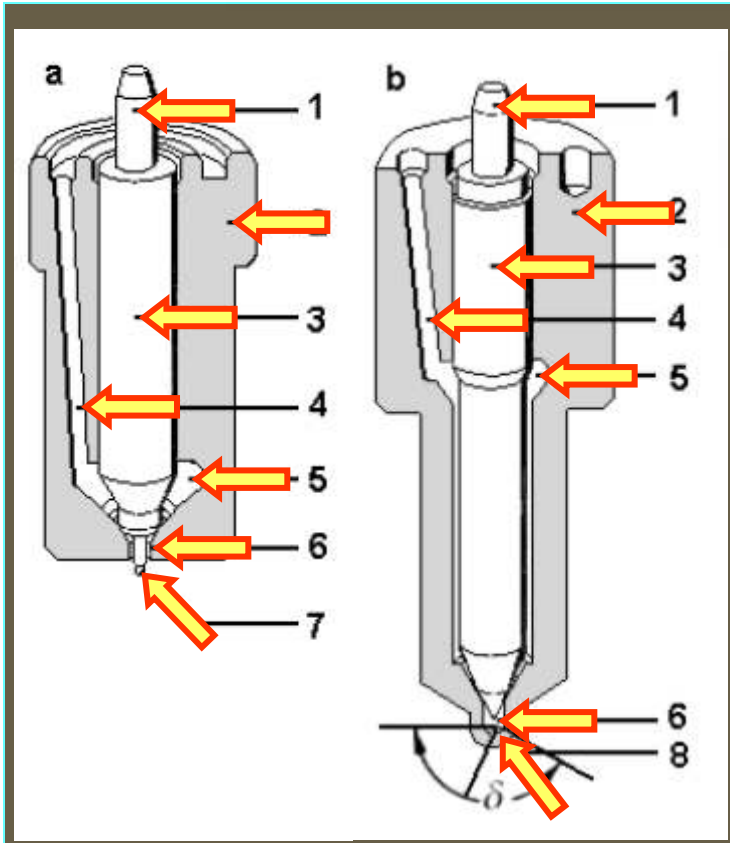
**Figura 13.27**

*Tipuri de duze.* Motoarele Diesel cu camera de ardere în două secțiuni necesită duze de un tip ce diferă de cele folosite la motoarele cu camera de ardere într-o singură secțiune.

Duzele cu cep de strangulare (*throttling-pintle*), sunt caracterizate de un tip de pulverizare coaxială și sunt în general echipate cu ace care au mișcare de retragere pentru deschidere, ca în figura 13.28 a. Acest tip de duză este indicat pentru motoare cu cameră de ardere divizată (antecameră sau cameră cu turbulență).

Motoarele cu injecție directă cu cameră de ardere într-o singură secțiune necesită în general duze cu orificii multiple, de tipul din figura 13.28.b.



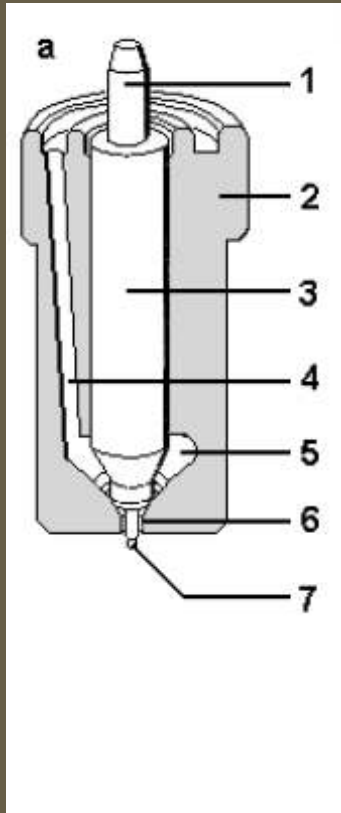


*a) duză cu cep de strangulare*

*b) duză cu orificii*

- 1 – ax de presiune
- 2 – corpul duzei
- 3 – acul duzei
- 4 – canal de alimentare
- 5 – cameră de presiune
- 6 – orificiu de pulverizare
- 7 – cep
- 8 – gaură oarbă

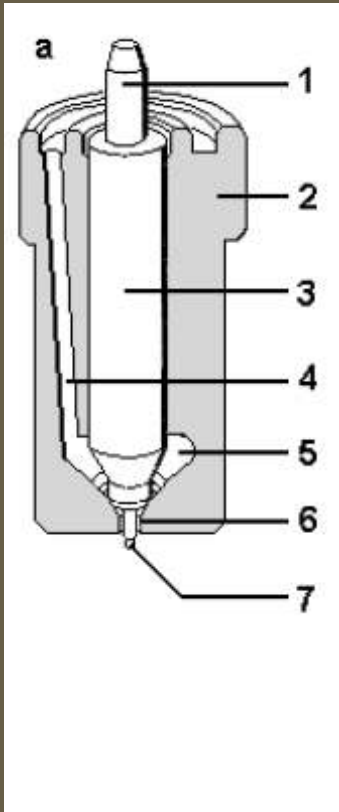
**Figura 13.28**



*Duze cu cep de strangulare.* Aceste duze de injecție folosesc ace cu diametrul tipic de 6 mm și asigură un unghi de deschidere pentru pulverizare de 0°, fiind de asemenea disponibile și în varianta cu unghi conic de pulverizare definit (de exemplu 12°).

Duzele cu cep de strangulare variază deschiderea de descărcare – și în acest fel valoarea debitului – ca o funcție de cursa acului. Duzele de tip orificiu prezintă o creștere imediată, bruscă a deschiderii atunci când acul deschide; prin contrast, duza cu cep de strangulare este caracterizată printr-o progresie a deschiderii extrem de plată la curse moderate ale acului.

În interiorul acestui domeniu de valori ale cursei, cepul (care este o extindere în capătul acului), rămâne în orificiul de pulverizare.

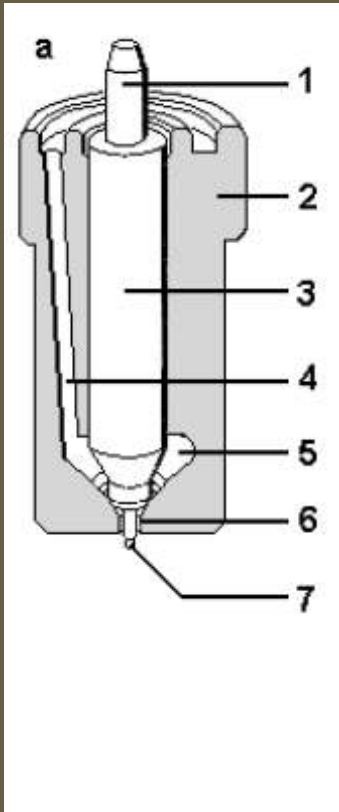


Deschiderea de curgere constă numai dintr-un spațiu inelar redus format între orificiul de pulverizare mai mare și cepul de strangulare. Pe măsură ce cursa crește, cepul se retrage din orificiul de pulverizare, concomitent cu o substanțială creștere a dimensiunii deschiderii.

Această dependență a deschiderii funcție de cursă poate fi folosită pentru exercita un anumit control al ratei de descărcare (cantitatea de motorină injectată în motor într-un anumit interval de timp).

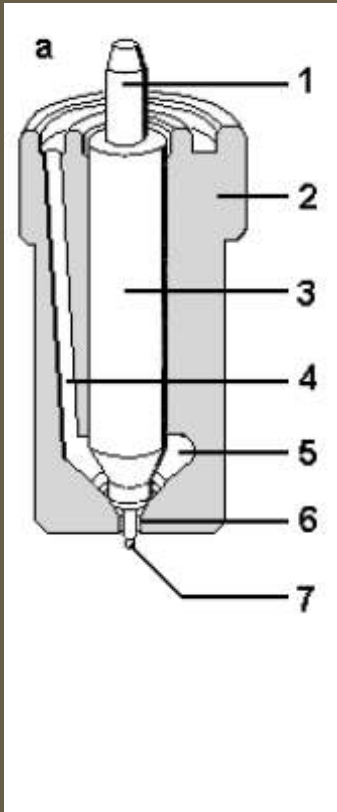
La începutul injecției, prin duza de injecție trece numai o cantitate limitată de motorină, în timp ce spre sfârșitul ciclului se descarcă o cantitate substanțială. Această secvență a procesului de injecție are un efect pozitiv deosebit asupra zgomotului de ardere.





Trebuie reamintit faptul că deschideri excesiv de mici combinate cu curse scurte ale acului duc la o mișcare accelerată spre poziția "deschis" a acului sub acțiunea presiunii create de pompa de injecție, forța de antrenare fiind crescătoare, ceea ce provoacă o retragere rapidă a acului din domeniul cursei cu strangulare.

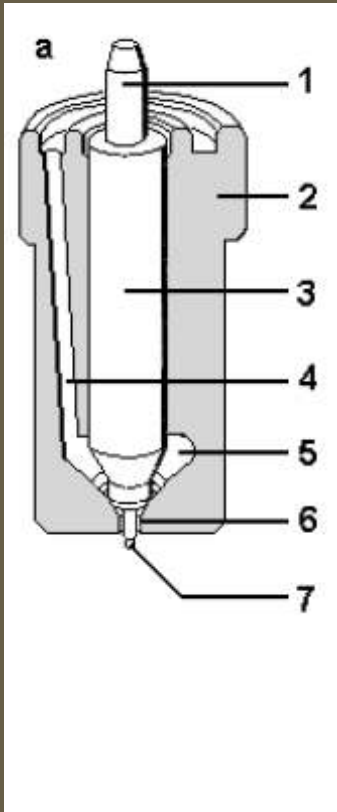
Cantitatea de motorină injectată în unitatea de timp crește în mod dramatic, iar zgomotul de ardere se mărește în mod corespunzător. În mod similar, se obțin efecte negative în cazul unor deschideri excesiv de mici la sfârșitul ciclului de injecție: volumul dezlocuit de acul duzei ce se închide micșorează deschiderea. Rezultatul este o extindere nedorită a duratei injecției.



În concluzie, forma deschiderii trebuie să fie precis armonizată cu rata de alimentare a pompei de injecție și cu cerințele procesului de ardere (dimensiuni geometrice precise cu toleranțe strânse).

În timpul funcționării motorului se formează depuneri de carbon în spațiul de strângere. Acestea sunt suficient de mari și din nefericire extem de neregulate ca formă.

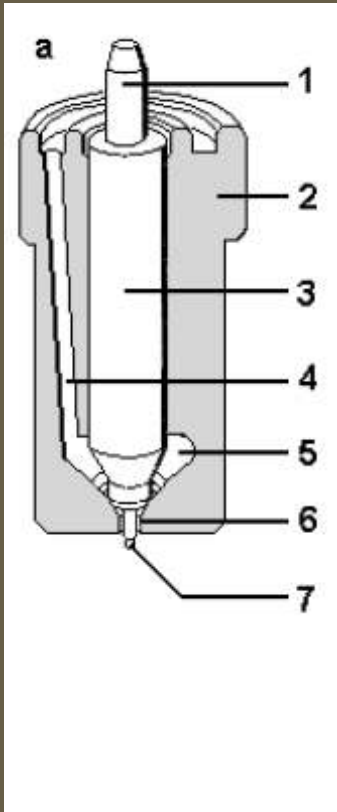
În majoritatea cazurilor, numai 30% din spațiul de strângere rămâne neobstruat. Depuneri mai reduse și mai plate se întâlnesc la duze cu cep plat, la care deschiderea unghiulară între corp și cepul de strângere este aproape zero.



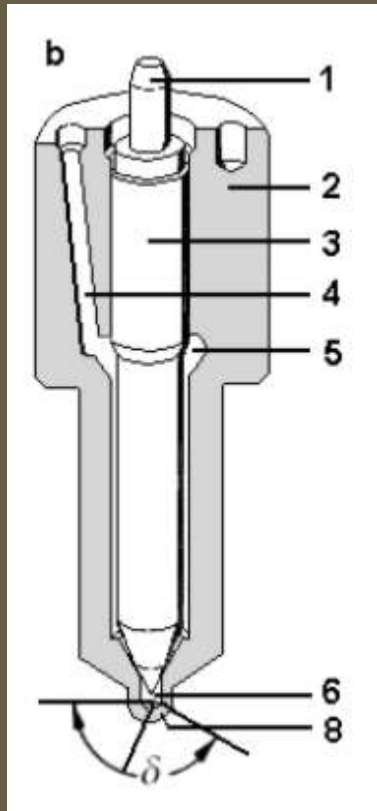
Cepul de strangulare folosește o suprafață prelucrată pentru a deschide secțiunea de curgere. Acest tip de pasaj pentru curentul de motorină asigură o suprafață redusă raportată la deschidere, ceea ce determină un efect de autocurățire intensificat.

Suprafața prelucrată este în mod frecvent paralelă cu axa acului. O înclinare suplimentară se poate folosi pentru a produce o creștere mai pronunțată a porțiunii plate din curba de debit, permițând astfel o tranziție mai lină la deschiderea completă a duzei.

Această soluție joacă un rol pozitiv din punctul de vedere al zgomotului emis la sarcini parțiale și asupra caracteristicilor de funcționare.



Cum formarea depunerilor este favorizată de asemenea de temperaturile ridicate de la nivelul duzelor de injecție, sunt disponibile ecrane termice care transferă căldura din spatele camerei de ardere în chiulasă.



***Duzele cu orificii.*** Se întâlnește o mare varietate de dimensiuni de duze și injectoare de acest tip.

Spre deosebire de duzele cu cep de strangulare, duzele cu orificii multiple trebuie în general să fie montate într-o poziție prestabilită în vederea asigurării unei alinieri corecte între orificiile cu unghiuri diferite și camera de ardere a motorului.

Din acest motiv se folosesc în mod normal soluții de asamblare cu știfturi de poziționare pentru a plasa ansamblurile duze-injector în chiulasă, iar un șurub de blocare asigură orientarea dorită.

Duzele cu orificii multiple sunt disponibile cu ace având diametre de 6 mm, 5 mm și 4 mm. Arcurile trebuie să fie adaptate la diametrul acului și la presiunea de deschidere ridicată, cu care se întâlnește în mod normal (>180 bari).

- 1 – duză cu orificii cu gaură conică oarbă
- 2 – duză cu orificii cu gaură cilindrică oarbă
- 3 – duză cu orificii în scaun
- 4 – duză cu cep de strangulare
- 5 – duză cu cep cu suprafață plată înclinată

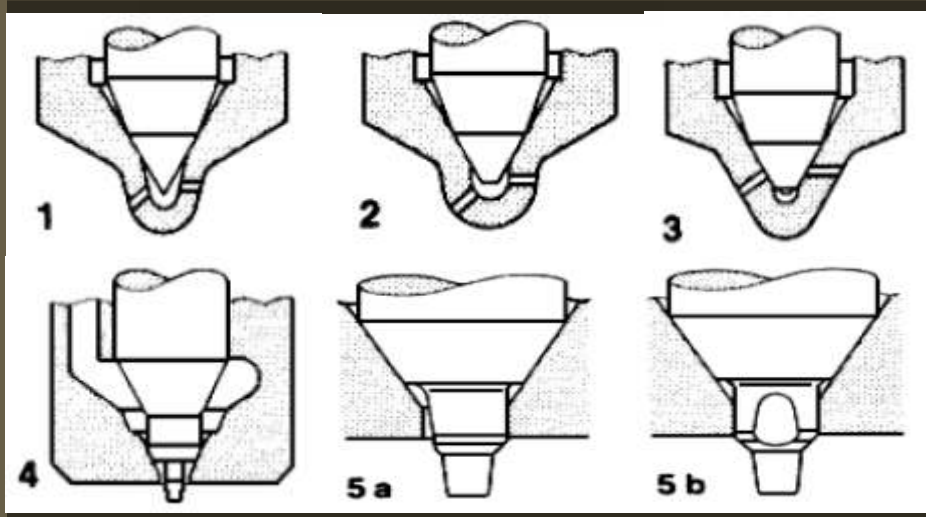
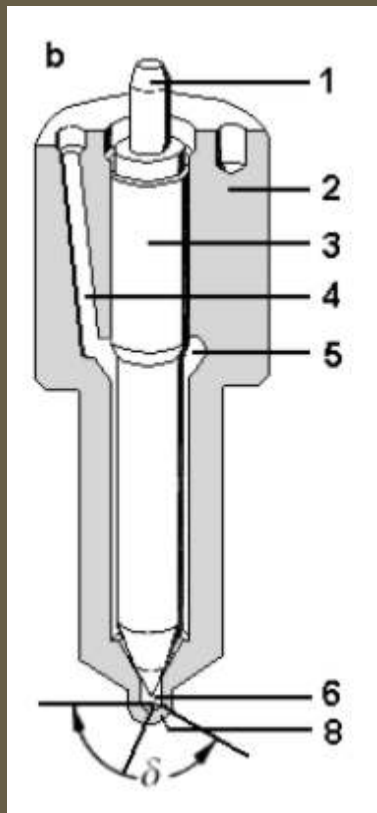


Figura 13.28



La sfârșitul secvenței de injecție apare un pericol pronunțat ca gazele de ardere să se propage în duză, ceea ce are ca efect în timp distrugerea duzei și instabilitate hidraulică. Diametrul acului și arcul sunt calibrate cu atenție pentru a fi siguri că duza este etanșată în mod corespunzător.

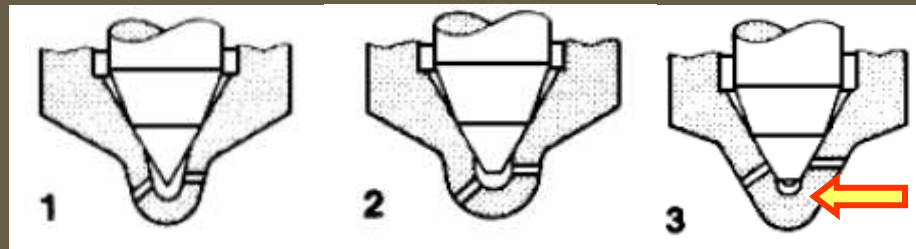
Există trei opțiuni diferite pentru orificiile de pulverizare în capătul conic al duzelor de tip cu orificii: cu gaură cilindrică oarbă, cu gaură conică oarbă și cu orificii în scaun.

Funcție de tipul orificiilor de pulverizare, la sfârșitul ciclului de injecție în duză rămâne un volum dat de motorină care apoi este liberă să se evapore în camera de ardere.

Cele trei tipuri diferite de orificii de pulverizare de mai sus sunt enunțate în ordine descrescătoare din punctul de vedere al volumului de motorină rămas la sfrâșitul ciclului de injecție.

Cu alte cuvinte, întrucât tipul cu orificii în scaun reține cea mai mică cantitate de motorină, duza de acest tip contribuie la reducerea emisiilor de hidrocarburi, întrucât în camera de ardere se evaporă mai puțină motorină.

Lungimea orificiului de pulverizare este limitată de integritatea mecanică a conului duzei. În prezent lungimea orificiului de pulverizare este de 0,6 ... 0,8 mm pentru găuri oarbe cilindrice sau conice și de 1 mm pentru duzele cu orificii în scaun.

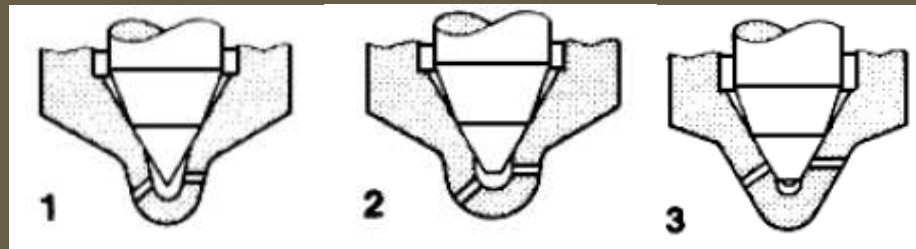




Tendința este de a utiliza orificii mai scurte, întrucât acestea permit un control mai bun al emisiilor de fum.

Pentru a asigura rezistența mecanică a duzelor cu orificii în scaun se folosesc tehnici speciale de tratament termic și de găurire. Găurirea poate fi folosită pentru a asigura toleranțe de  $\pm 3,5\%$  ale debitului. Pentru a atinge toleranțe de  $\pm 2\%$  necesare în cerințele unor aplicații, se pot folosi procedee suplimentare.

Rezistența termică a materialelor limitează temperaturile de vârf pentru duzele de tip cu orificii la aproximativ  $270\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Pentru condiții de funcționare deosebit de dificile sunt disponibile ecrane de protecție termică, iar pentru motoarele cu capacități cilindrice mari există chiar și duze răcite.



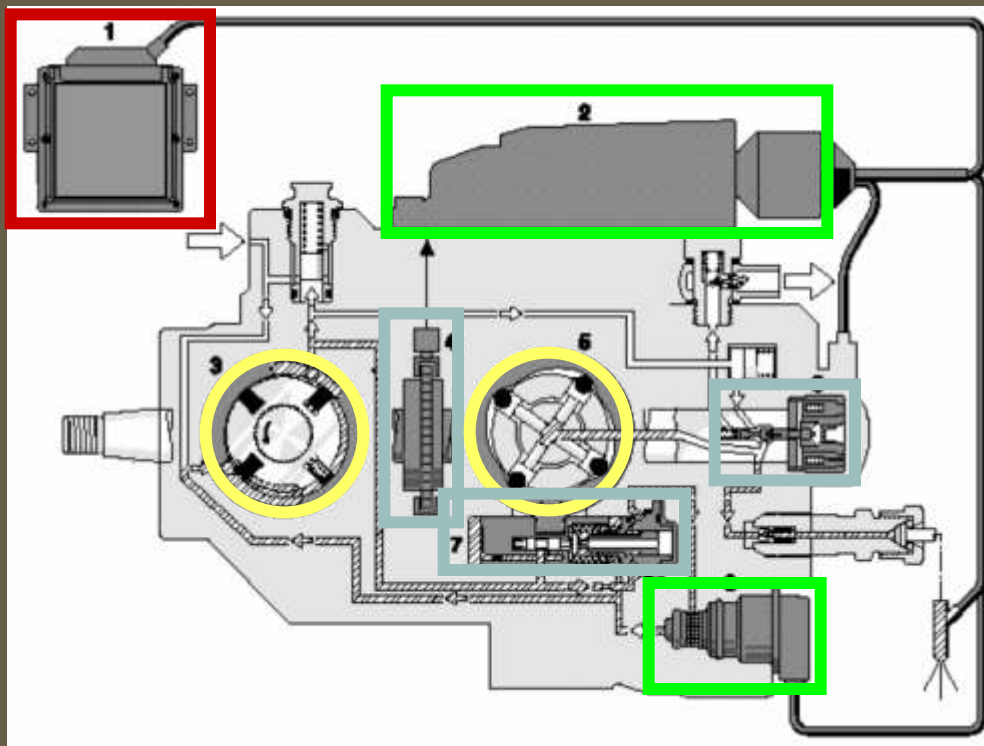
## Pompă distribuitor de injecție cu piston radial

Pompa-distribuitor de injecție este folosită pentru motoare Diesel cu 3, 4, 5 și 6 cilindri instalate pe autoturisme, tractoare și camioane ușoare și medii, cu puteri de până la 20 kW pe cilindru. Pompele-distribuitor de injecție pentru motoare cu injecție directă realizează un maxim de 700 bari în camera de înaltă presiune a pompei la turații de până la 2400 rot/min.

În figura 13.30 se prezintă o pompă distribuitor cu piston radial cu control electronic.



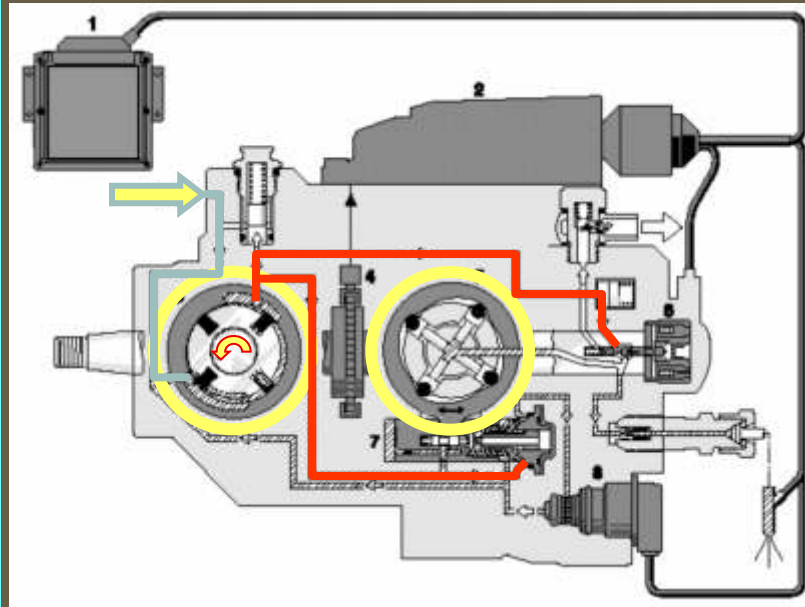
*Pentru a facilita înțelegerea funcționării, unele componente sunt reprezentate răsucite la 90° față de poziția lor reală*



- 1 – unitate electronică de control motor
- 2 – unitate electronică de control pompă
- 3 – pompă cu palete (răsucită cu 90°)
- 4 – sensor de unghi de rotație
- 5 – camă inel (răsucită cu 90°)
- 6 – electroventil de înaltă presiune
- 7 – dispozitiv de sincronizare
- 8 – electroventil dispozitiv de sincronizare

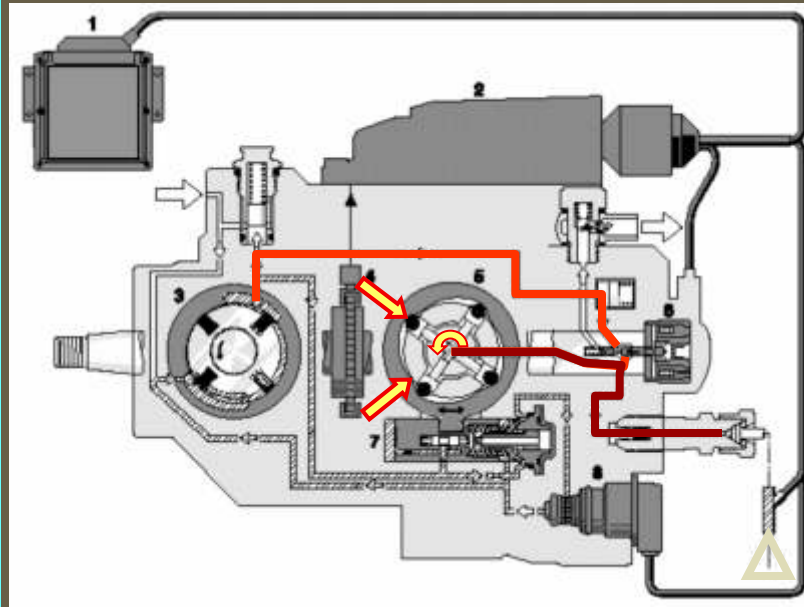
**Figura 13.30**

*Pompa de alimentare.* Această pompă de tip cu palete absoarbe motorina din rezervor (nu este necesară instalarea unei pompe primare), iar împreună cu supapa de control a presiunii generează o presiune internă a pompei ce crește direct proporțional cu turația motorului.



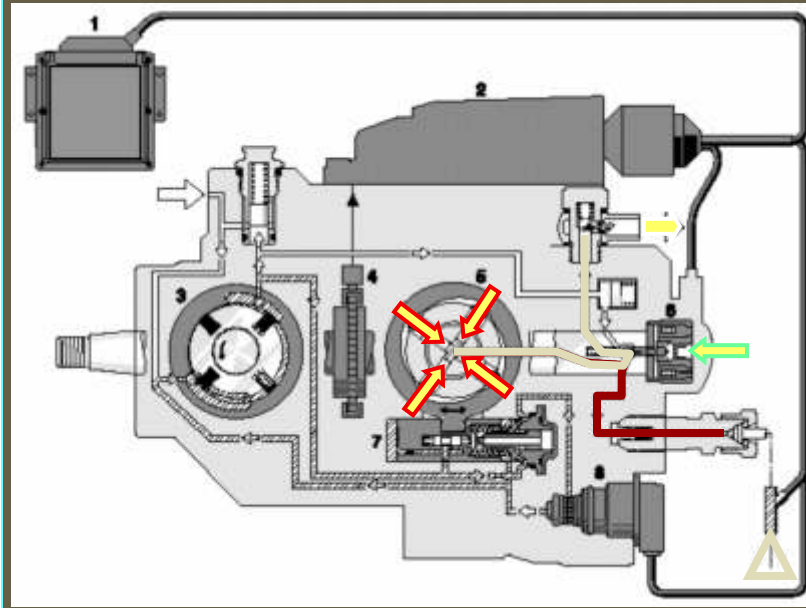
*Pompa de înaltă presiune.* Pompa distribuitor folosește un distribuitor pentru toți cilindrii motorului. Acesta se rotește pentru a distribui motorina ieșirilor individuale corespunzătoare ale cilindrilor motorului. Distribuitorul are în interior o canalizație ce comunică cu pompa de înalta presiune.

Aceasta este realizată cu ajutorul unor pistonase (patru în figura 13.30), plasate în interiorul unei plăci antrenată în mișcare de rotație de arborele pompei. De asemenea, pistonasele pătrund în distribuitor perpendicular pe suprafața sa. Alezajele pentru pistonasele din distribuitor comunică între ele, formând camera de înaltă presiune.



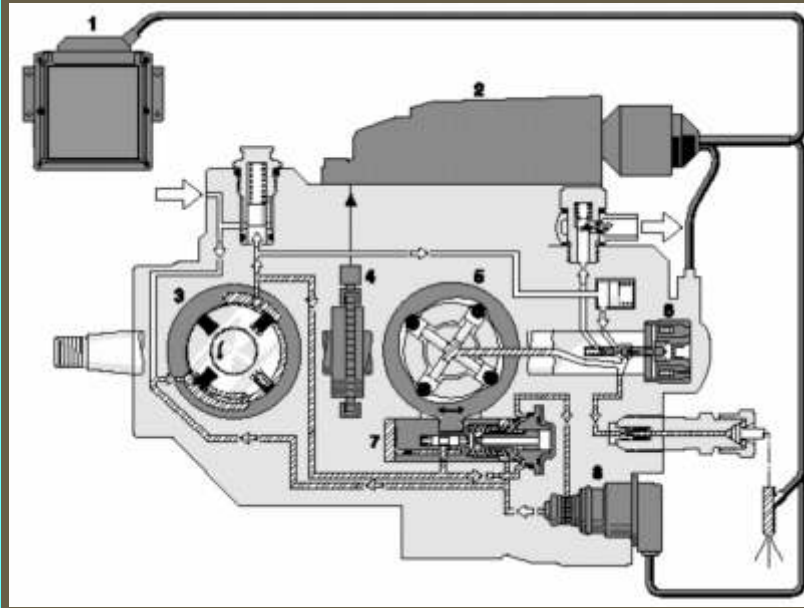
Placa se rotește în interiorul camei inel, iar pistonasele prevăzute la capătul exterior cu role tachet vor executa, pe lângă mișcarea de rotație împreună cu placa, și o mișcare radială. Când apar bosajele camei, pistonasele se mișcă spre centru, obținându-se efect de pompare.

Pe durata fiecărei rotații a arborelui de antrenare, pistonășele efectuează un număr de curse egal cu numărul de cilindri ai motorului ce trebuie alimentați. Mișcarea radială spre centru a pistonășelor reprezintă cursa activă a pompei de înaltă presiune. Pompa continuă să furnizeze motorină pe durata cursei active atât timp cât orificiul de golire rămîne închis.



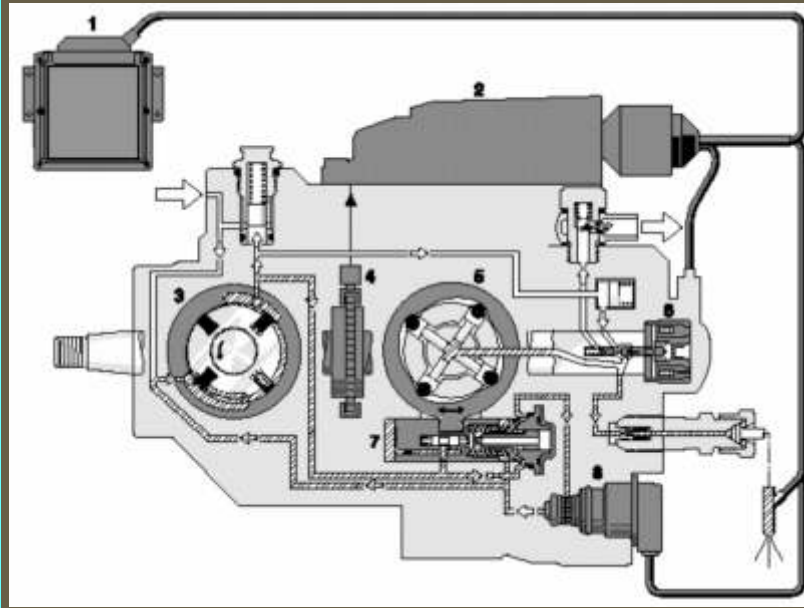
Alimentarea se întrerupe de îndată ce se deschide orificiul de golire de către electroventilul de înaltă presiune, determinând cursa efectivă și cantitatea de motorină injectată. Distribuitorul are la capătul dinspre electroventilul de înaltă presiune un sistem de canale care permit admisia de motorină spre camera de înaltă presiune atunci când pistonășele se deplasează spre exterior.

Înainte de începerea cursei active a pistonășelor pompei de înaltă presiune, datorită rotirii distribuitorului, canalele de admisie a motorinei nu mai comunică cu orificiul de alimentare, iar motorina este închisă la volum constant.



Când începe cursa activă, presiunea în motorină crește și, funcție de poziția canalului de distribuție din distribuitor în raport cu orificiile pentru conductele de înaltă presiune ale injectoarelor, motorina va fi transmisă spre injectorul cilindrului corespunzător.

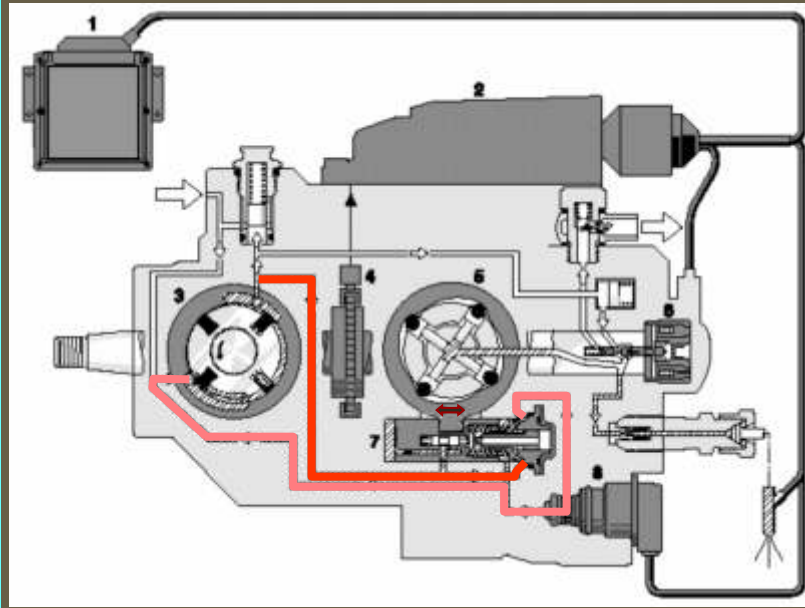
*Regulatorul electronic (EDC).* Electroventilul de înaltă presiune este controlat electronic. El permite controlul cantității de motorină injectată prin deschiderea orificiului de golire pe baza unor date legate de parametrii de funcționare a motorului și a cartogramelor caracteristice memorate.



La momentul determinat de computer, electroventilul este alimentat și armătura sa antrenează în mișcare un pistonăș ce se mișcă axial în interiorul distribuitorului. Pistonașul ocupă o poziție în care circuitul pompei de înaltă presiune este pus în legătură cu conducta de retur a pompei prin orificiul de golire. Presiunea scade brusc și injectorul nu mai pulverizează motorina.

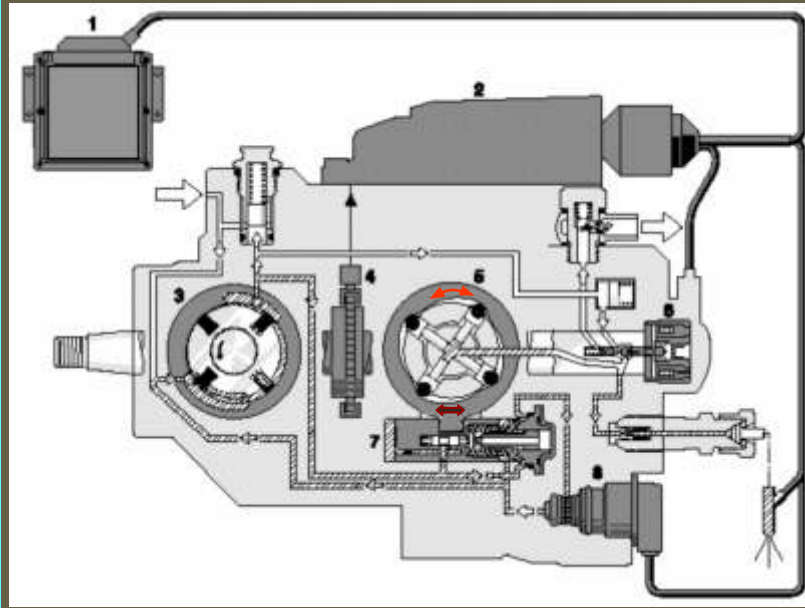


*Dispozitivul de sincronizare cu control electronic.* Sincronizarea injecției (începutul injecției) poate fi de asemenea controlată electronic prin compararea valorii reale cu cea fixată. În acest proces, semnalul de la un sensor ce monitorizează punctul în care se deschide duza injectorului este comparat cu punctul fixat prin programare.



Un electroventil comandat cu impulsuri cu factor de umplere variabil, conectat la camera de acționare a pistonului dispozitivului de sincronizare, variază presiunea exercitată asupra pistonului și prin aceasta poziționarea dispozitivului de sincronizare.

Mișcarea pistonului determină rotirea camei inel și în acest fel se modifică momentul de începere a cursei active a pistonășelor pompei de înaltă presiune (începutul alimentării). Un semnal de la un sensor din injector ce indică începutul injecției este comparat cu specificația corespunzătoare memorată în sistemul electronic de control.



Valoarea factorului de umplere a impulsurilor folosit pentru acționarea electroventilului se modifică până când valorile reală și fixată coincid.

În comparație cu regulatorul mecanic, unitatea electronică de control are următoarele avantaje:

- control îmbunătățit al cantității de motorină injectată (consum, putere, emisii poluante);
- control îmbunătățit al turației motorului (turație de mers în gol scăzută, reglaj pentru aer condiționat, etc.);
- confort sporit (control anti-vibrații, funcționare silențioasă);
- început al injecției mai precis (consum, noxe);
- service îmbunătățit (diagnoză).

Sistemul poate fi folosit împreună și cu o serie de opțiuni, cum ar fi controlul în buclă deschisă sau în buclă închisă al recirculării gazelor de evacuare (EGR), controlul presiunii de supraalimentare (turbo), controlul bujiilor cu incandescență și interconectarea cu alte sisteme electrice ale automobilului.



Se cunoaște faptul că dacă începutul injecției este menținut constant, cu cât motorul se rotește mai repede, cu atât este mai mare unghiul între începutul injecției și al arderii. Aceasta înseamnă că începutul arderii nu mai poate avea loc la momentul de timp corect (raportat la poziția pistonului).

Motorul Diesel asigură cea mai eficientă ardere a sa și furnizează puterea maximă la o poziție specifică a arborelui cotit (sau a pistoanelor). Pe măsură ce turația crește sistemul de control în timp al injecției trebuie să deplaseze în avans momentul de începere al alimentării în raport cu arborele cotit.

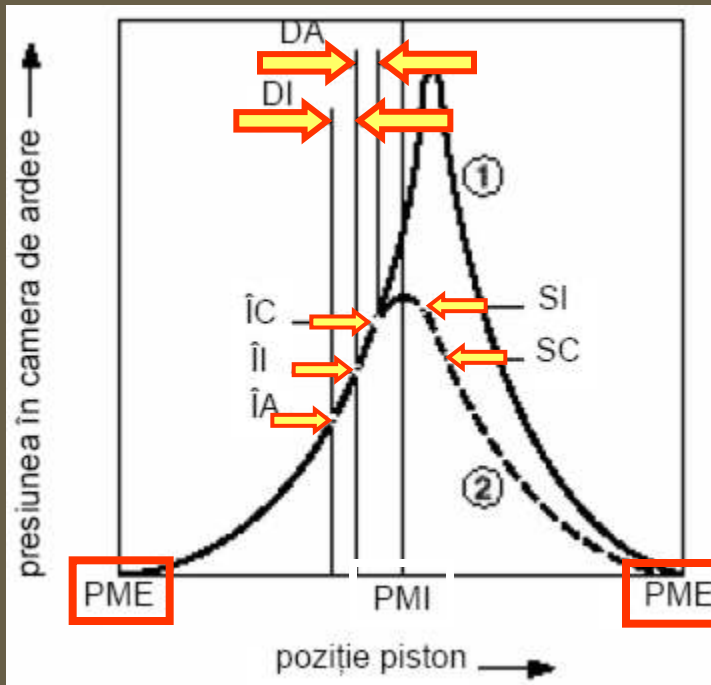
Controlul secvenței de timp pentru injecție (sincronizare) cuprinde un sensor de unghi de rotație, dispozitiv de sincronizare și electroventil al dispozitivului de sincronizare. Prin compensarea timpului de decalaj ce rezultă din întâzierile injecției și arderii, controlul adaptează în mod optim momentul injecției la starea de funcționare a motorului (figura 13.30).



În figurile 13.31 la 13.33 se exemplifică câteva caracteristici, evoluția parametrilor fiind desfășurată pe timpii de funcționare.



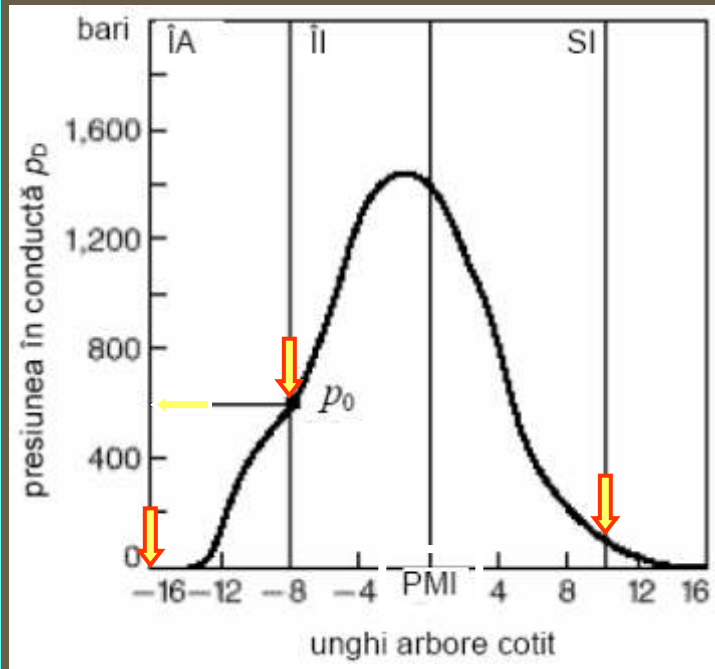
În figura 13.31 se prezintă un timp motor (injecție, ardere și destindere) la sarcină plină și la turații ridicate (la o scară diferită de cea reală).



- **ÎA** – început alimentare
- **ÎI** – început injecție
- **DI** – decalaj injecție
- **ÎC** – început ardere
- **DA** – decalaj aprindere
- **SI** – sfârșit injecție
- **SC** – sfârșit ardere
- **PME** – punct mort exterior
- **PMI** – punct mort interior

Figura 13.31

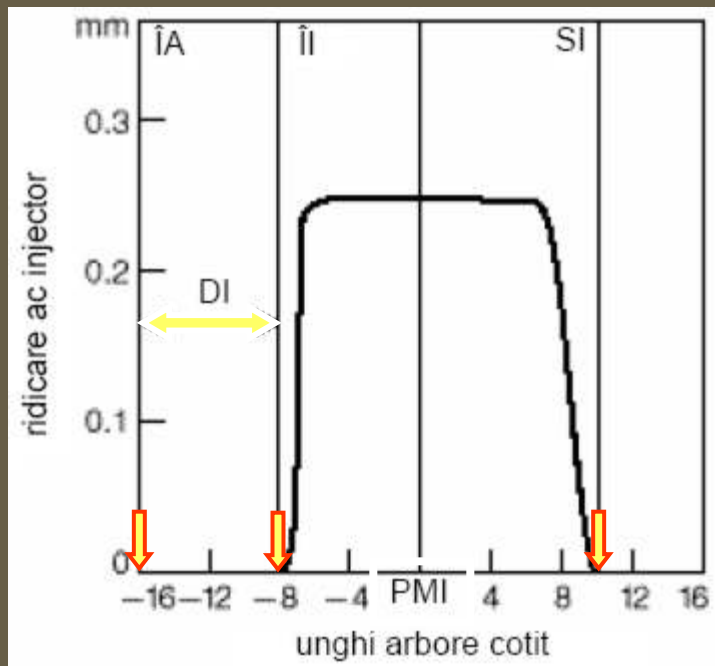
În figura 13.32 se prezintă caracteristica de presiune  $p_D$  în capătul spre injector al conductei, în aceleași condiții.



- **ÎA** – început alimentare
- **ÎI** – început injecție
- **SI** – sfârșit injecție
- **PMI** – punct mort interior
- **$p_0$**  – presiune de deschidere duză

Figura 13.32

În figura 13.33 se poate observa valoarea ridicării acului injectorului, în condiții de funcționare la sarcină plină și la turații ridicate.

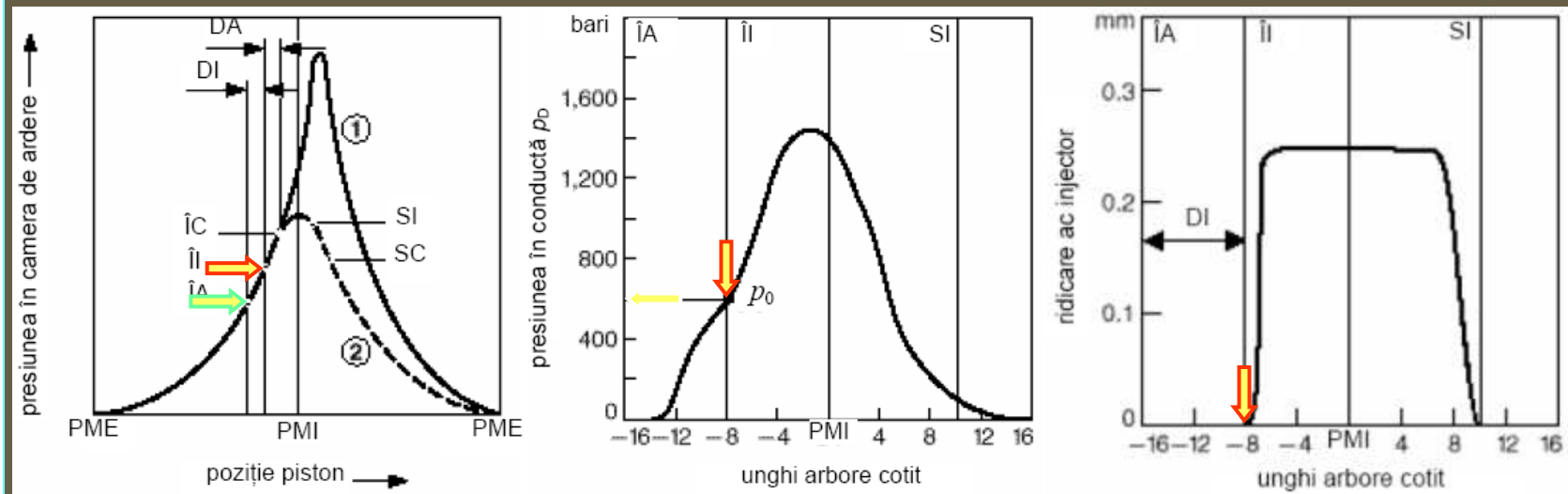


- **ÎA** – început alimentare
- **ÎI** – început injecție
- **DI** – decalaj injecție
- **SI** – sfârșit injecție
- **PMI** – punct mort interior

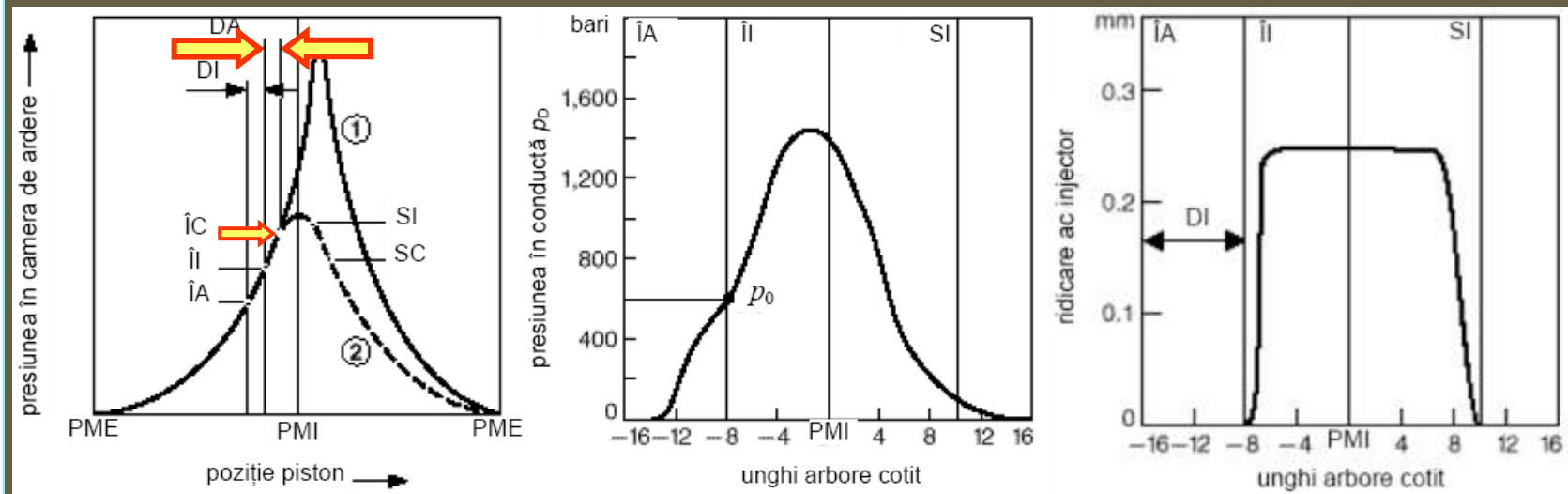
**Figura 13.33**



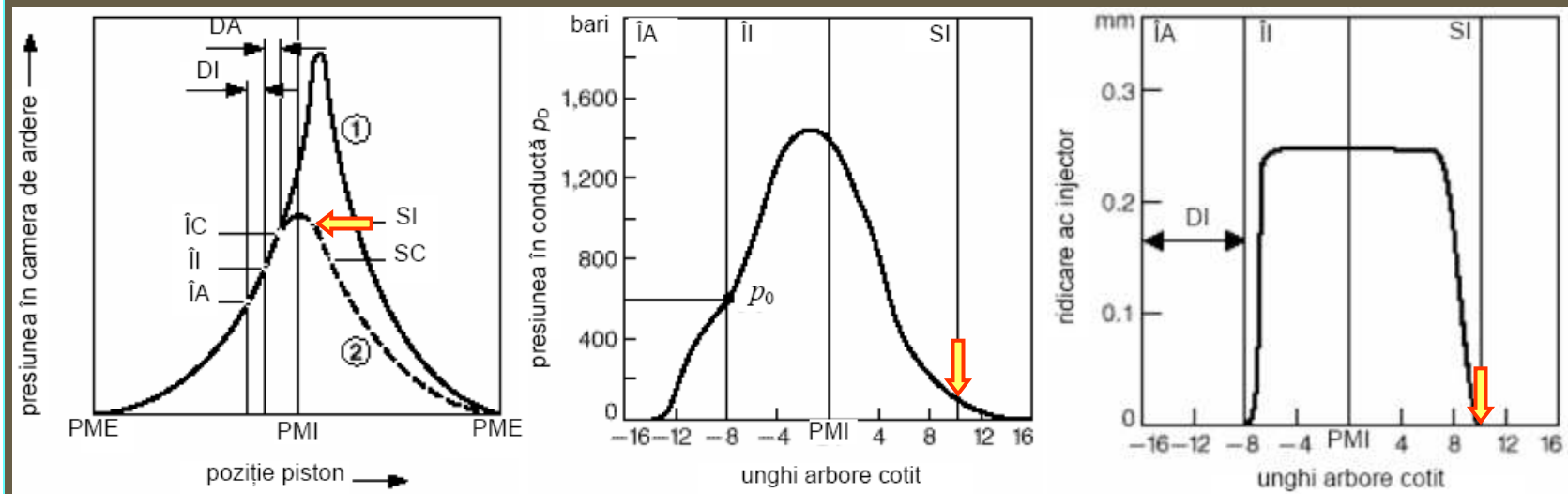
Începutul alimentării (ÎA) se produce după ce electroventilul de înaltă presiune s-a închis. Înalta presiune se dezvoltă în conductele de alimentare de înaltă presiune. Această presiune din conductă pe partea injectorului  $p_D$  (figura 13.32) deschide acul injectorului la atingerea presiunii de deschidere a injectorului și injecția începe (ÎI).



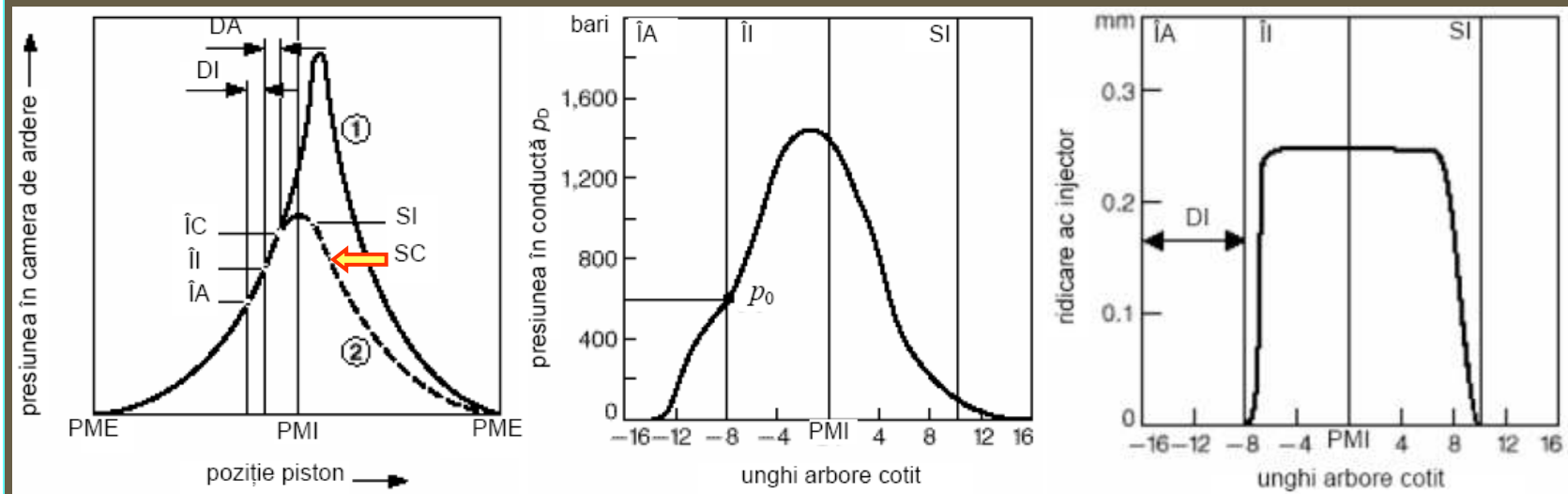
Timpul între începutul alimentării și începutul injecției se numește decalaj al injecției (DI). Arderea începe (ÎC) atunci când presiunea din camera de ardere (figura 13.31) crește peste o anumită valoare. Acest interval între începutul injecției și ardere este cunoscut sub numele de decalaj la aprindere (DA).



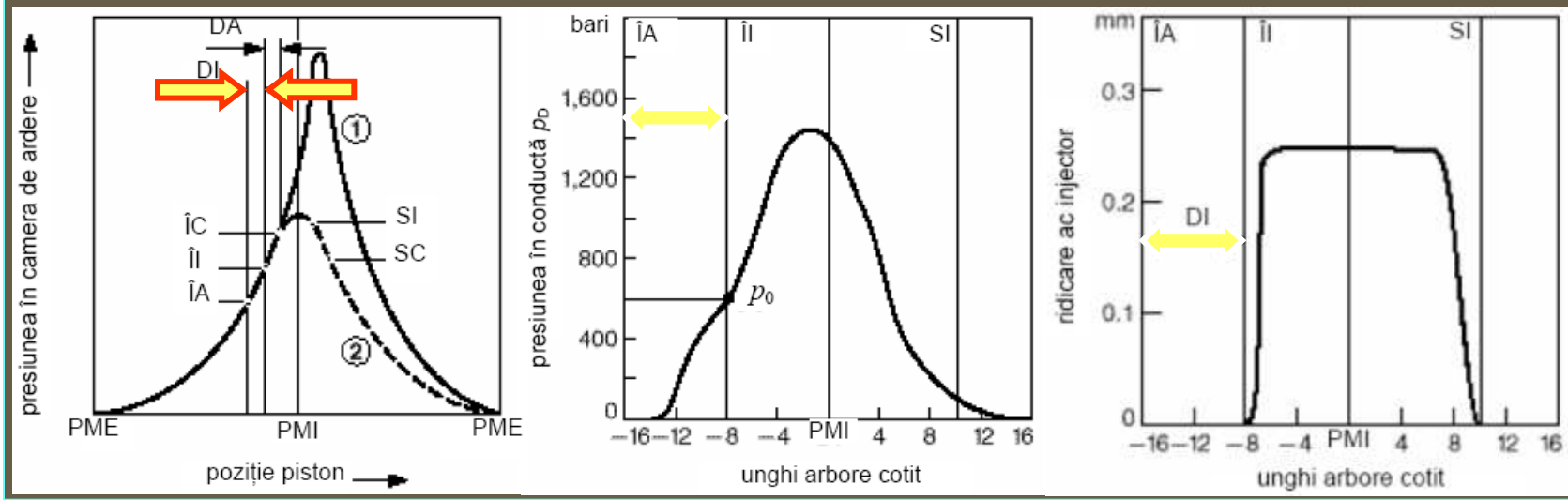
De îndată ce electroventilul de înaltă presiune se deschide din nou, înalta presiune scade brusc (sfârșitul alimentării) și acul închide injectorul (sfârșitul injecției, SI).



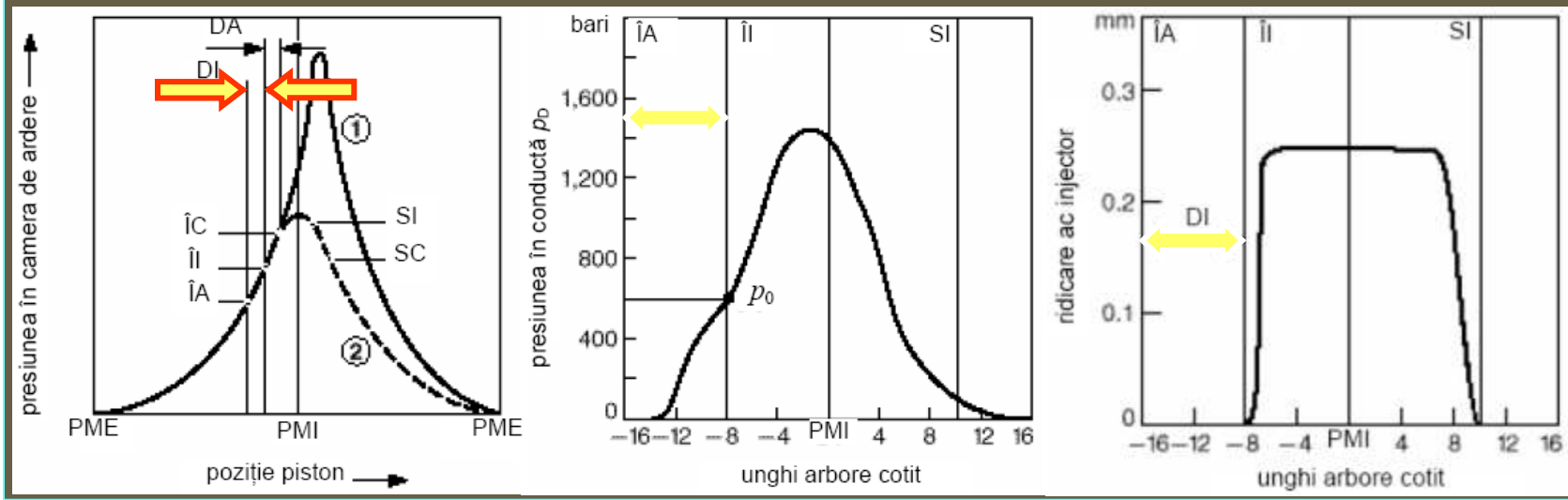
După aceasta urmează sfârșitul arderii (SC). Pe durata procesului de alimentare a pompei de injecție, injectorul este deschis de o undă de presiune ce se propagă cu viteza sunetului prin conducta de alimentare de înaltă presiune. Timpul de propagare a undei este determinat de lungimea conductei și de viteza sunetului în motorină, care este de aproximativ 1500 m/s.



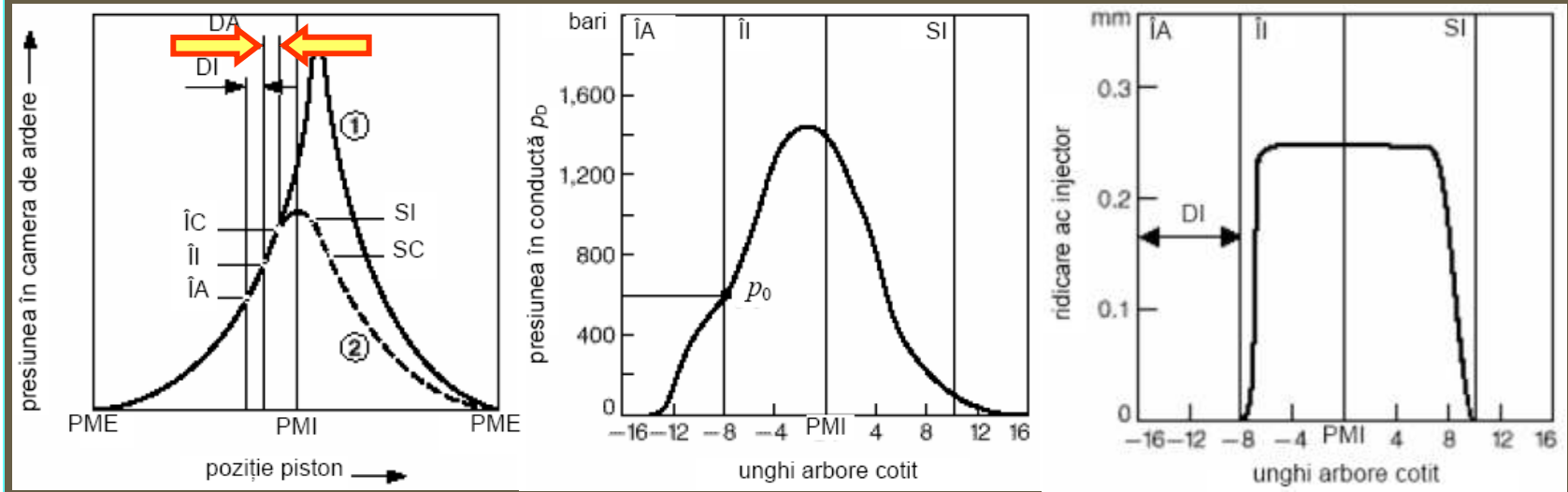
Timpul de propagare reprezintă intervalul între începutul alimentării și începutul injecției și ca urmare este cunoscut sub numele de decalaj al injecției.



În esență, decalajul injecției (ca durată) este independent de turația motorului. Ca urmare, unghiul de rotire a arborelui cotit între începutul alimentării și începutul injecției crește la creșterea turației. Aceasta conduce la deschiderea injectorului din ce în ce mai târziu (raportat la poziția pistonului).



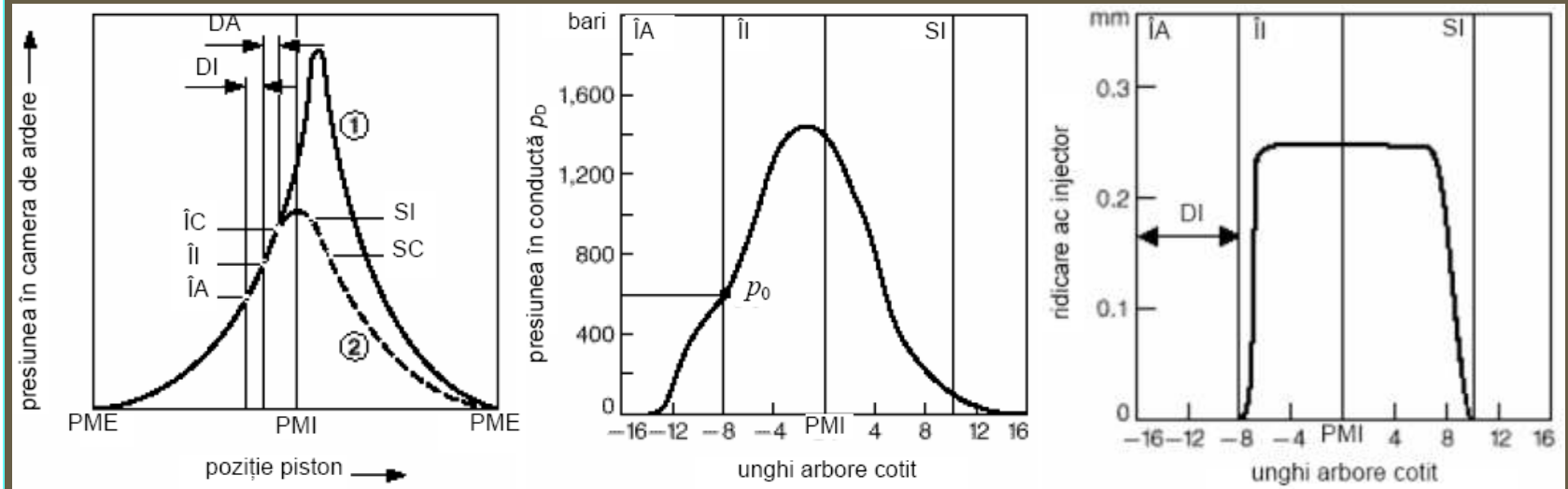
După injecția în cilindru, motorina are nevoie de un anumit timp pentru a se transforma în stare gazoasă și a forma un amestec inflamabil cu aerul. Perioada de timp cerută între începutul injecției și începutul arderii este independentă de turație, iar pentru motorul Diesel se numește decalaj la aprindere.



**Decalajul la aprindere depinde de următorii parametri:**

- calitatea de aprindere a motorinei (precizată cu ajutorul cifrei cetanice);
- temperatura aerului;
- raportul de compresie;
- gadul de pulverizare a motorinei.

**De regulă, decalajul la aprindere durează circa 1 milisecundă.**





## Injecția Diesel cu sistem cu injector unitar / sistem cu pompă unitară

Sistemul cu injector unitar (UIS - *Unit Injector System*) și sistemul cu pompă unitară (UPS - *Unit Pump System*) sunt printre cele mai semnificative inovații în domeniul motoarelor Diesel. Aceste sisteme injectează cu precizie cantitatea de motorină corectă la momentul de timp oportun. Rezultă o ardere mai eficientă față de sistemele de injecție convenționale. În acest mod se obține o putere de ieșire mai mare, consum de motorină mai mic și nivele mai reduse de zgomot și de noxe în gazele de evacuare.



## Principiul de funcționare

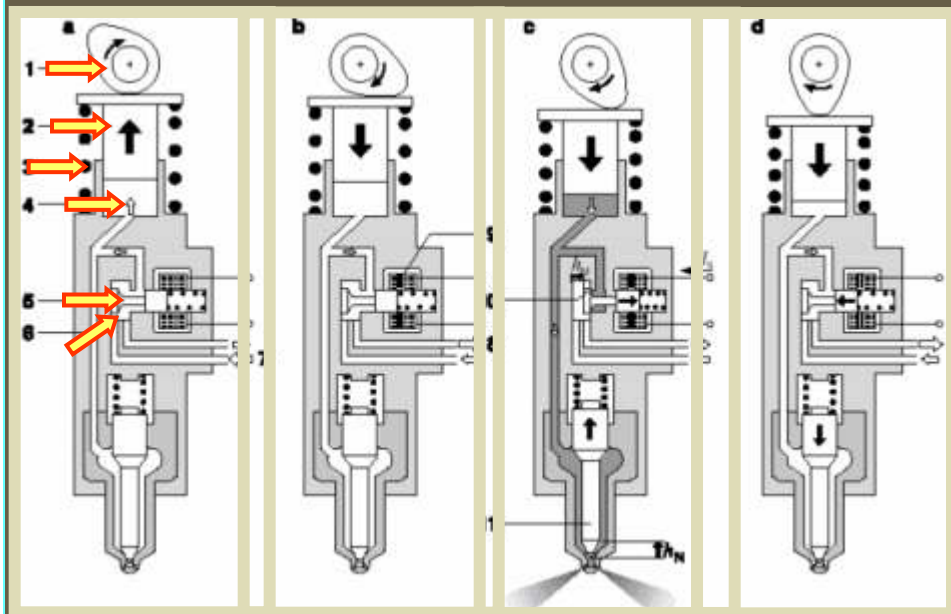
În figura 13.34 se prezintă funcționarea mecanică a injectorului unitar, iar în figura 13.35 sunt indicate evoluția în timp a diferiților parametri caracteristici.

Funcționarea acestui sistem pompă de injecție pentru un anumit cilindru poate fi împărțită în patru stări distincte.



*a - cursa de aspirație*  
*b - cursa inițială*

*c - cursa alimentare și injecție*  
*d - cursa reziduală*

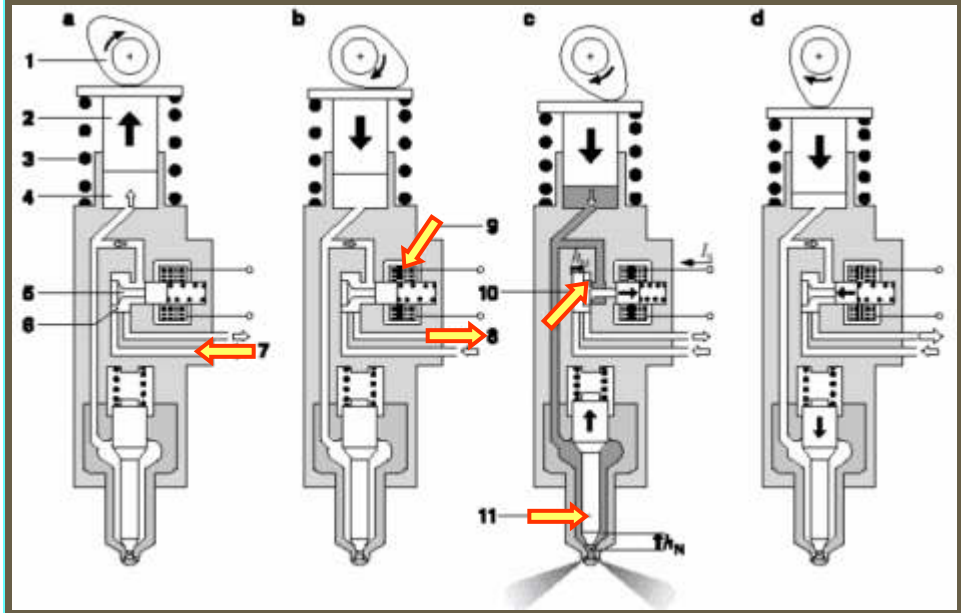


- 1 – camă de acționare
- 2 – piston pompă
- 3 – arc de antrenare
- 4 – cameră de înaltă presiune
- 5 – ac electroventil
- 6 – cameră electroventil

**Figura 13.34**

*a - cursa de aspirație*  
*b - cursa inițială*

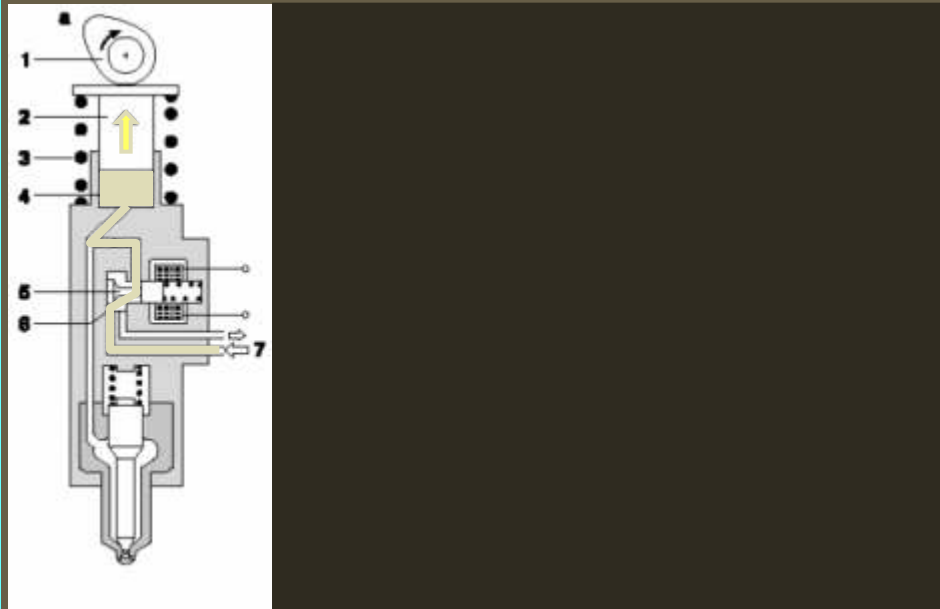
*c - cursa alimentare și injecție*  
*d - cursa reziduală*



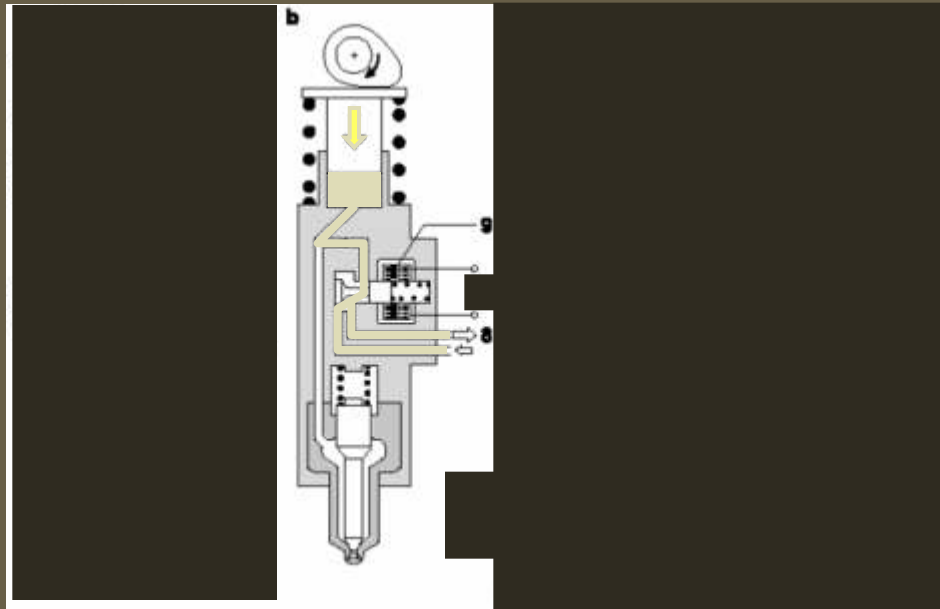
- 7 – conductă de admisie
- 8 – conductă retur
- 9 – bobină
- 10 – scaun electroventil
- 11 – ac injector

Figura 13.34

*Cursa de aspirație (a).* Arcul de antrenare (3) forțează pistonul pompei (2) în sus. Motorina din etajul de alimentare de joasă presiune este în permanență sub presiune și curge din circuitul de joasă presiune în camera electroventilului (6) prin orificii în blocul motor și conducta de admisie (7).

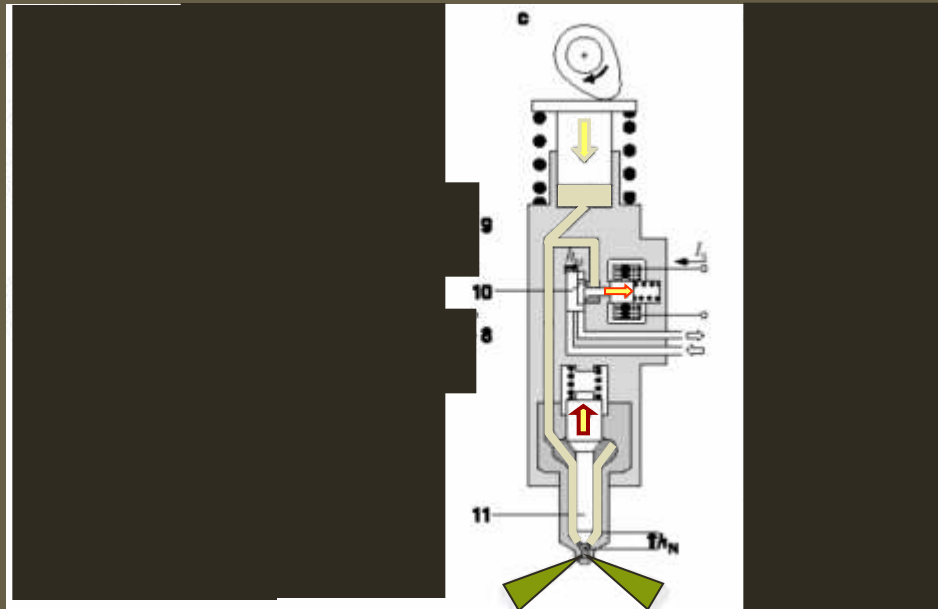


*Cursa de aspirație (a).* Arcul de antrenare (3) forțează pistonul pompei (2) în sus. Motorina din etajul de alimentare de joasă presiune este în permanență sub presiune și curge din circuitul de joasă presiune în camera electroventilului (6) prin orificii în blocul motor și conducta de admisie (7).



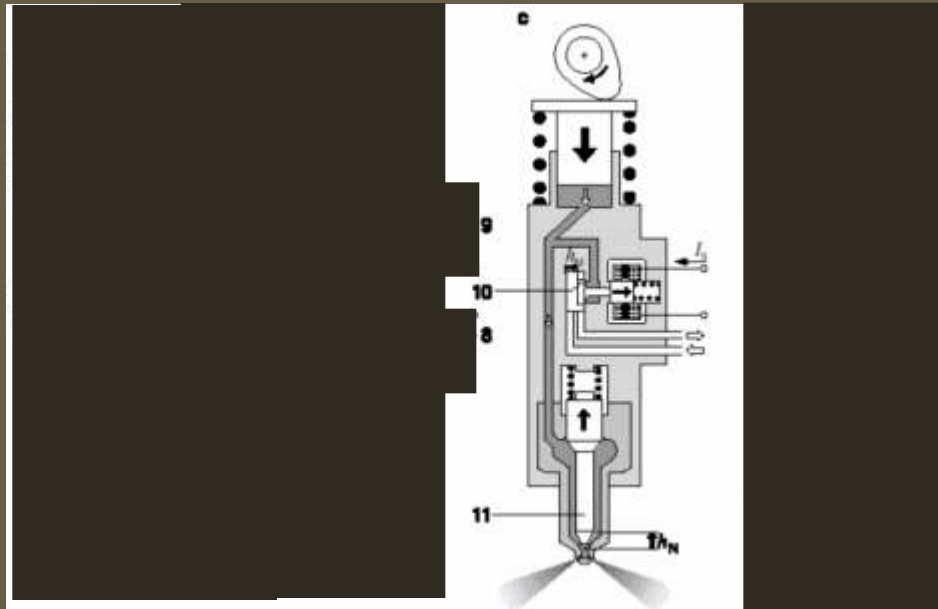
*Cursa inițială (b).* Cama de acționare (1) continuă să se rotească și forțează pistonul pompei în jos. Electroventilul este deschis, astfel încât pistonul pompei poate forța motorina înapoi în circuitul de joasă presiune prin conducta de retur.

*Cursa de alimentare și injecția de motorină (c).* La un moment de timp dat, unitatea electronică de control (ECU) dă un semnal de activare a bobinei electroventilului (9), astfel încât acul electroventilului este antrenat în scaunul său (10) și blochează legătura între camera de înaltă presiune și circuitul de joasă presiune.



Acest moment de timp este denumit "începutul electric al injecției" sau "începutul perioadei de injecție" (BIP - *Begin of injection period*). Închiderea acului electroventilului provoacă o modificare a curentului prin bobină.

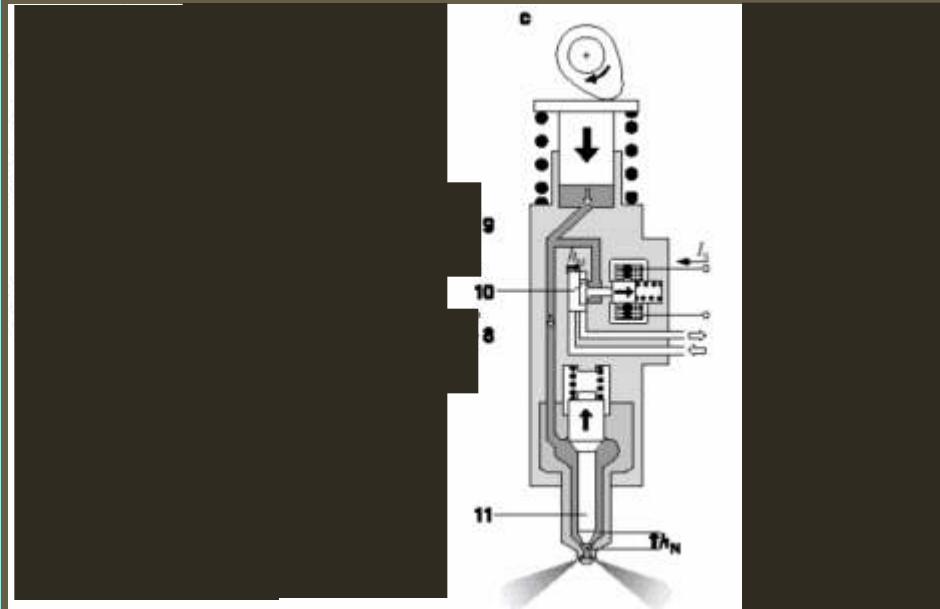
Acest lucru este recunoscut (deteție BIP) de unitatea electronică de control (ECU) ca fiind adevăratul început al injecției și este luat în considerare pentru următorul proces de injecție. Mișcarea în continuare a pistonului pompei provoacă creșterea presiunii în camera de presiune ridicată, astfel că presiunea din duza de injecție crește de asemenea.



La atingerea presiunii de deschidere de aproximativ 300 bari, acul injectorului (11) este ridicat de pe scaunul său și motorina este pulverizată în camera de ardere a motorului (acesta este așa-numitul "început adevărat al injecției").



Datorită vitezei mari de deplasare a pistonului pompei, presiunea continuă să crească pe durata întregului proces de injecție. Înalta presiune în acest sistem atinge valori de 2000 bari.

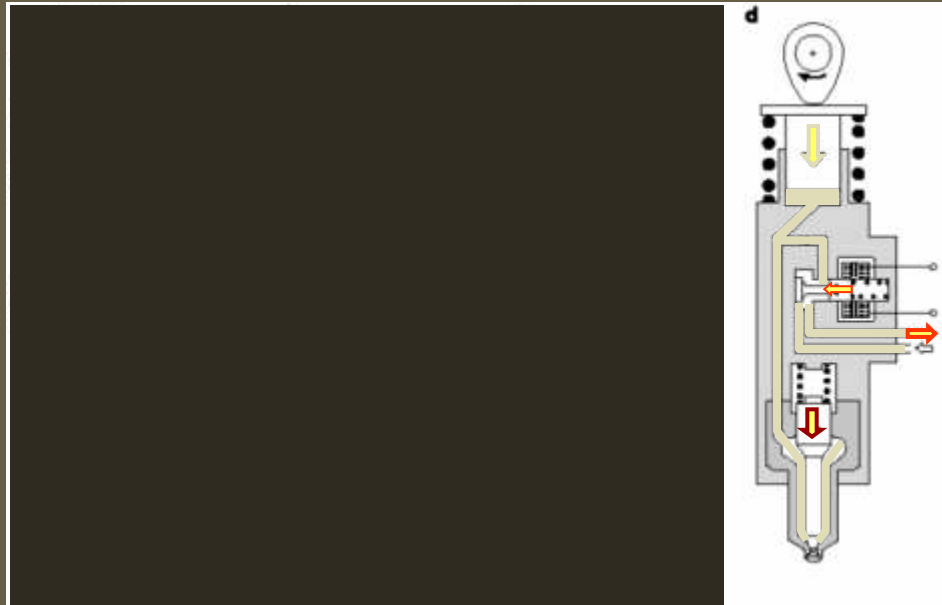


Datorită vitezei mari de deplasare a pistonului pompei, presiunea continuă să crească pe durata întregului proces de injecție. Înalta presiune în acest sistem atinge valori de 2000 bari.



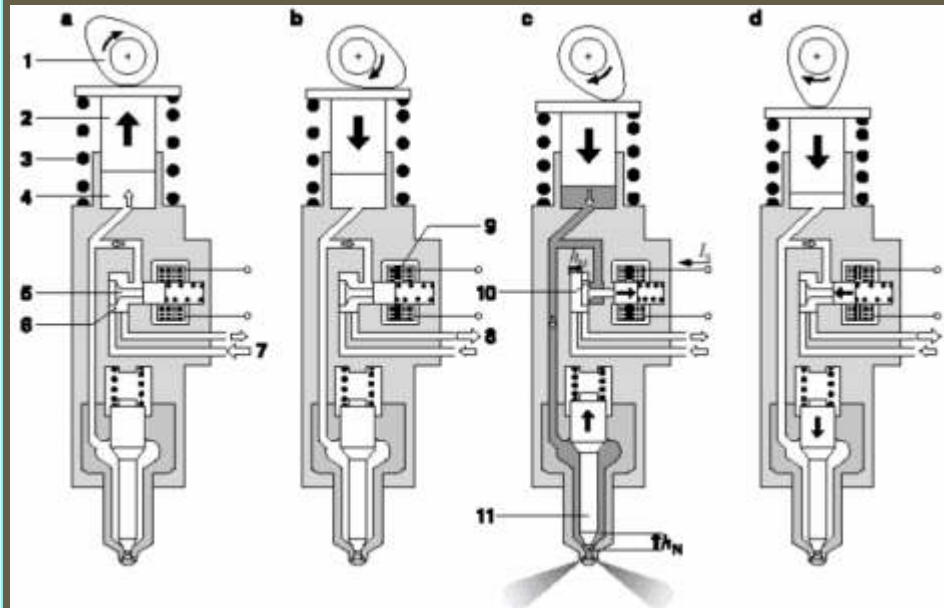
*Cursa reziduală (d)*. De îndată ce se deconectează alimentarea bobinei electroventilului, electroventilul se deschide după o mică întârziere și restabilește legătura între camera de înaltă presiune și circuitul de joasă presiune.

Valoarea de vârf a presiunii de injecție se atinge pe timpul fazei de tranziție de la cursa de alimentare la cursa reziduală. De îndată ce electroventilul se deschide, presiunea scade brusc. Când valoarea scade sub presiunea de închidere a acului injectorului, acul se așează din nou pe scaun și procesul de injecție se termină.



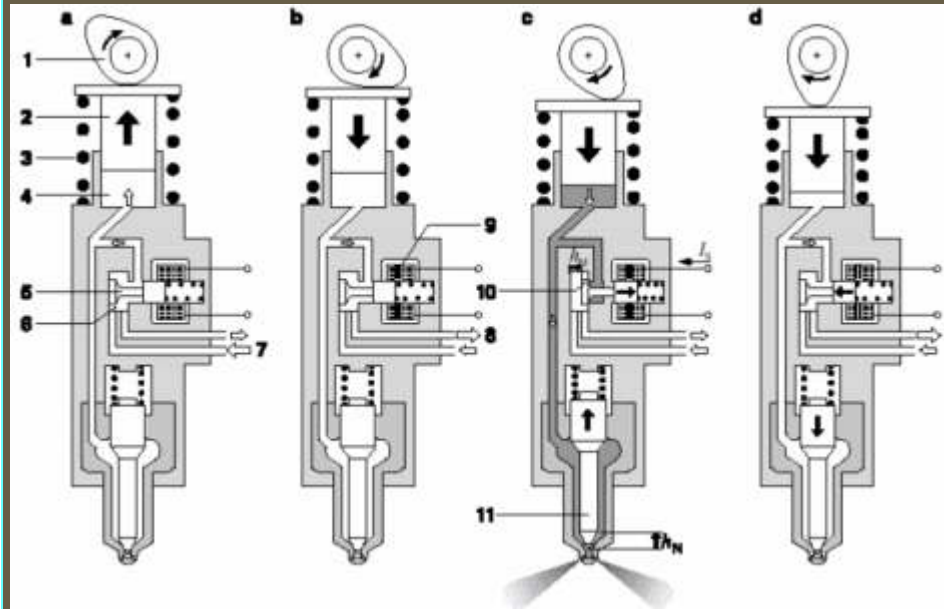
Motorina rămasă este forțată de elementul de pompare înapoi în circuitul de joasă presiune prin conducta de retur, până în momentul în care cama atinge punctul său de vârf.

Aceste sisteme de injecție pe cilindri individuali sunt sigure în funcționare în mod natural. Cu alte cuvinte, în eventualitatea puțin probabilă a unei defecțiuni, tot ceea ce se poate întâmpla este o (singură) injecție necontrolată a motorinei.



De exemplu, dacă electroventilul rămâne deschis, nu are loc nici o injecție, întrucât motorina curge înapoi în circuitul de joasă presiune și este imposibil să se crească presiunea.

Cum camera de înaltă presiune poate fi umplută numai prin intermediul electroventilului, atunci când acesta rămâne închis, motorina nu mai poate intra în camera de înaltă presiune. În acest caz poate avea loc cel mult o singură injecție. Injectorul unitar este instalat în chiulasă și este deci expus unor temperaturi foarte ridicate.



Pentru a menține temperatura sa la o valoare cât mai mică posibil, injectorul este răcit de motorina ce curge înapoi în circuitul de joasă presiune. Pentru a păstra diferențele de temperaturi motorinei la o valoare minimă se aplică măsuri speciale la admisia motorinei în injector.

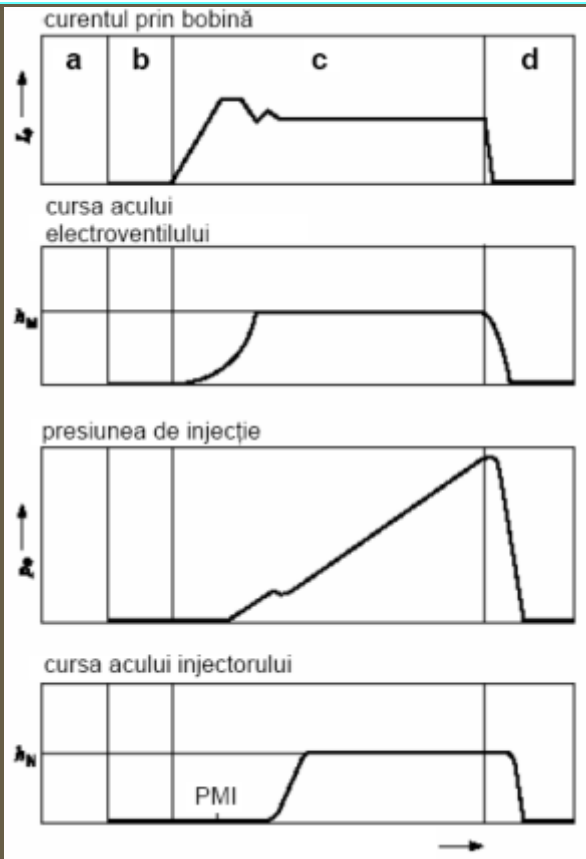
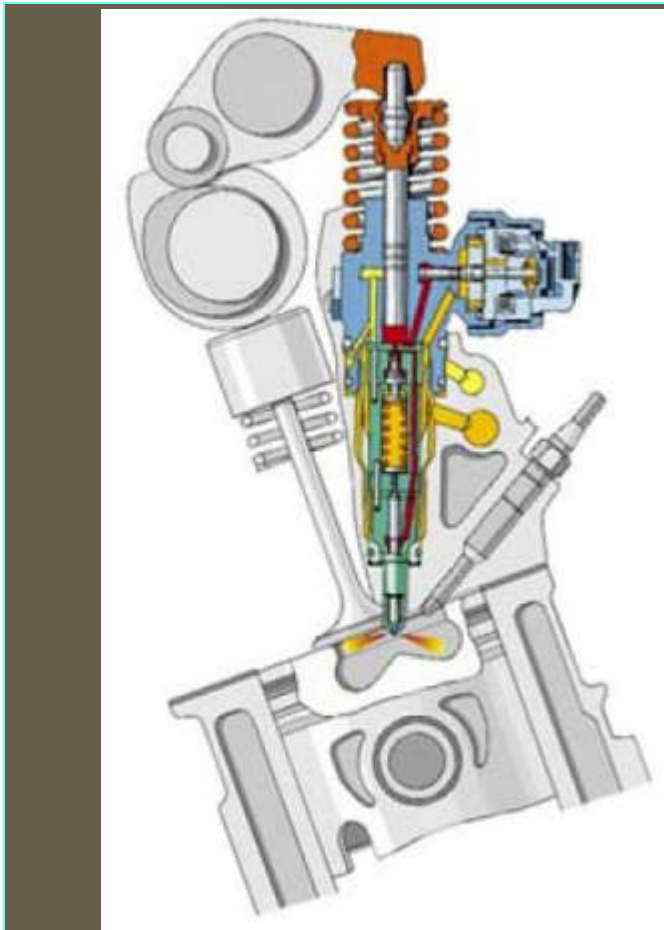
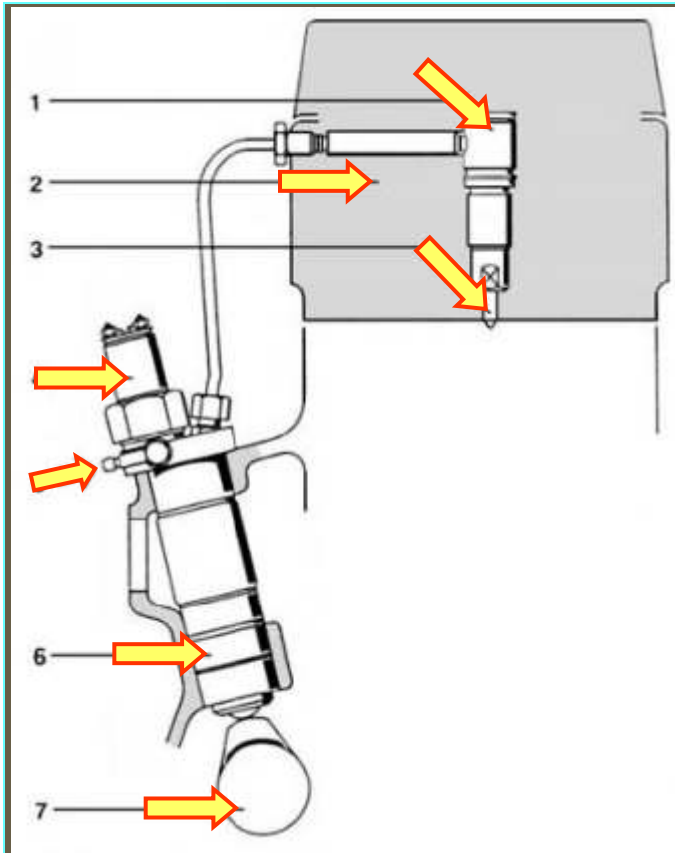


Figura 13.35



Din figura 13.36 rezultă modul de realizare a sistemelor de injecție cu pompă unitară.

- 1 – injector
- 2 – chiluasă
- 3 – duză
- 4 – electroventil
- 5 – intrare motorină
- 6 – pompă (unitară)
- 7 – arbore cu came

Figura 13.36

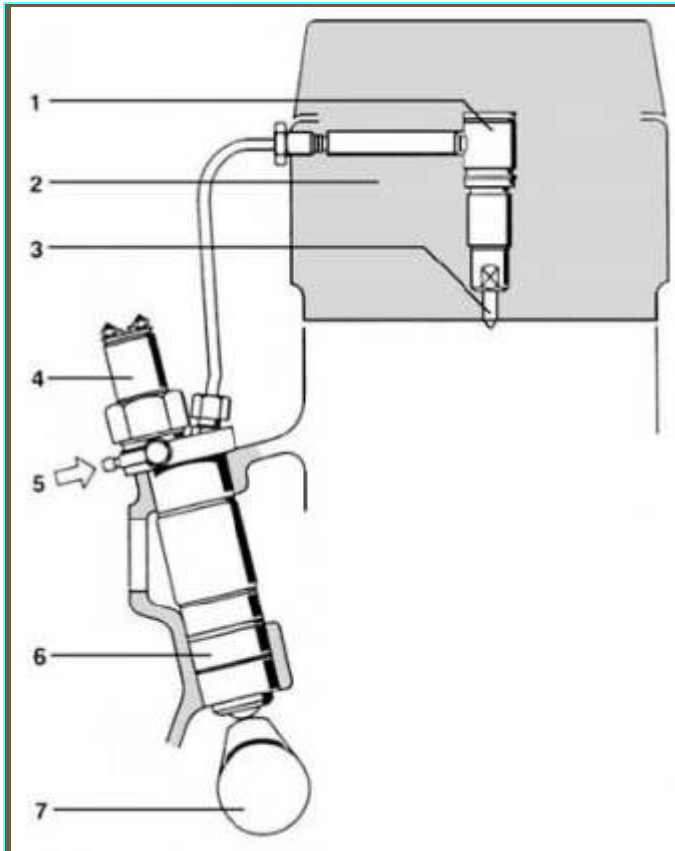


Figura 13.36

În esență acest sistem se aseamănă foarte mult cu sistemul prezentat anterior, numai că s-a separat partea de pompă (care păstrează electroventilul de control de înaltă presiune) de partea de injector.

Cele două părți rezultate astfel sunt conectate între ele cu o conductă de înaltă presiune.



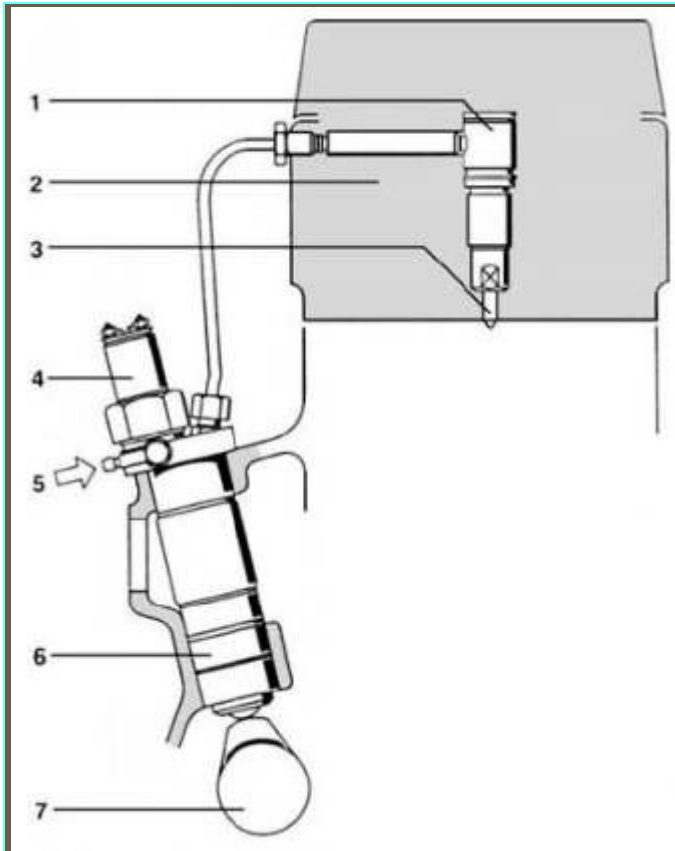


Figura 13.36

Avantajul ar fi că se poate utiliza un arbore cu came de antrenare a pompelor individuale plasat mai avantajos decât în zona chiulasei motorului care este oricum "aglomerată" cu alte mecanisme sau organe (axe cu came, culbutori, tije de supapă, bujii de preîncălzire, injectoare).

Principiul de funcționare este identic, cu observația că motorina (la înaltă presiune) injectată parcurge un traseu mai lung, prin conducta de înaltă presiune dintre pompa individuală și injector.