

# E lectronică pentru A utomobile

## Prelegerea nr. 13

### SISTEME ELECTRONICE PENTRU MOTOARE DIESEL Partea I

---



## MOTORUL DIESEL

Motorul Diesel este un motor cu piston cu formarea internă a amestecului (și ca urmare eterogenă) și autoaprindere. Pe durata timpului compresie, aerul admis este comprimat la 30 ... 35 bari. Drept consecință, temperatura crește la 700 ... 900 °C. Această temperatură este suficientă pentru a provoca autoaprinderea motorinei care este injectată în cilindri cu puțin timp înainte de sfârșitul timpului compresie și foarte aproape de punctul mort interior.

Arderea ce urmează, utilizarea aerului indus în combustie și ca urmare presiunea medie efectivă ce se poate obține depind în mare măsură de formarea amestecului în procese eterogene.

În figura 13.1 se prezintă cei patru timpi de funcționare pentru motorul Diesel.



1 - admisie  
(aer)

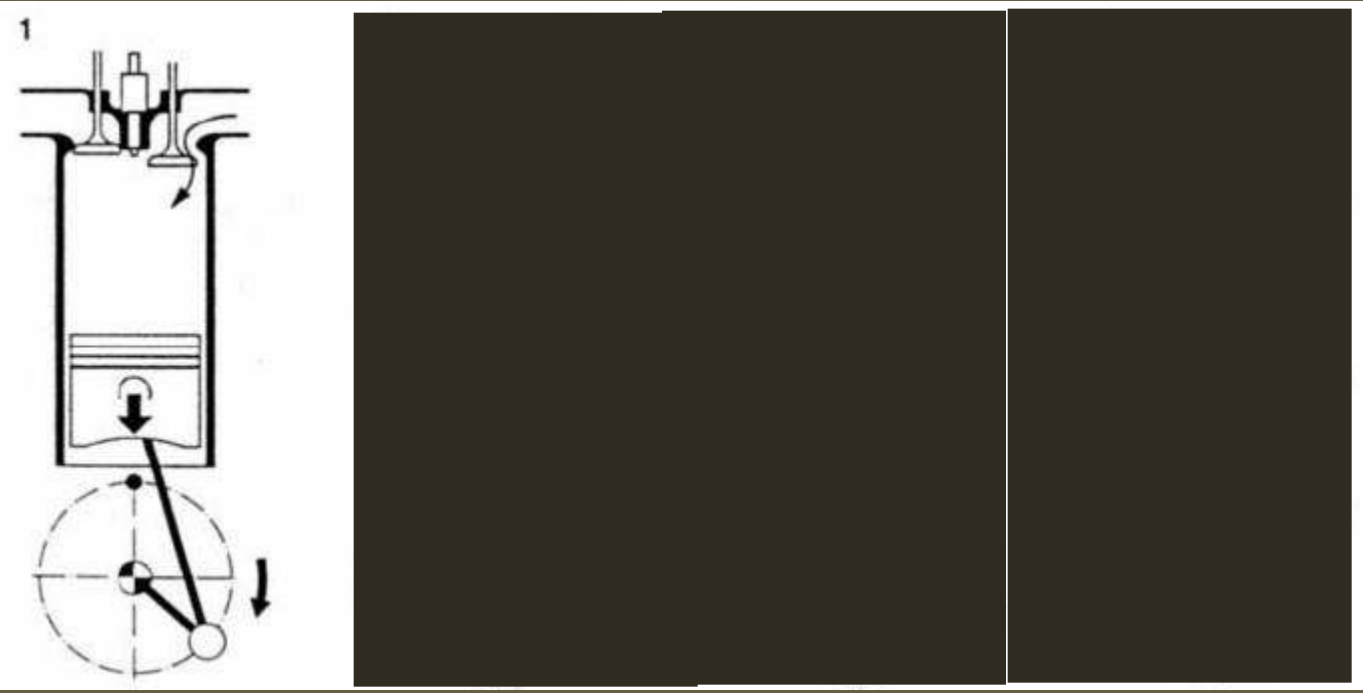


Figura 13.1

1 - admisie  
(aer)

2 - compresie

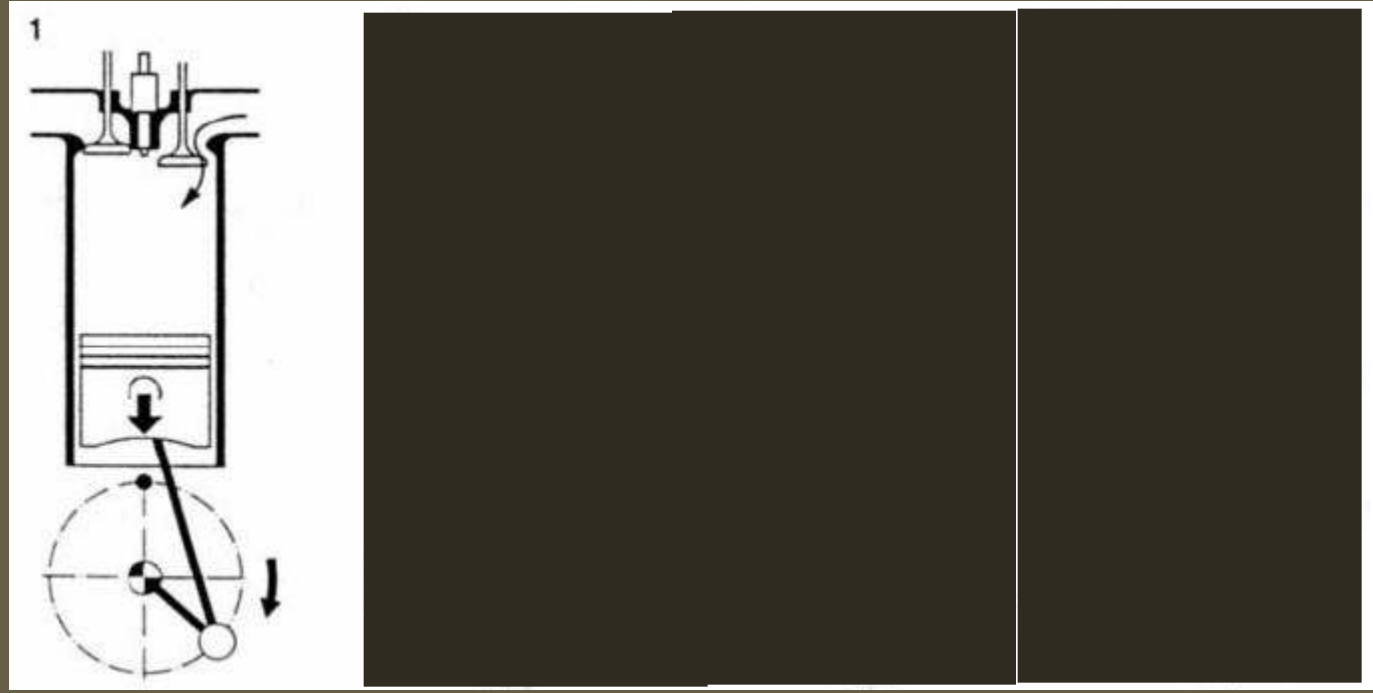


Figura 13.1

1 - admisie  
(aer)

2 - compresie

3 - injecție,  
ardere și  
detentă

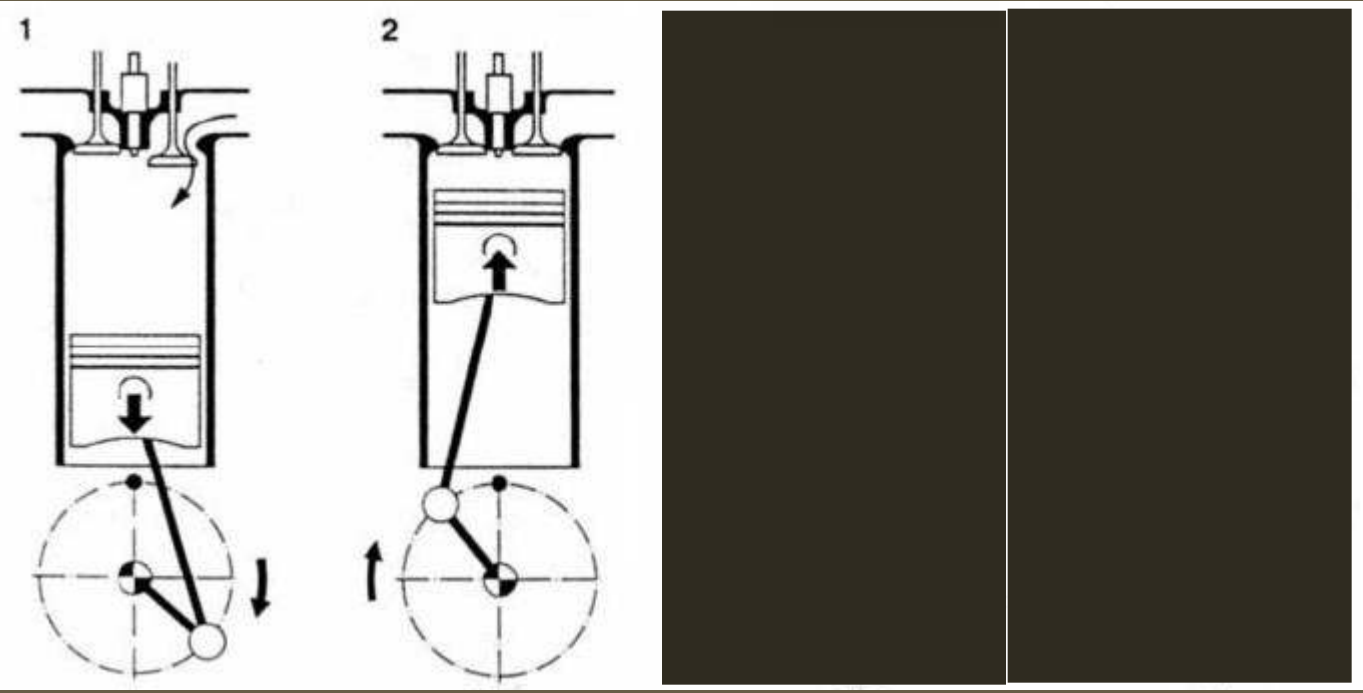


Figura 13.1

1 - admisie  
(aer)

2 - compresie

3 - injecție,  
ardere și  
detentă

4 - evacuare

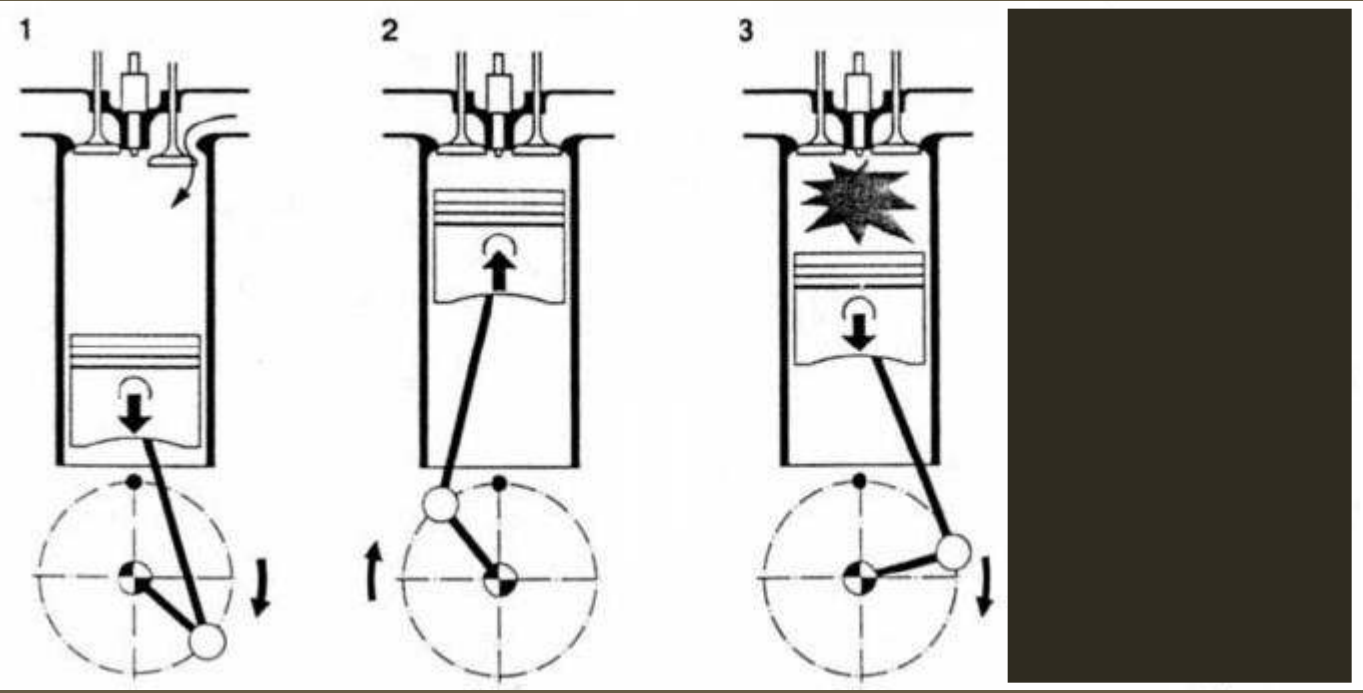


Figura 13.1

## Formarea amestecului

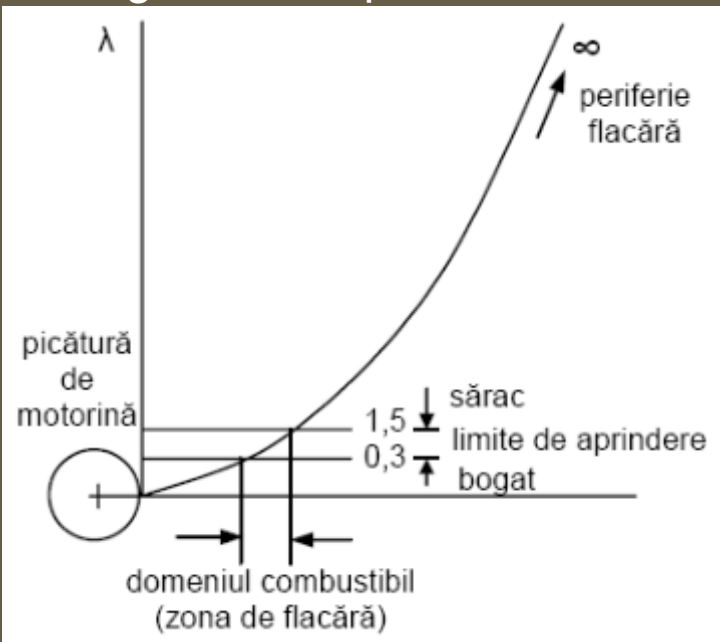
În amestecuri eterogene, coeficientul excesului de aer  $\lambda$  se întinde de la aer pur ( $\lambda = \infty$ ) în zona de margine a pulverizării, până la motorină pură ( $\lambda = 0$ ), în mijlocul pulverizării.

În figura 13.2 se prezintă distribuția coeficientului  $\lambda$  cu zona de flacără asociată, pentru o singură picătură în repaus.





Întrucât această zonă apare în principiu pentru fiecare picătură din amestecul injectat, controlul sarcinii se poate realiza prin intermediul cantității de motorină introduse în procesul de formare a amestecului eterogen. Acest procedeu se numește controlul calității amestecului.



Ca și în cazul amestecurilor omogene, arderea se produce într-un domeniu relativ restrâns de  $0,3 < \lambda < 1,5$ .

Transportul de masă necesară pentru formarea acestor amestecuri combustibile se realizează prin intermediul difuziei și turbulenței și este asigurat de energia surselor de formare a amestecului, așa cum se va descrie în continuare.

Figura 13.2



*Energia cinetică a motorinei pulverizate.* Energia cinetică a motorinei pulverizate este o funcție de căderea de presiune la nivelul duzei. Aceasta, împreună cu conul de pulverizare determinat de geometria duzei, plus viteza rezultantă a motorinei, determină aria de interacțiune aer-carburant și domeniul de dimensiuni ale picăturilor în acest spațiu.

Energia de pulverizare este influențată de rata de furnizare a pompei de injecție și de secțiunea transversală a duzei injectorului.

***Energia termică.*** Energia termică generată de pereții camerei de ardere și de aerul comprimat provoacă vaporizarea motorinei injectate (atât sub formă de picături cât și sub formă de peliculă).

*Forma camerei de ardere.* Forma camerei de ardere, în corelație cu mișcarea pistonului, poate fi folosită pentru a genera turbulență.



*Mișcarea ordonată a aerului (acțiunea turbionară).* Pentru aerul folosit pentru ardere în camera de ardere se impune o mișcare sub forma unui curent rotativ. Aceasta asigură o curgere favorabilă a aerului și a curentului de motorină și îndepărtează gazele arse din curent dacă direcția curentului de motorină este aproximativ perpendiculară pe direcția turbionului de aer și dacă picăturile de motorină sunt în curs de vaporizare.

În cazul vaporizării peliculei de pe pereți, mișcarea turbionară a aerului îndepărtează stratul vaporizat de pe pereți și induce separarea termică a gazelor arse de cele proaspete. Microturbulențele suprapuse peste curentul rotativ provoacă amestecul rapid al motorinei și aerului.

Mișcarea globală de tip curent rotativ a aerului este generată fie cu ajutorul formei speciale a porții de admisie, fie prin transferul unei părți a încărcăturii din cilindru într-o cameră turbionară (printr-o conductă plasată tangențial).



***Arderea parțială într-o cameră turbionară.*** Arderea parțială a motorinei într-o cameră turbionară crește presiunea în această cameră peste cea din camera de ardere principală, prin aceasta forțându-se trecerea în camera de ardere principală, prin una sau mai multe canalizații de conectare, a gazelor de ardere parțial oxidate și a vaporilor de motorină, unde sunt amestecate în întregime cu aerul pentru ardere rămas.

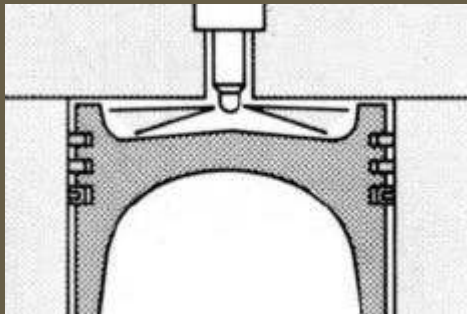
Procesul de ardere Diesel face apel la cel puțin una din aceste metode de formare a amestecului (dar în mod obișnuit se folosește o combinație de metode corespunzătoare).



## Injecția directă

Acest termen identifică toate procesele în care camera de ardere nu este divizată.

*Procesul de injecție liniștită.* Acest proces folosește o cameră de ardere sub formă de degajare (cavitate) largă în piston. În centrul degajării este plasată duza unui injector cu 6 la 8 orificii.



Procesul folosește în primul rând energia motorinei injectate și nu face apel la mișcarea turbionară a aerului. Se aplică cel mai adesea la motoarele Diesel de capacități mari și de turații scăzute ce funcționează cu valoare mare a excesului de aer.

Figura 13.3 a

**Procesul de ardere cu duze cu orificii multiple.** Acest proces face apel la o degajare semnificativ mai mare în piston. Central, în raport cu degajarea, este plasat o duză de injector cu 3 - 4 orificii. Acest tip de proces este folosit azi în majoritatea motoarelor de camion, întrucât se îmbunătățește utilizarea aerului și crește viteza de formare a amestecului prin folosirea acțiunii turbionare a aerului din pasajul de admisie la energia generată prin injecție.

Intensitatea acțiunii turbionare se alege astfel încât în virtutea aerului turbionar, ce acționează perpendicular pe direcția injecției, amestecul aer-motorină format în jurul motorinei pulverizate prin injecție prin fiecare orificiu al duzei umple segmentul din camera de ardere între amestecul generat și amestecul format de orificiul alăturat al duzei.

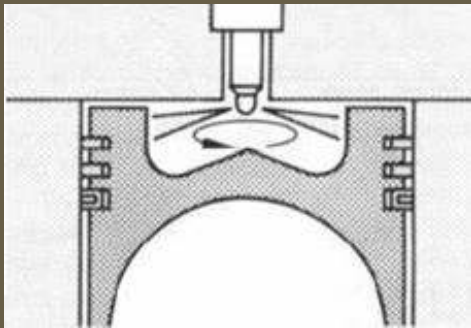


Figura 13.3 b

Dacă amestecul aer-motorină nu reușește să umple în totalitate segmentul corespunzător din camera de ardere, nu se folosește în întregime nici aerul, nici puterea de ieșire.

Pe de altă parte, dacă apare o suprapunere și amestecul aer-motorină acoperă mai mult decât spațiul între jeturile individuale, apare o concentrare locală excesivă a motorinei, ceea ce conduce la deficit de aer și la formarea de funingine.

Atât procesul de injecție liniștită cât și procesul cu duze cu orificii multiple sunt sisteme de ardere cu motorină distribuită în aer.

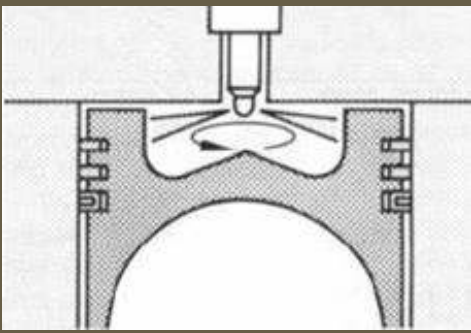
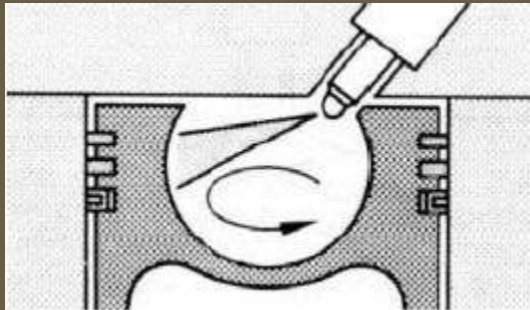


Figura 13.3 b



*Sistemul M.* Sistemul M (MAN) de ardere distribuită pe pereți, în care motorina se aplică pe pereții camerei de ardere, folosește pentru formarea amestecului căldura generată la nivelul pereților camerei de ardere și acțiunea turbionară a aerului, în completarea energiei de injecție.

Un injector cu un singur orificiu, plasat excentric în raport cu degajarea de dimensiuni reduse din piston, pulverizează motorina în direcția pereților camerei de ardere și în interiorul turbulenței.



Motorina formează o peliculă ce se evaporă și se amestecă foarte intens cu aerul în mișcare turbionară din camera de ardere.

Acest proces asigură o bună utilizare a aerului și este caracterizat de valori reduse pentru fumul din evacuare.

Figura 13.3 c



## Sisteme cu cameră de ardere divizată

Sistemele cu cameră de ardere divizată sunt potrivite în special pentru motoarele Diesel de capacități mici și turații mari. Ele se folosesc în mod obișnuit pentru autoturisme. În acest caz sunt impuse cerințe stringente în privința vitezei de formare a amestecului și utilizarea aerului (valoare  $\lambda$  acceptabilă).

Pe de altă parte, trebuie evitate echipamente de injecție scumpe, care să genereze energie de injecție ridicată. În plus, în acest caz nu se pot folosi pasaje de intrare de tip cu turbulență, din rațiuni privind o bună eficiență volumetrică.

Pentru a realiza emisii de  $\text{NO}_x$  și HC foarte scăzute, metoda cu cameră dublă combină amestecuri bogate din antecameră, cu încărcări relativ sărace din camera de ardere principală. În figura 13.4 se prezintă configurațiile sistemelor cu cameră de ardere divizată.



*Sistemul cu cameră turbionară.* Acest proces este caracterizat de o cameră auxiliară aproape sferică ce reprezintă aproximativ 50% din volumul total de compresie. Camera auxiliară comunică cu camera de ardere principală prin intermediul unei zone înguste care se deschide tangențial în camera principală și este orientată spre centrul pistonului.

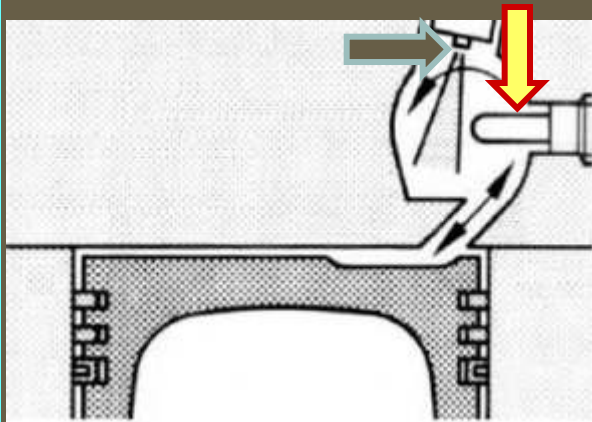


Figura 13.4 a

Duza injectorului și bujia de preîncălzire (pentru ajutor la pornire) sunt plasate în camera auxiliară.

Pe durata timpului compresie se generează un turbion puternic de aer, ceea ce determină pulverizarea motorinei în mod excentric spre pereții camerei și în direcția aerului turbionar, într-o manieră asemănătoare cu cea de la sistemul M.

Pentru a asigura calitatea procesului de ardere sunt vitale poziția duzei injectorului, a bujiilor de preîncălzire și proiectarea camerei turbionare (care poate îngloba unele caracteristici, cum ar fi suprafețe auxiliare de evaporare ale amestecului în punctul în care jetul pulverizat de injector atinge pereții camerei).

Printr-o proiectare corectă, procesul poate combina turațiile ridicate ale motorului - ce pot depăși 5000 rot/min - cu o bună utilizare a aerului și emisii de particule extern de limitate.

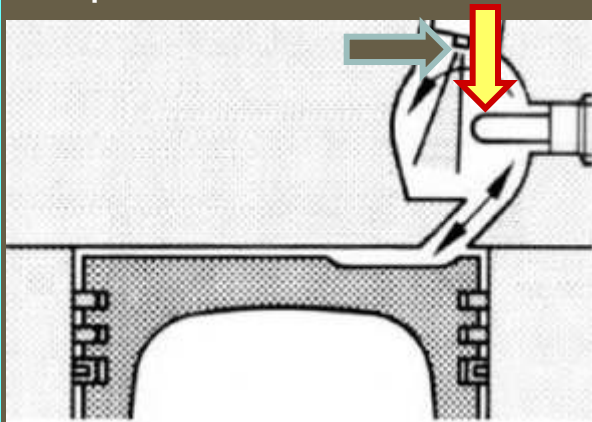
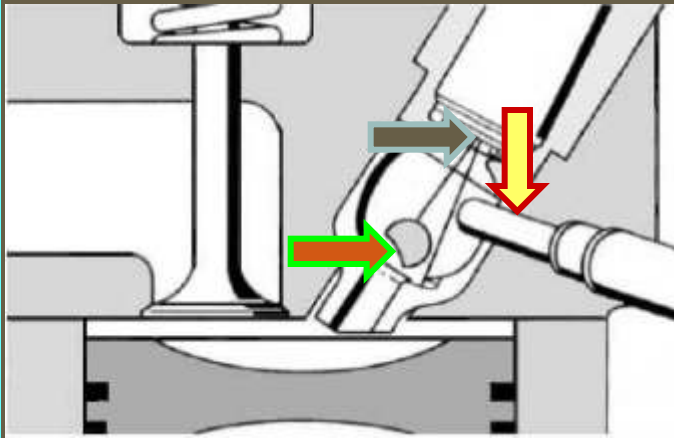


Figura 13.4 a

**Sistemul cu antecameră.** Sistemul cu antecameră este caracterizat de o cameră auxiliară plasată central în raport cu camera de ardere principală, având 25 - 35% din volumul de compresie.

Și în acest caz duza injectorului și bujia de preîncălzire sunt plasate în antecameră. Aceasta comunică cu camera de ardere principală prin câteva orificii, pentru a permite gazelor de ardere să interacționeze cât mai mult posibil cu aerul din camera de ardere principală.



Un concept optimizat de antecameră folosește o suprafață de deflecție sub duza injectorului pentru a provoca formarea rapidă a amestecului și un șablon de turbulență controlată (în cadrul aceleiași proiectări) în antecameră.

Figura 13.4 b

Întregul sistem, incluzând bujiile cu incandescență plasate în aval, asigură arderea cu emisii foarte mici și cu o reducere majoră a particulelor. Procesul se distinge printr-un factor de utilizare a aerului ridicat, fiind de asemenea adecvat pentru motoare de turație ridicată.

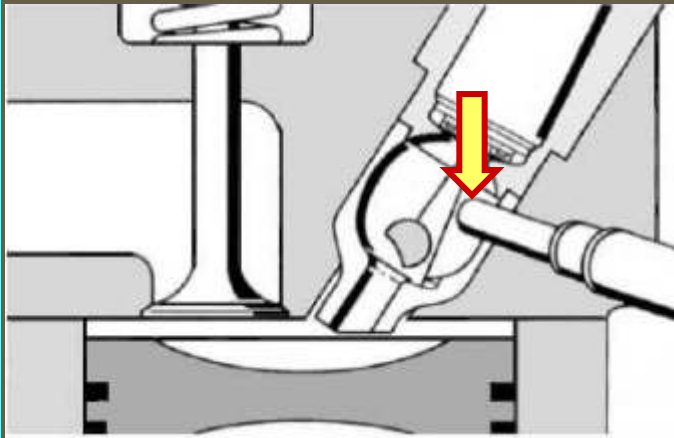


Figura 13.4 b

## Procese de ardere

Începutul injecției (și prin aceasta începutul procesului de formare a amestecului) și începutul procesului de reacție exotermă (începutul aprinderii) sunt separate printr-o anumită perioadă de timp, numită întârziere la aprindere. Mărimea timpului depinde de calitatea de aprindere a motorinei (cifra cetanică), raportul de comprimare - și astfel de temperatura la finalul compresiei - tipul sistemului de control al motorinei și de valoarea sarcinii motorului (temperatura componen-telor).

Procesul de ardere, care se declanșează la începutul aprinderii, poate fi împărțit în două faze. În faza "flacără de preamestec", arde motorina injectată înainte de începutul aprinderii și amestecată cu aer. Motorina care este injectată după începerea aprinderii arde într-o "flacără de difuziune".





Partea din motorină care arde foarte rapid în flacăra de preamestec este în primul rând răspunzătoare de creșterea presiunii și în acest fel este cauza principală a zgomotului de combustie și a generării oxizilor de azot. Arderea mai lentă a flăcării de difuziune este principala cauză a formării funinginii și a emisiilor de hidrocarburilor nearse.

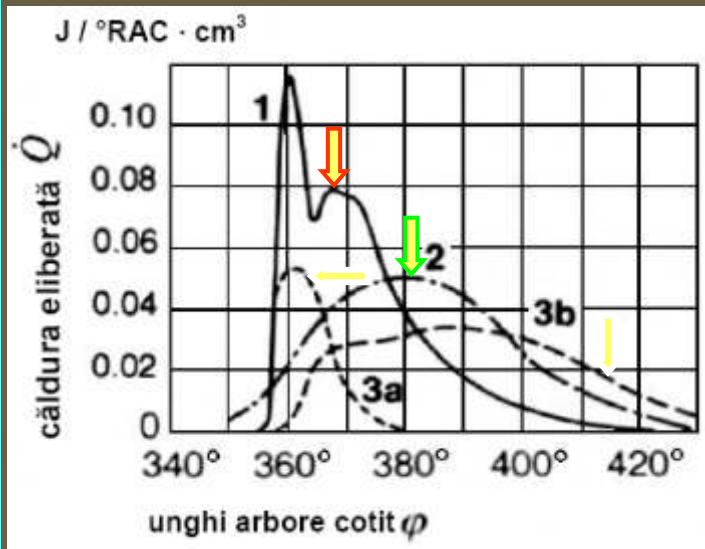
Eliberarea căldurii în procesul de ardere Diesel depinde deci direct de tipul de formare a amestecului și poate fi variată într-un domeniu larg prin modificarea parametrilor menționați mai sus.

Ciclul de ardere în două trepte, care este caracteristic proceselor cu cameră auxiliară, permite procesului de ardere să fie controlat în mod suplimentar prin selectarea secțiunilor transversale corespunzătoare ale canalizațiilor de racord între camera auxiliară și cea principală.





Diagrama din figura 13.5 prezintă curbele de eliberare a căldurii pentru sisteme de injecție directă cu aer distribuit, injecție directă cu udarea pereților și cu cameră divizată.



- 1 - injecție directă cu aer distribuit
- 2 - injecție directă cu udarea pereților
- 3a și 3b - în camera auxiliară și respectiv în camera principală în sistem cu cameră divizată

Figura 13.5

Aceste procese diferă între ele în primul rând prin faza arderii inițiale. Vârful de conversie ridicat pentru injecția directă cu aer distribuit de la începutul arderii poate fi redus prin dirijarea motorinei spre pereții camerei de ardere și redus și mai mult prin arderea în două trepte în procese cu cameră divizată. Totuși, eficiența arderii se reduce.

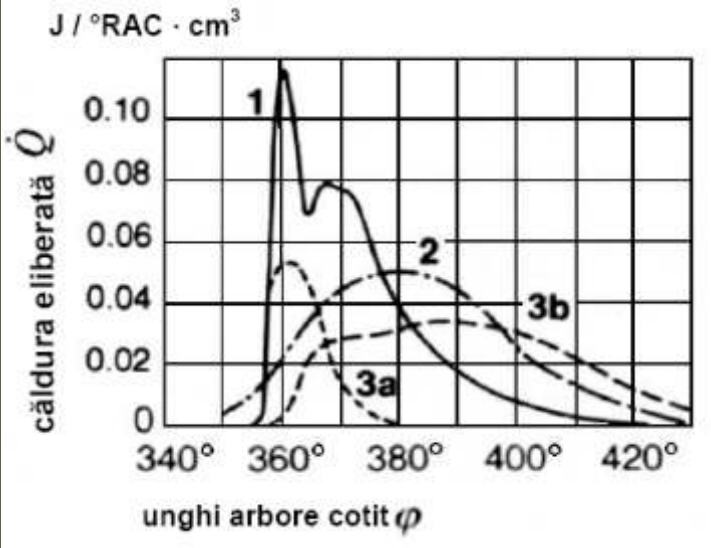


Figura 13.5

## Probleme și limite ale procesului arderii

Întrucât motorina injectată în motoare Diesel se aprinde în mod spontan, calitatea aprinderii motorinei trebuie să fie ridicată (motorina trebuie să aibă o cifră cetanică  $CC = 45 \dots 50$ ).

În ciuda unui raport de compresie ridicat, la pornirea - în special la rece - a motorului se pot produce probleme de aprindere, deoarece la turațiile reduse de demaraj, compresia nu începe decât semnificativ de mult după punctul mort exterior, punct în care supapa de admisie se închide.

Raportul de compresie efectiv, și astfel temperatura de compresie, se reduc mult din acest motiv.

În plus, componentele reci ale motorului provoacă curgerea căldurii în afara aerului comprimat (exponent politropic  $1,1 < n < 1,2$ ).



Relația  $T_1 = T_0 \cdot \varepsilon^{n-1}$  arată că o reducere a compresiei sau a exponentului politropic provoacă o reducere a temperaturii finale de compresie.

De asemenea, formarea amestecului este nesatisfăcătoare la turații reduse ale motorului (picături mari de motorină), iar mișcarea aerului este necorespunzătoare.

Problemele de la pornire pot fi parțial rezolvate printr-un timp de vaporizare mai lung (injecția începe mai devreme) și o creștere a cantității de motorină, semnificativ mai mare decât cantitatea la sarcină plină (furnizarea unei cantități mai mari de motorină cu punct de fierbere scăzut), întrucât fracțiunile cu punct de fierbere mai ridicat părăsesc motorul sub formă de fum alb sau albastru.

Totuși la pornire sunt necesare ajutoare care să crească temperatura, cum ar fi bujii cu incandescență sau sisteme de pornire cu flacără, în special la motoarele mici.



Deoarece o parte semnificativă a procesului de formare a amestecului în procese eterogene are loc în timpul arderii, se produc concentrații locale de amestecuri supra-bogate în flacăra de difuziune, ceea ce conduce la o creștere a valorii concentrației de fum negru, chiar cu exces de aer moderat.

Raportul aer-motorină care conduce la atingerea limitei legale a emisiilor de fum este o măsură a modului în care aerul este folosit în mod eficient.

Motoarele cu cameră divizată ce emit fum la limita legală au un exces de aer de 10 ... 25%, în timp ce la motoarele cu injecție directă valoarea este de 40 ... 50%.

De notat faptul că motoarele Diesel de dimensiuni mari trebuie să funcționeze cu un exces de aer semnificativ din rațiuni legate de regimul termic al componentelor.



Nu este posibil să se proiecteze un motor Diesel care să nu emită funingine, întrucât arderea amestecurilor eterogene produce întotdeauna funingine. Ca urmare, cercetările sunt concentrate spre dezvoltarea unor filtre de particule cu regenerare pentru a reține și arde funinginea și spre procese de oxidare catalitică pentru CO, HC și funingine (negru de fum).

Datorită arderii bruște a motorinei vaporizate în amestec cu aerul, procesul de autoaprindere este caracterizat ca fiind "dur" și este adesea foarte zgomotos. Emisia de zgomot poate fi redusă prin scăderea întârzierii la aprindere (încălzirea aerului admis, supraalimentare sau creșterea compresiei) și/sau prin reducerea cantității de motorină furnizată motorului pe durata întârzierii la aprindere (prin acționarea acului injectorului).





O caracteristică a motoarelor Diesel, așa-numita "detonație Diesel" nu trebuie confundată cu zgomotul generat de zgomotul de ardere. Detonația Diesel este generată în regiunile de mijloc și joase ale cartogramei motorului și este cauzată de probleme ale sistemului de formare a amestecului, cum ar fi duze înfundate sau duze care nu lucrează și este audibil sub forma unui zgomot metalic pulsatoriu.

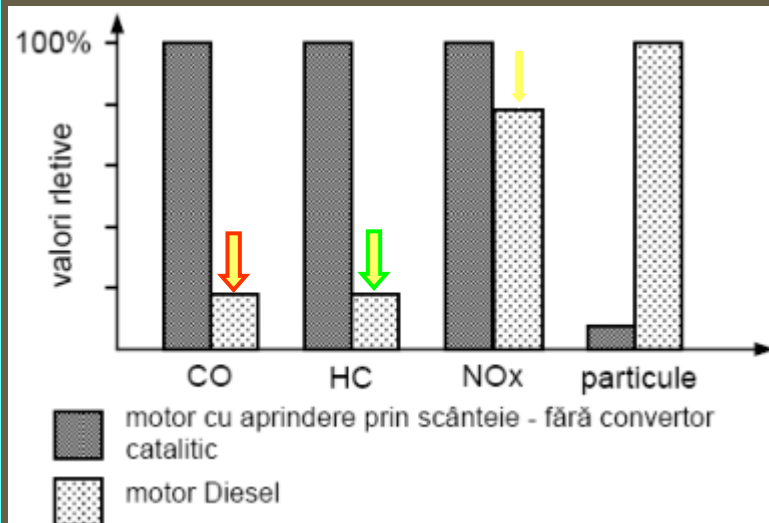
Compresiile ridicate ale motorului Diesel, așa cum sunt impuse de cerințele de pornire și de reducere a zgomotului, precum și vârfurile de presiune provocate de autoaprindere necesită grup motopropulsor mai greu. Întrucât procesele eterogene se produc cu exces de aer la sarcină plină, în general motoarele Diesel au o putere litrică mai redusă în raport cu motoarele Otto.





## Emisiile de evacuare

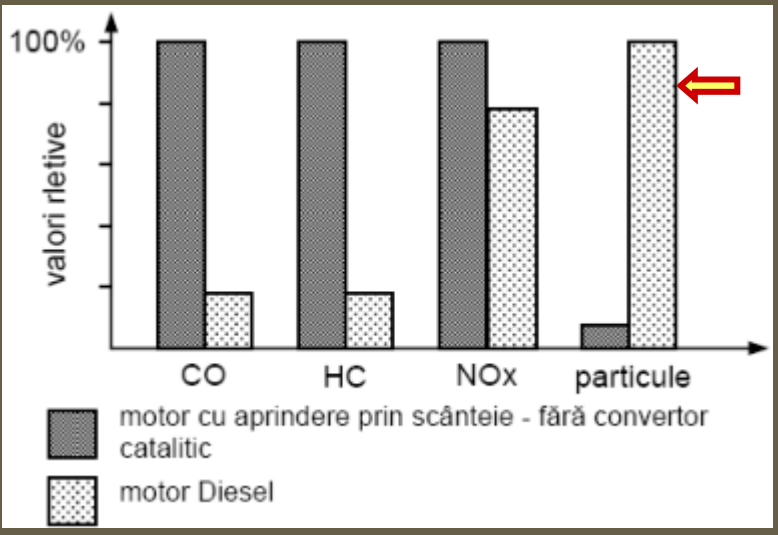
În ansamblu emisiile de la arderea Diesel sunt de departe mai scăzute decât emisiile de la arderea din motoarele cu benzină. În figura 13.6 se prezintă o comparație între noxele emise de motorul Diesel și de motorul cu aprindere prin scânteie.



Emisiile de CO, HC și NO<sub>x</sub> sunt mai reduse, în principal datorită raportului de compresie mai ridicat și excesului de aer. Factorul de compresie mai ridicat îmbunătățește eficiența termică și astfel se reduce consumul de motorină. Excesul de aer asigură o ardere mai completă a motorinei.

Figura 13.6

Principala problemă este cu substanțele sub formă de particule. Aceste particule incluzând lanțuri cu molecule de carbon pot conține de asemenea și hidrocarburi, în special aldehide. Emisiile de particule sunt murdare, dar se au în vedere în special posibilele efecte cancerigene ale funinginii.



Diametrul particulelor este de câteva zecimi de micron. Rezultă deci că ele pot pluti în aer și pot fi inhalate.

Figura 13.6

## CONTROLUL FORMĂRII AMESTECULUI

Formarea amestecului aer-motorină influențează în mod considerabil consumul de combustibil, compoziția gazelor de evacuare și zgomotul de combustie al motorului Diesel. Sistemul de injecție pentru motorină are o contribuție importantă în formarea amestecului.

Formarea amestecului și procesele de combustie din camera de ardere a motorului sunt influențate de anumiți parametri:

- începutul alimentării și începutul injecției;
- durata injecției și intensitatea descărcării;
- presiunea de injecție;
- direcția de injectare și numărul jeturilor de pulverizare;
- excesul de aer.

În paragrafele următoare se descriu efectele acestor factori.

## Începutul alimentării și începutul injecției (sincronizare)

Termenul de "început al alimentării" se referă la momentul real în care pompa începe să furnizeze motorina. Pentru un răspuns optim al motorului, alături de începutul alimentării ( $\hat{I}A$ ), de mare importanță este de asemenea și începutul injecției ( $\hat{I}I$ ). Întrucât începutul alimentării (închiderea portului) poate fi determinat în regim staționar mult mai ușor decât momentul real al începerii injecției, sincronizarea pompei de injecție Diesel se face funcție de începutul alimentării. Acest lucru este posibil, întrucât există o relație bine definită între începutul alimentării și începutul injecției.

Începutul injecției este definit prin unghiul de rotație al arborelui cotit când pistonul se găsește în zona punctului mort interior. Începutul injecției de motorină în interiorul camerei de ardere are o influență considerabilă asupra momentului de început al arderii amestecului aer-motorină.



Temperatura finală maximă de compresie se obține în punctul mort interior. Dacă arderea este inițiată înaintea punctului mort interior, presiunea crește brusc și frânează mișcarea ascendentă a pistonului, ceea ce reduce eficiența. Creșterea prin salt a presiunii de ardere are de asemenea ca rezultat un mers zgomotos al motorului. Arderea trebuie să se termine înaintea deschiderii supapelor de evacuare. Cel mai mic nivel al consumului se obține dacă arderea începe în jurul punctului mort interior.

Dacă începutul arderii are avans, crește temperatura din camera de ardere, ceea ce conduce la creșterea emisiilor de  $\text{NO}_x$ . Dacă începutul injecției este prea târziu, aceasta poate conduce la ardere incompletă și la emisii de hidrocarburi incomplet arse.

În figura 13.7 se prezintă benzile de dispersie pentru emisiile de  $\text{NO}_x$  și HC în funcție de începutul injecției.





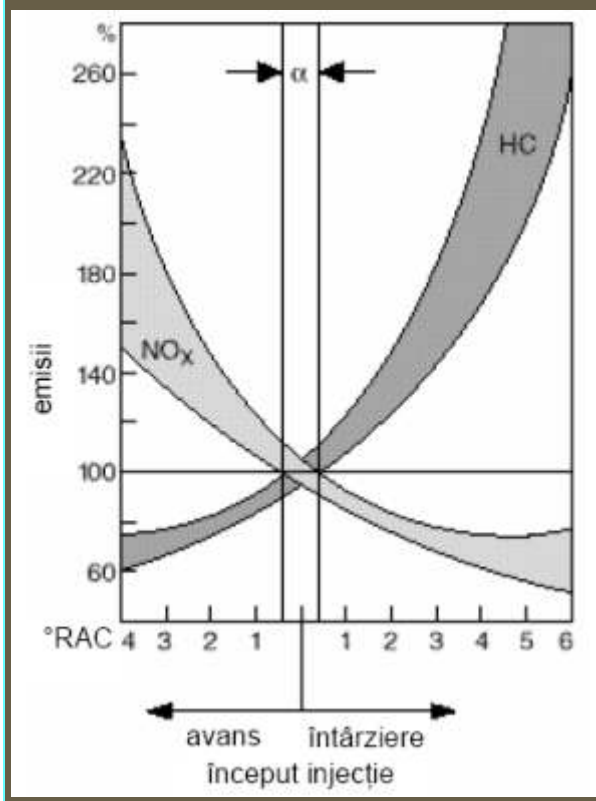


Figura 13.7

Poziția instantanee a pistonului influențează mișcarea aerului din camera de ardere, densitatea și temperatura acestuia. În consecință, viteza de mișcare și calitățile de amestecare pentru aer și motorină depind de începutul injecției. Începutul injecției influențează de asemenea formarea de funingine (negru de fum), care în motorul Diesel este un produs al arderii incomplete.

Interdependențele contradictorii asupra consumului specific și a emisiilor de hidrocarburi pe de o parte și fumul negru plus NO<sub>x</sub> pe de altă parte impun toleranțe minim posibile pentru a asigura valorile optime respective.

Întârzieri la injecție diferite la temperaturi diferite impun un control dependent de temperatură al începutului injecției. În figura 13.8 se prezintă schematizat dependența începutului injecției de temperatură, sarcină și turație.

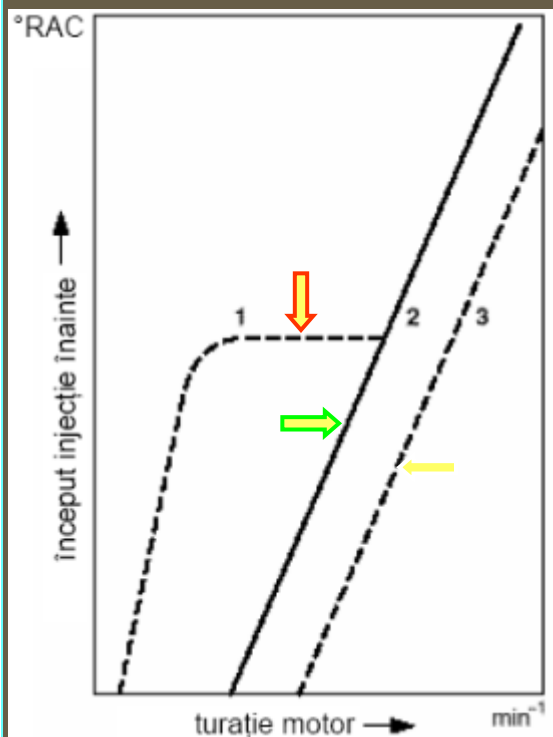
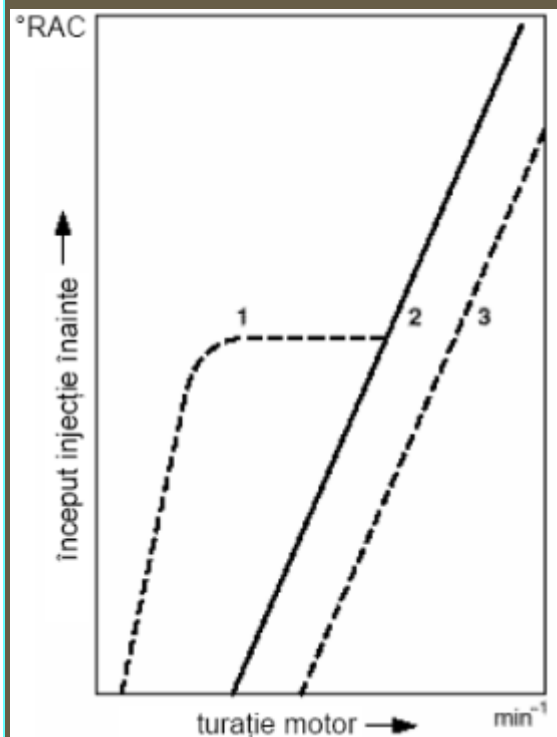


Figura 13.8

- 1 - pornire la rece
- 2 - sarcină plină
- 3 - sarcini parțiale





Aceste dependențe formează cartograma pentru începutul injecției. Pe durata alimentării, timpul de propagare a motorinei depinde de lungimea conductelor.

La turații ridicate aceasta are drept rezultat o întârziere a injecției (timpul de la începutul alimentării până la începutul injecției). În plus, cu cât turația motorului este mai mare, cu atât mai mare este întârzierea aprinderii (timpul de la începutul injecției până la începutul aprinderii).

Figura 13.8

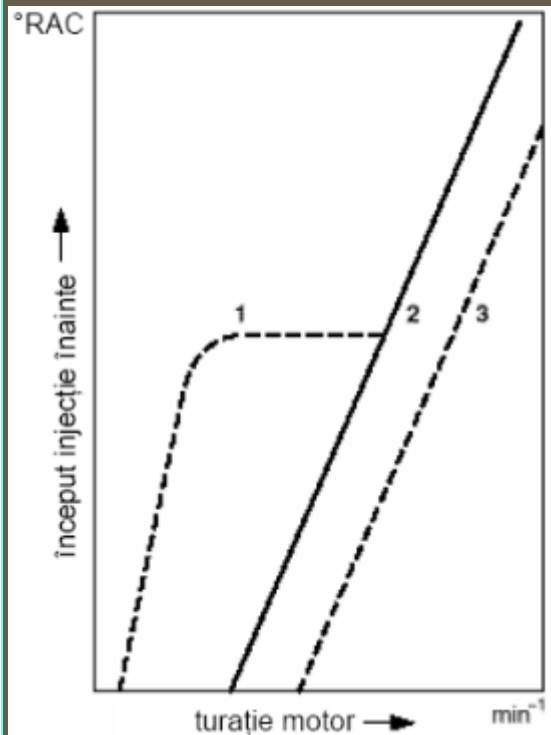


Figura 13.8

Acești doi factori trebuie să fie compensați, motiv pentru care un sistem de injecție de motorină trebuie să încorporeze un dispozitiv dependent de turație pentru reglarea în timp a avansului la începutul injecției.

Din considerente legate de zgomot și noxe, la sarcină plină este adesea necesară o cartogramă 2 diferită de cea corespunzătoare sarcinilor parțiale 3.

## Durata injecției și intensitatea procesului de descărcare

Termenul "intensitate de descărcare" descrie curba caracteristică a cantității de motorină injectată în camera de ardere ca o funcție de unghiul arborelui cotit sau al axei cu came (grade de rotație arbore cotit, respectiv grade de rotație axă cu came).

Unul din parametrii importanți ce afectează curba intensității de descărcare este durata injecției. Acesta se măsoară fie în grade de rotație arbore cotit sau axă cu came, fie în milisecunde și reprezintă perioada de timp în care duza injectorului este deschisă și motorina este injectată în camera de ardere.

Se poate constata o schimbare mare a curbelor caracteristicilor de presiune și a intensității de descărcare funcție de elementul de pompare și duză. Caracteristicile sunt influențate de componentele care determină injecția (cama pompei, elementul de pompare, valva de alimentare, conducta de alimentare și duza).



Fiecare metodă de combustie din diferitele variante Diesel necesită durate diferite de injecție. Motoarele cu injecție directă necesită aproximativ 25 ... 30° RAC la turația nominală, iar motoarele cu antecameră 35 ... 40 °RAC. O durată a injecției de 30° RAC (ce corespunde la 15° rotație axă cu came) reprezintă 1,25 ms pentru o turație de acționare a pompei de injecție de 2000 rot/min.

Pentru a menține consumul de carburant și emisiile de funingine la un nivel scăzut, durata de pulverizare trebuie definită ca o funcție de punctul de funcționare și raportată la momentul de începere a injecției. La începutul injecției trebuie să curgă doar o mică cantitate de motorină.



## Presiunea de injecție

Presiunea de injecție va afecta cantitatea de motorină, dar cel mai important efect în acest caz este cel asupra pulverizării. La presiuni mai ridicate motorina se pulverizează în picături mai mici, cu o îmbunătățire corespunzătoare în calitatea arderii.

Sistemele de injecție indirectă folosesc presiuni până la circa 350 bari, iar sistemele de injecție directă pot fi de până la circa 1000 bari sau chiar mai mari, la valori de 2000 bari. Emisiile de funingine pot fi reduse în mare măsură la presiuni de injecție mai mari.

## Direcția injecției și numărul de jeturi

Direcția injecției trebuie să se adapteze foarte strâns la curentul de aer turbionar și la proiectarea camerei de ardere. Deviații de numai 2° de la direcția ideală pot crește în mod semnificativ emisiile de particule.

## Factorul excesului de aer (raportul aer-motorină)

Motoarele Diesel în general nu folosesc un obturator, cererea de accelerație acționând direct asupra pompei pentru a controla cantitatea de motorină. La turații reduse, în mod special, factorul excesului de aer foarte mare asigură ardere completă și emisii foarte scăzute. Chiar și la turații ridicate se poate constata exces de aer.





## CONTROLUL ELECTRONIC AL PREÎNCĂLZIRII AMESTECULUI LA MOTOARELE DIESEL

Motoarele Diesel prezintă dificultăți în cazul pornirii la rece. Fiind un motor cu autoaprindere, este necesar să se atingă o anumită temperatură specifică de autoaprindere. Atunci când motorul este rece, această temperatură nu poate fi atinsă numai prin compresie. Motorina injectată trebuie vaporizată și aprinsă.

Aceste cerințe pot fi realizate fie prin încălzirea aerului, fie prin utilizarea unor bujii. Timpii mari de preîncălzire solicită intens bateria. Dispozitivele cu timpi reduși de preîncălzire impun un control de precizie a timpului.

Temperatura individuală de preîncălzire depinde de situația specifică de proiectare a motorului. Motoarele cu injecție directă (*DI – direct injection*), cu camerele de ardere într-o singură secțiune și cu pierderi termice relativ mai scăzute, pornesc mai ușor decât motoarele cu antecameră sau motoarele cu turbulență indusă (cu camera de ardere în două secțiuni).



Motoarele cu injecție directă de capacități mari (cum ar fi cele utilizate la tracțiunea grea), folosesc pentru perîncălzirea aerului bujii cu flacără sau bujii cu incandescență.

Sistemele avansate pentru perîncălzirea amestecului la motoarele Diesel sunt echipate cu unități electronice de control. În locul acționării manuale a comutatoarelor, unitățile folosesc un sistem electronic de control pentru timpul de acționare a bujiilor cu incandescență sau cu flacără.

În aceste sisteme se obțin următoarele avantaje:

- timp de preîncălzire reduși;
- timp de postîncălzire aleși ca o funcție de condițiile de funcționare, pentru a asigura ardere completă, cu emisii poluante reduse;
- asigură protejarea bateriei prin intermediul comutatorului cu temporizare de siguranță;
- **operare manuală îmbunătățită, cu pornirea identică cu cea a motorului cu aprindere prin scânteie.**

## Sistemul cu bujii incandescente

*Bujii incandescente cu element protejat.* La motoarele Diesel cu cameră de combustie divizată și la motoarele Diesel de capacități cilindrice reduse cu injecție directă, pornirea (în special la rece) este îmbunătățită prin instalarea unui dispozitiv auxiliar de pornire sub forma unei bujii cu incandescență, de tip cu element protejat, plasată lângă injector.

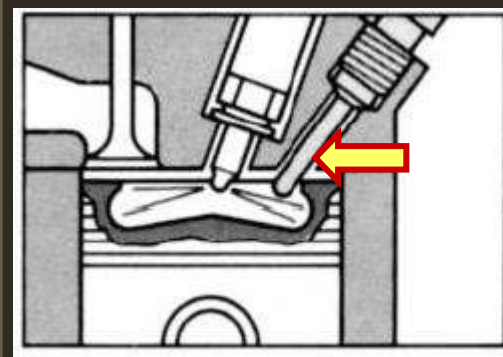
În cazul motoarelor cu antecameră și a celor cu turbulență indusă, elementul incandescent se plasează în interiorul camerei auxiliare, iar la motoarele cu injecție directă, în camera de ardere principală.

Modul de plasare a bujiei cu incandescență în aceste situații rezultă din figura 13.9.

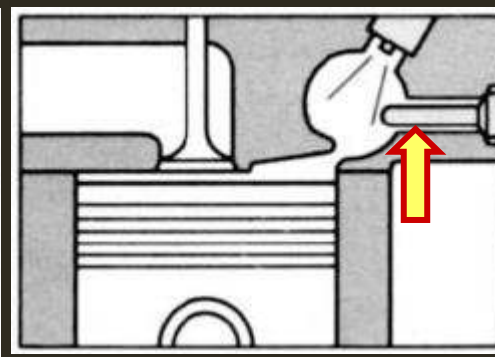


Când este încălzită, bujia cu incandescență cu element protejat formează o pată fierbinte în camera cu turbulență. În acest mod, o anumită parte din motorina vaporizată anterior asigură aprinderea amestecului.

*cu injecție directă*



*cu turbulență indusă*



*cu antecameră*

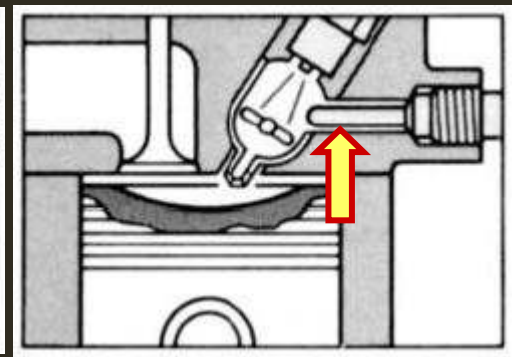


Figura 13.9



Sistemele moderne continuă să funcționeze un timp scurt și după ce motorul a pornit, îmbunătățind funcționarea inițială, cu reducerea emisiilor de fum albastru și a zgomotului de combustie. Trebuie menționat totuși că temperaturile înalte asociate acestui procedeu provoacă solicitări suplimentare ale bujiei.

*cu injecție directă*

*cu turbulență indusă*

*cu antecameră*

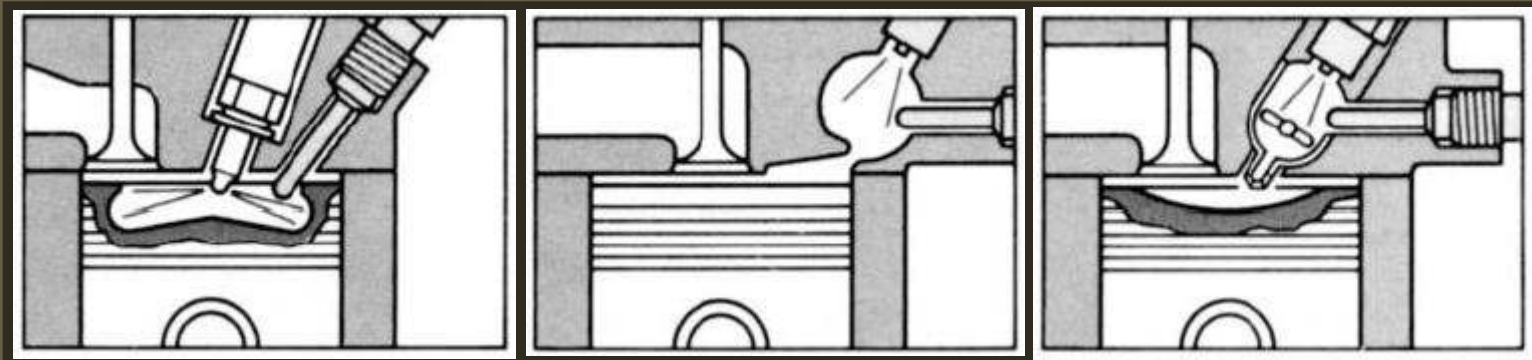


Figura 13.9

Energia electrică necesară funcționării bujiei cu incandescență cu element protejat este asigurată de sistemul electric al vehiculului, prin circuitul unității de control al preîncălzirii.

Structura unei bujii cu incandescență cu element protejat este prezentată în figura 13.10.





- 1 – conector
- 2 – piuliță rotundă
- 3 – șaibă izolatoare
- 4 – siguranțe
- 5 – teacă
- 6 – filet

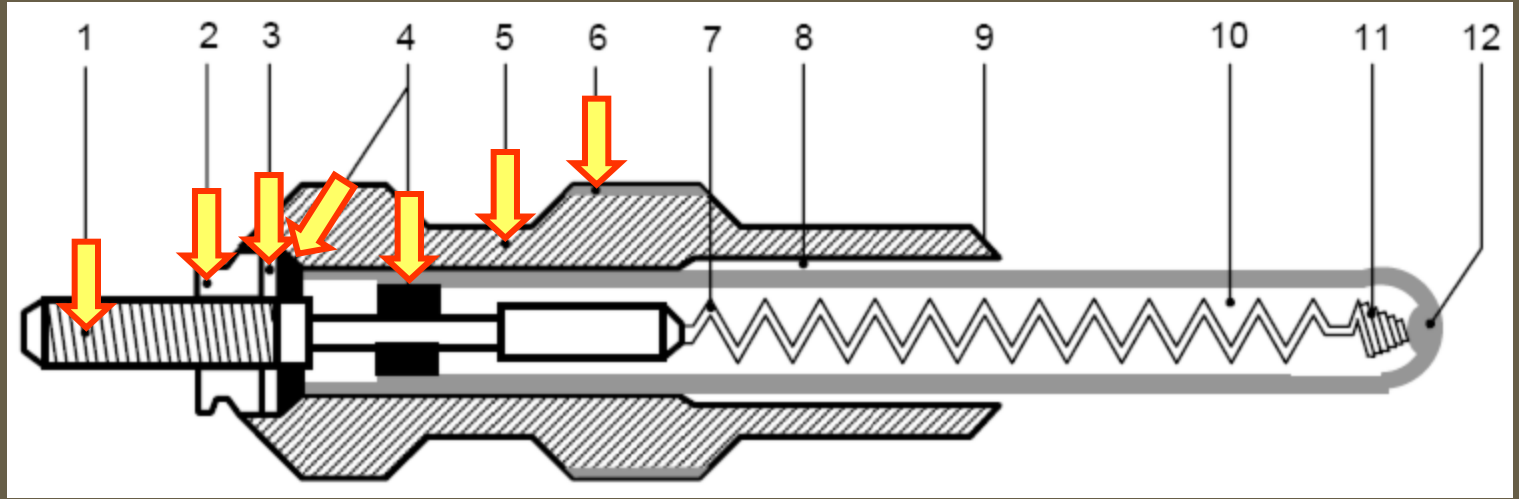


Figura 13.10

- 7 – înfășurare de control
- 8 – spațiu inelar
- 9 – scaun conic
- 10 – pulbere izolatoare
- 11 – înfășurare de încălzire
- 12 – tub incandescent

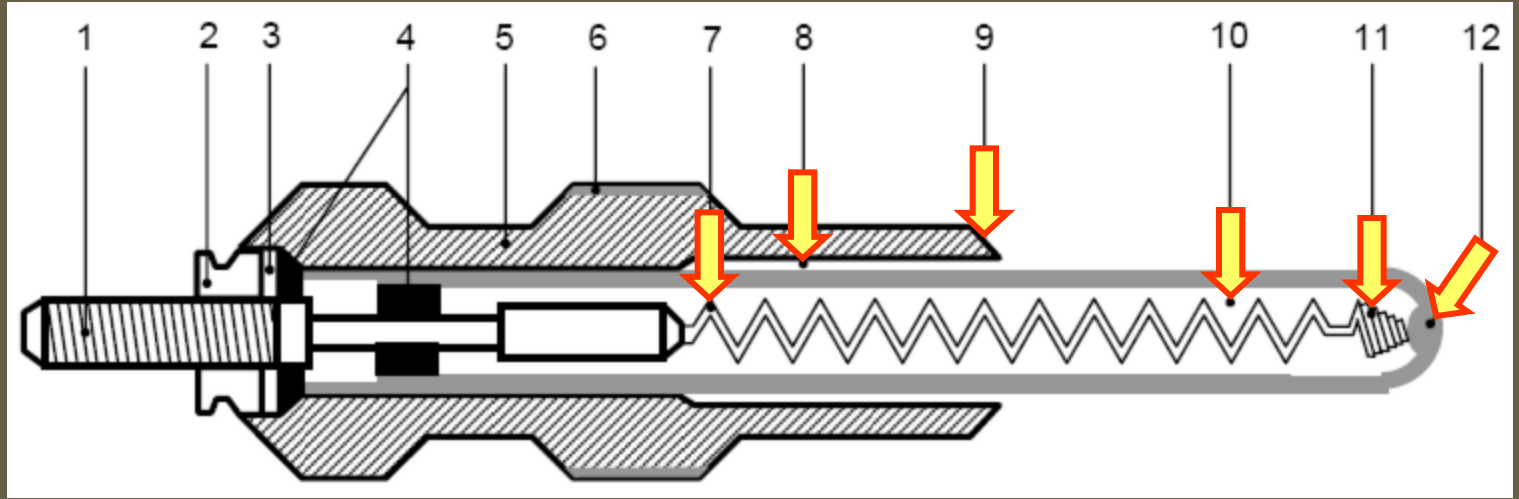
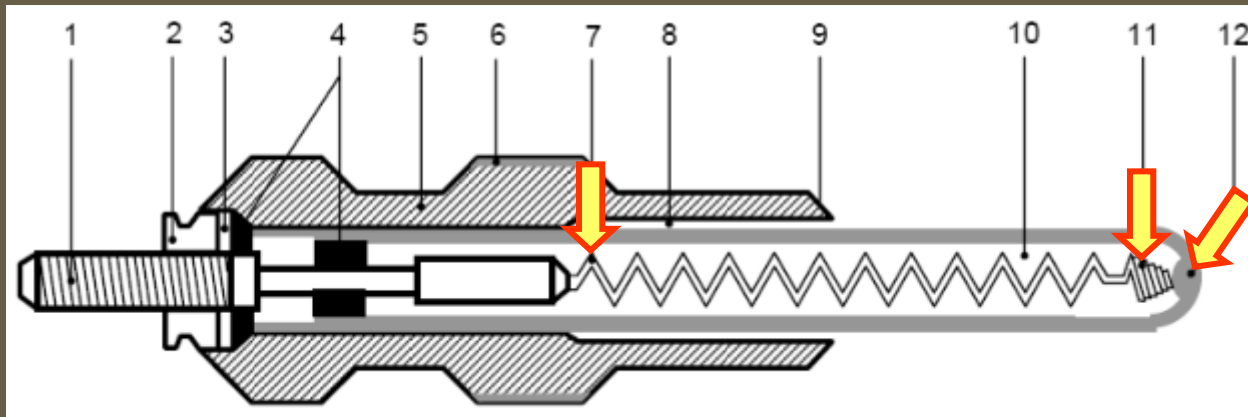


Figura 13.10

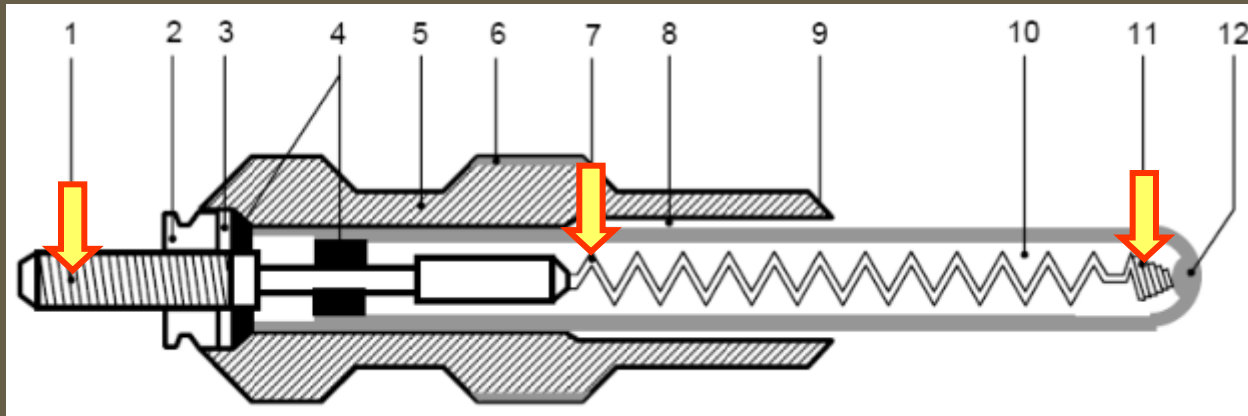
Componenta principală a bujiei cu incandescență este elementul de încălzire tubular (12). Fixarea fermă, de tip etanș, în carcasa (corpul) bujiei asigură rezistență atât împotriva coroziunii, cât și a gazelor fierbinți.

Elementul de încălzire conține un filament spiral plasat în pulbere de oxid de magneziu. Filamentul spiral cuprinde o înfășurare de încălzire (11), instalată în vârful tubului incandescent, conectată în serie cu o înfășurare de control (7). Rezistența înfășurării de încălzire este practic insensibilă la temperatură.



Continuitatea circuitului este asigurată prin sudarea la masă a capătului terminalului înfășurării de încălzire (11) și prin conectarea înfășurării de control (7) la conectorul filetat (1). Conectorul filetat (1), la rândul său, conectează bujia cu incandescență la sistemul electric al vehiculului.

Înfășurarea de control are o caracteristică de rezistență cu coeficient pozitiv de temperatură (*PTC*), ceea ce înseamnă că un curent substanțial mai mare circulă prin bujia rece, decât prin bujia încălzită și că valoarea curentului descrește pe măsură ce bujia se încălzește.



Funcție de materialele utilizate și de formă, bujia cu incandescență atinge temperatura necesară pentru aprinderea amestecului aer-motorină în aproximativ 4 la 10 secunde (cu o temperatură exterioară de 0 °C). Temperatura de încălzire este în jurul a 900 °C.

Prima generație de bujii cu incandescență (de tip convențional), cu element protejat (identificare S-RSK) folosește înfășurare de control din nichel, în timp ce generația a doua (identificare GSK2), utilizează un aliaj special.





În figura 13.11a se prezintă evoluția temperaturii în funcție de timp, iar în figura 13.11b, rezistența specifică a înfășurării de control ca o funcție de temperatură, pentru cele două generații de bujii incandescente.

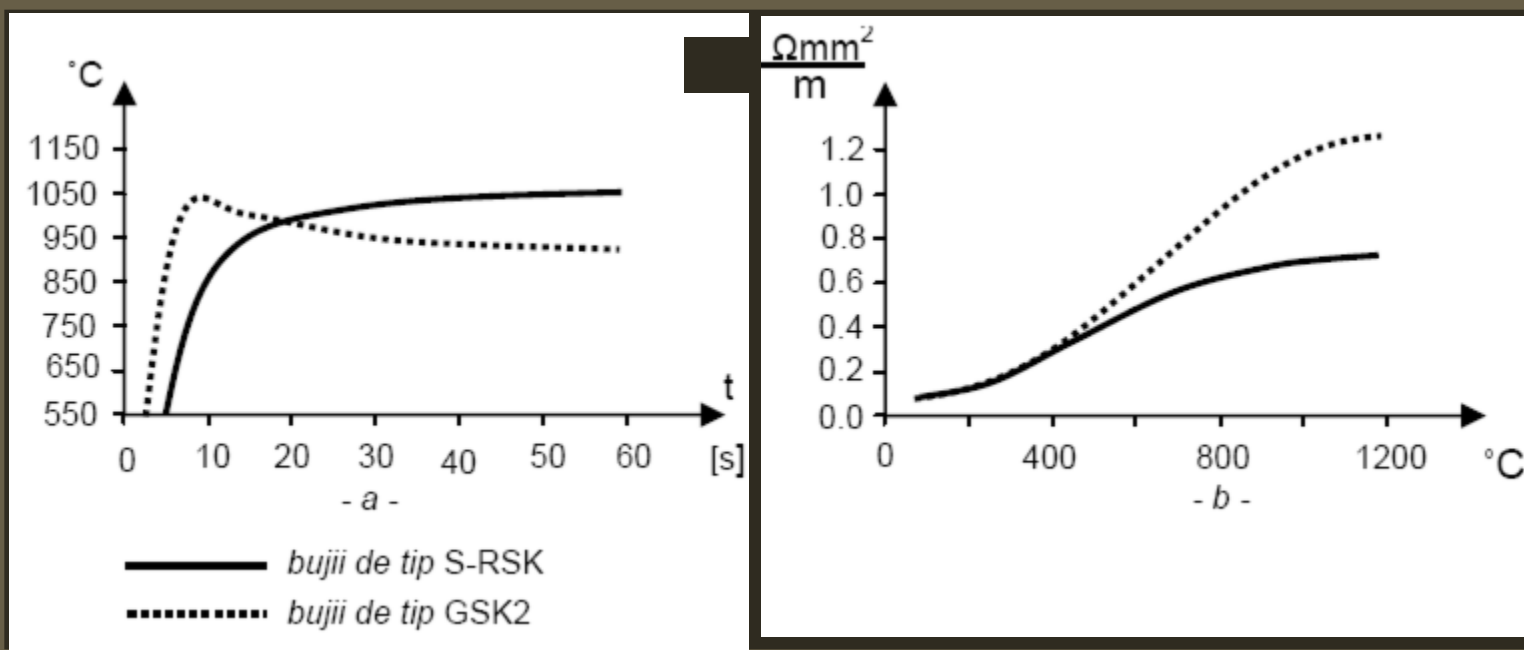
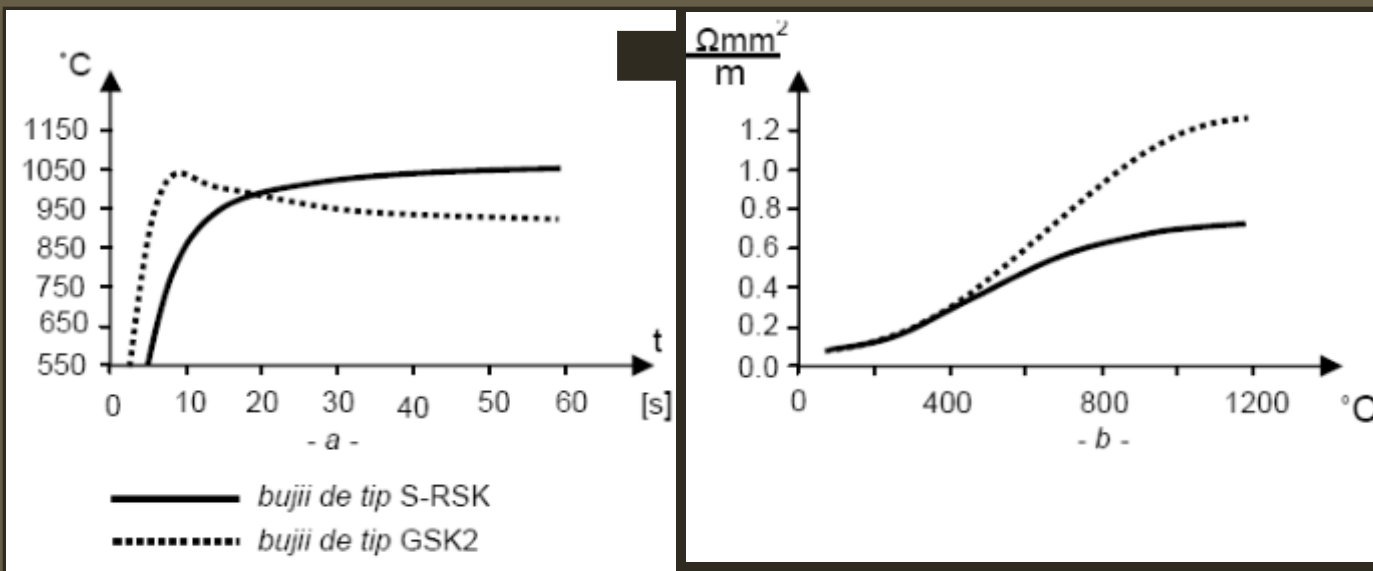


Figura 13.11



Comparând cele două variante ale bujiilor cu incandescență, se observă că cele de tip GSK2 ating mai repede temperatura cerută pentru aprindere. În același timp, temperatura de funcționare continuă este mai redusă, ceea ce permite ca bujiile de tip GSK2 să rămână conectate mai mult de 3 minute după pornire, în vederea reducerii noxelor și a zgomotului.



Jetul de motorină injectat în camera de ardere nu trebuie să atingă direct bujia cu incandescență pentru a nu distruge suprafața acesteia. Capătul fierbinte al bujiei cu incandescență vine în contact numai cu un număr redus de particule de motorină. Particulele se vaporizează și se aprind.

***Unitatea de control a incandescenței.*** Controlul complet al preîncălzirii cu bujii cu incandescență impune și un sistem pentru comanda procesului. Se utilizează unități de control electronic. Pe lângă controlul timpului de acționare și a indicatorului “*gata de pornire*”, aceste unități încorporează funcții de protecție și monitorizare.

Unitatea de control al incandescenței constă în esență dintr-un releu de putere pentru controlul curentului prin bujia cu incandescență, circuite electronice pentru controlul timpului de acționare (a incandescenței) și pentru indicatorul “*gata de pornire*”, precum și elemente pentru funcții de protecție.



În general, unitatea de control se instalează în compartimentul motorului, fiind închisă într-o cutie din material plastic ce asigură protecție împotriva prafului și a apei.

În figura 13.12 se prezintă schema de conexiuni a sistemului de control al bujiilor cu incandescență.

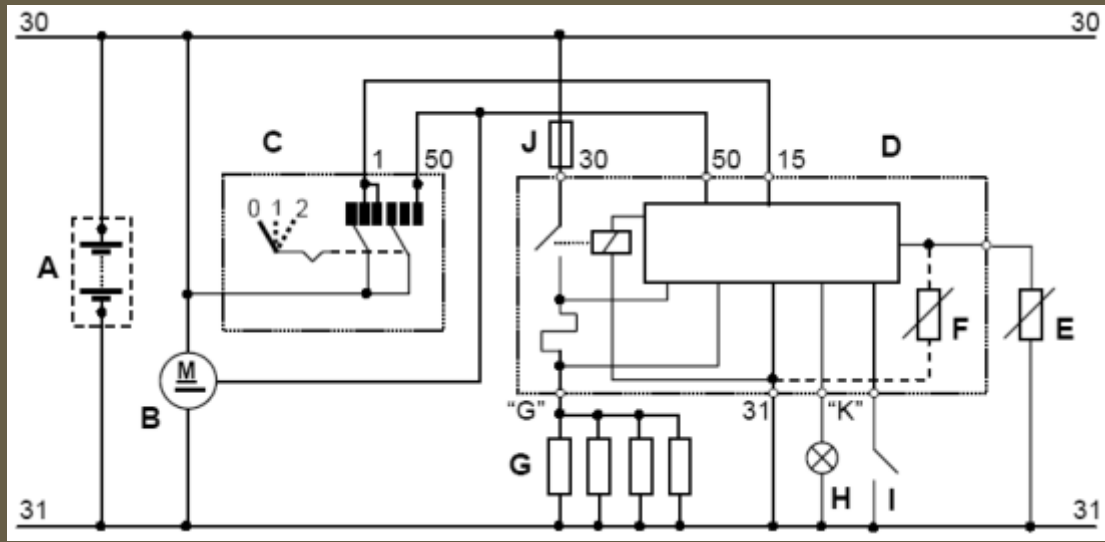
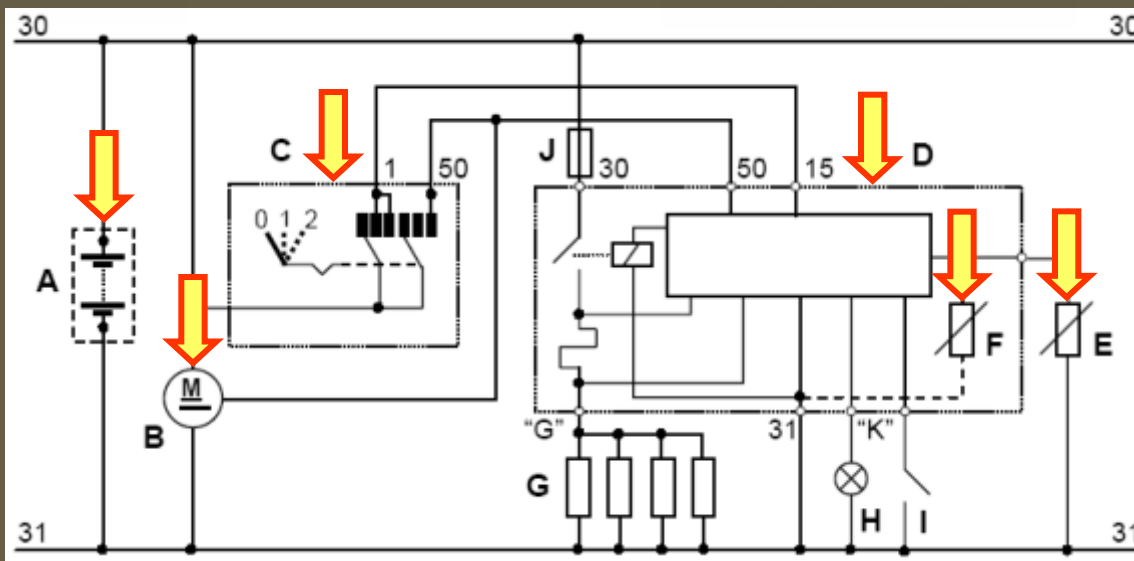
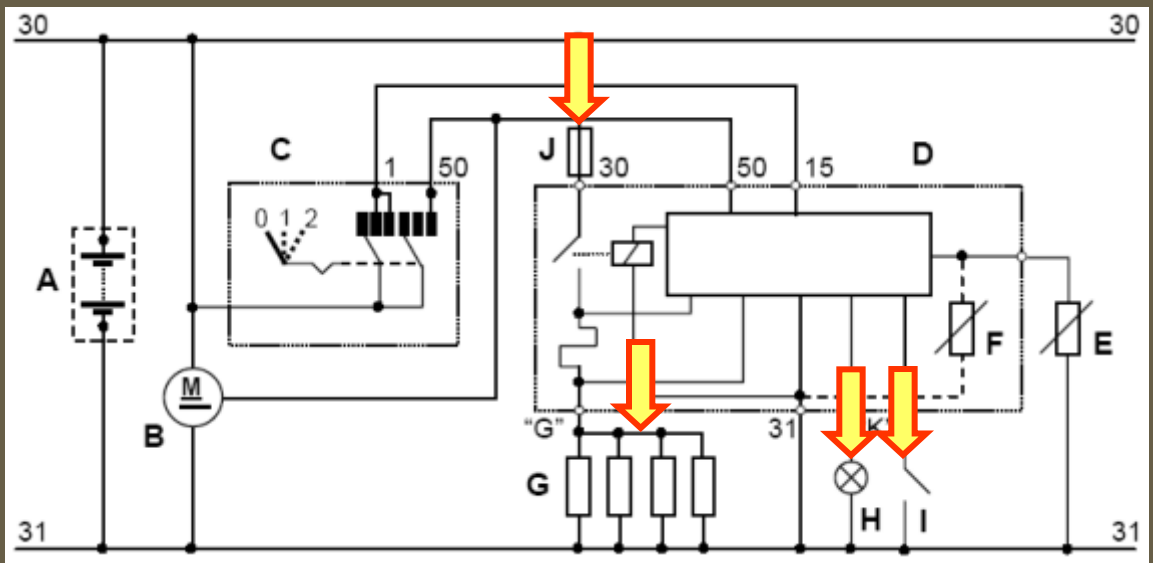


Figura 13.12

- *A – baterie*
- *B – demaror*
- *C – comutator de pornire și acționare a bujiilor cu incandescență*
- *D – unitatea de control a bujiilor cu incandescență*
- *E – sensor pentru temperatura lichidului de răcire*
- *F – sensor intern de temperatură (alternativă la E)*



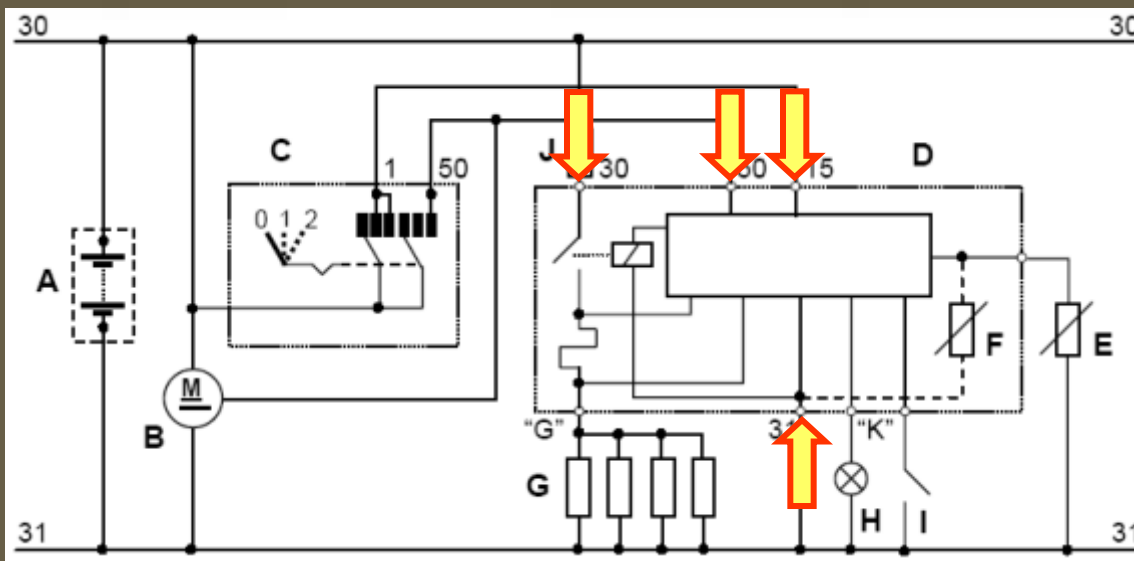
- *G – bujii cu incandescență cu element protejat*
- *I – comutator de sarcină*
- *H – indicator de pornire*
- *J – siguranță*





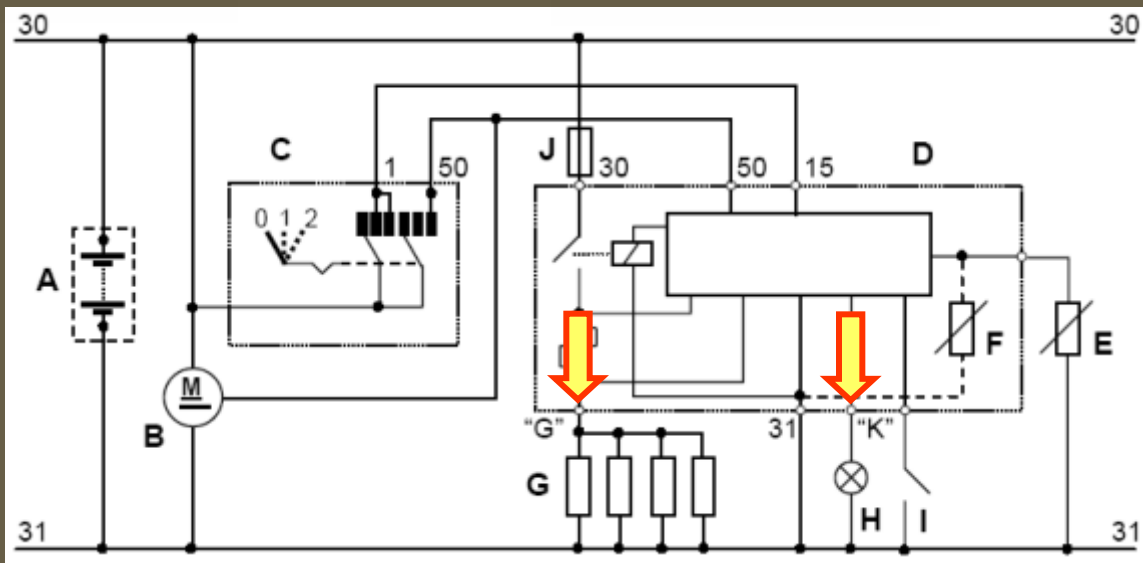
Unitatea de control a incandescenței este prevăzută cu următoarele intrări (așa cum sunt notate pe conector):

- *terminal 30 – plusul bateriei*
- *terminal 15 – contact și comutator pentru bujiile cu incandescență*
- *terminal 31 – masa*
- *terminal 50 – control demaror*





- *NTC – sensor rezistiv cu coeficient negativ de temperatură (în anumite aplicații);*
  - *LS – comutator sarcină (în anumite aplicații)*
- leșirile sistemului sunt:
- *La (k) – indicator luminos pentru pornire;*
  - *G1 ... G6 – conexiuni pentru bujiile cu incandescentă.*



Durata de incandescență a bujiilor este controlată de un sensor de temperatură, montat în interiorul carcasei unității electronice de control. Aceasta asigură temperatura optimă a bujiei cu incandescență pentru o bună pornire, în corespondență cu combinația motor-bujie cu incandescență.

La sfârșitul perioadei de atingere a incandescenței, indicatorul luminos pentru pornire se stinge și motorul poate fi pornit.

Procesul de incandescență continuă pentru o durată egală cu cea de acționare a demarorului sau până când se acționează protecția la suprasarcină, prevăzută pentru a limita solicitările bateriei și a bujiilor cu incandescență. O siguranță fuzibilă asigură protecția împotriva scurtcircuitelor.

Toate aceste funcții de bază trebuie asigurate de unitatea de control.



*Unități de control cu funcții extinse.* Un sensor rezistiv, de tip cu coeficient negativ de temperatură (*NTC*), montat în circuitul lichidului de răcire al motorului asigură un semnal de intrare pentru un control de precizie al timpului de incandescență. Valoarea timpului de incandescență este de asemenea ajustat în funcție de tensiunea bateriei.

Curentul continuă să circule prin bujiile cu incandescență și după pornirea motorului. Un sistem de monitorizare a sarcinii motorului este utilizat pentru a întrerupe sau deconecta procesul de incandescență.

Un circuit electronic asigură protecția împotriva supratensiunilor și a scurtcircuitelor.

Un circuit de monitorizare detectează defectarea bujiilor cu incandescență și semnalizează situația prin intermediul indicatorului luminos de pornire.



*Unități de control centrale cu controlul incandescenței.* Acest tip de unitate primește informații despre situațiile în care se impune sau nu funcționarea bujiilor cu incandescență, direct de la unitatea electronică centrală a motorului. Unitatea centrală asigură de asemenea raportarea pe linia de diagnoză a defectelor detectate.

În general, o secvență de asigurare a incandescenței se prezintă ca în figura 13.13.



- $t_V$  – timp pentru atingerea incandescenței
- $t_S$  – gata de pornire
- $t_N$  – funcționare după pornirea motorului

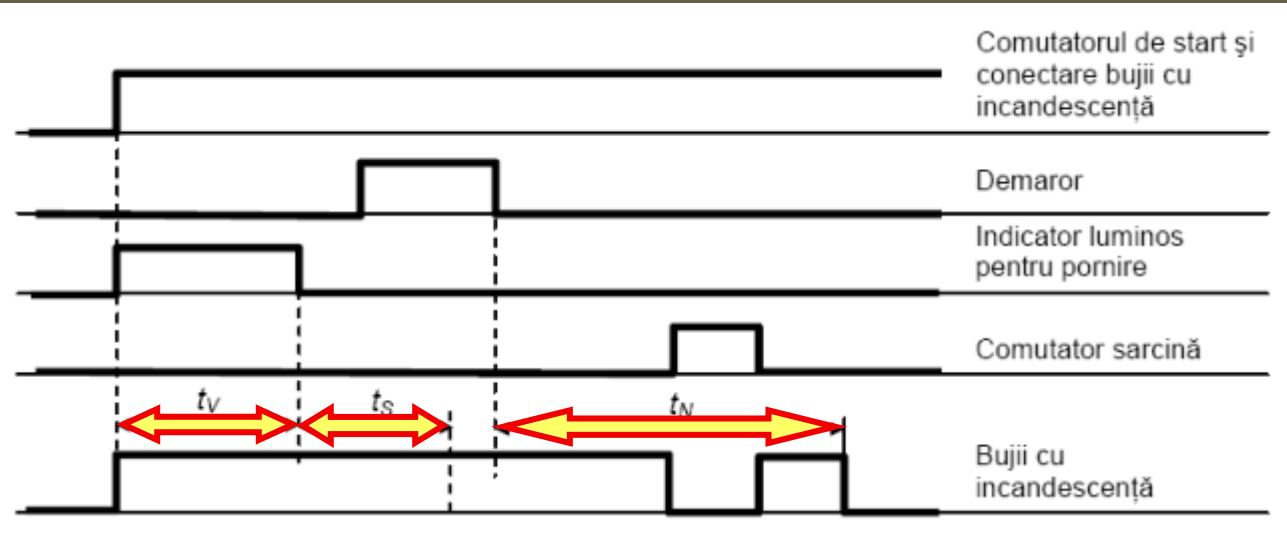


Figura 13.13

Pe durata intervalului  $t_v$  – *timp pentru atingerea incandescenței*, indicatorul luminos este aprins, indicând conducătorului auto sa nu acționeze demarorul.

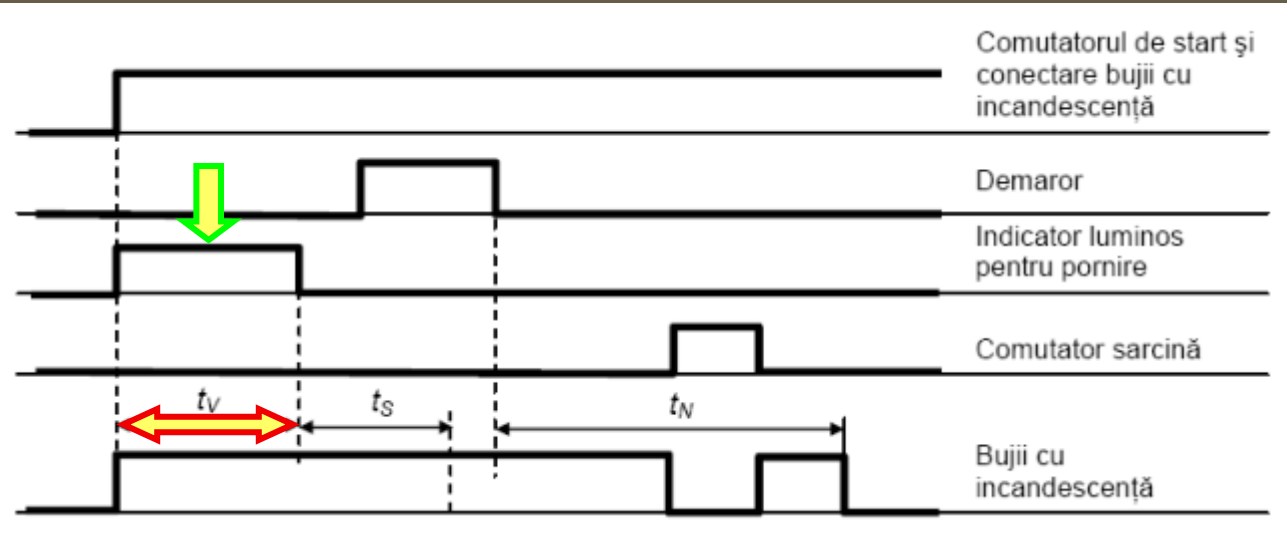


Figura 13.13



După ce indicatorul luminos se stinge, urmează intervalul  $t_s$  – *gata de pornire*. Aceasta este perioada în care bujiile sunt suficient de fierbinți și demarorul poate fi acționat pentru a porni motorul.

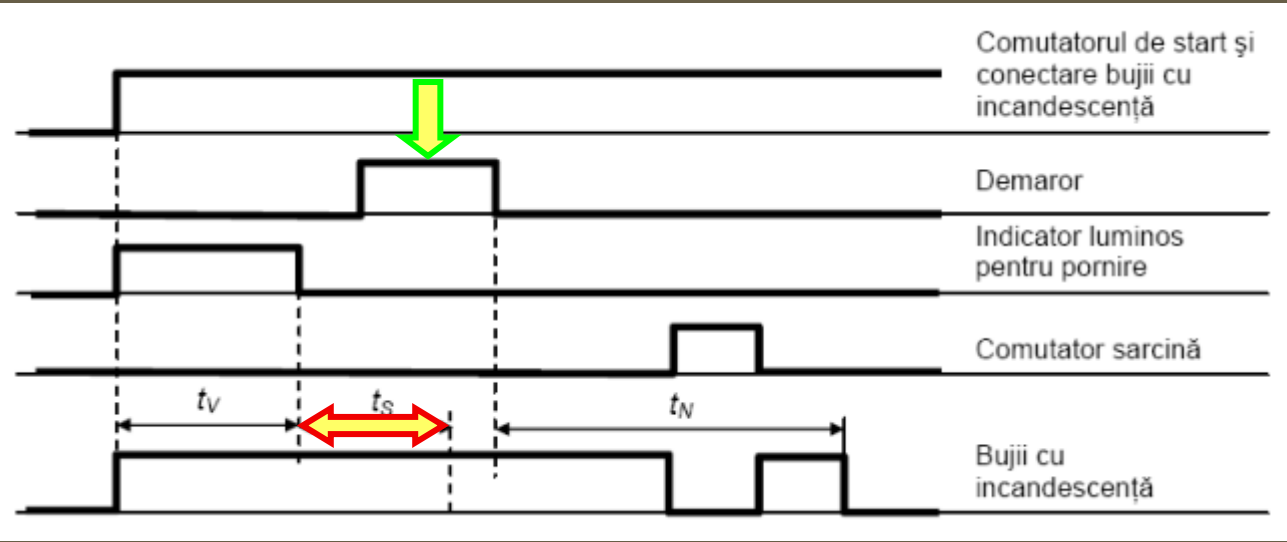


Figura 13.13

După ce motorul Diesel a pornit, pe o durată  $t_N$  – *funcționare după pornirea motorului*, bujiile cu incandescență rămân alimentate pentru a îmbunătăți funcționarea acestuia.

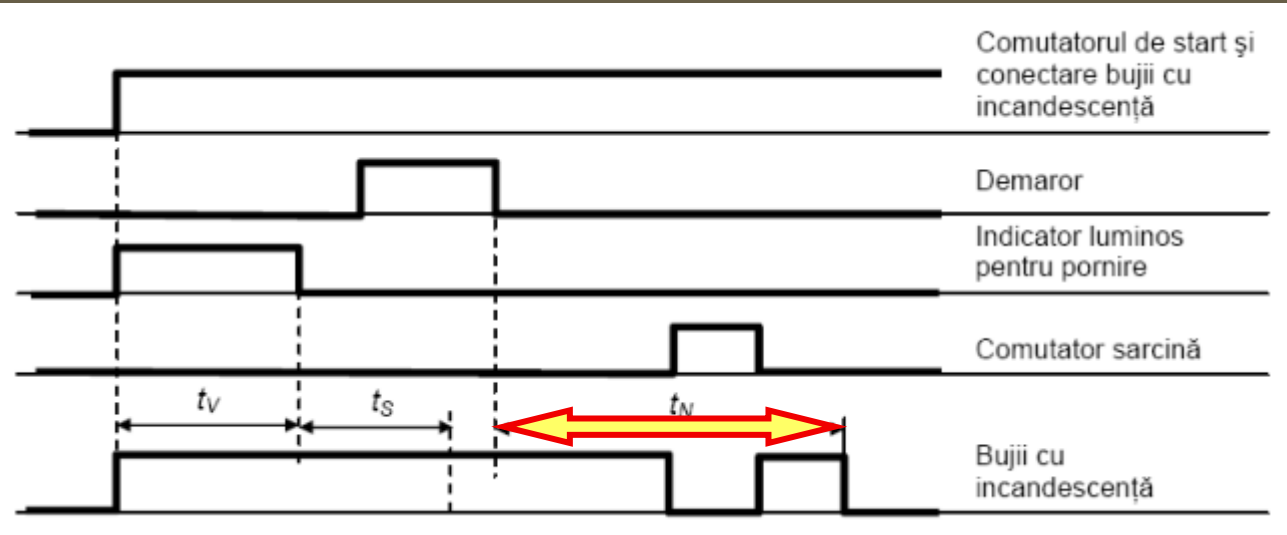


Figura 13.13

În figura 13.14 se prezintă într-o formă sugestivă modul de conectare a elementelor dintr-un sistem de preîncălzire cu bujii cu incandescență.

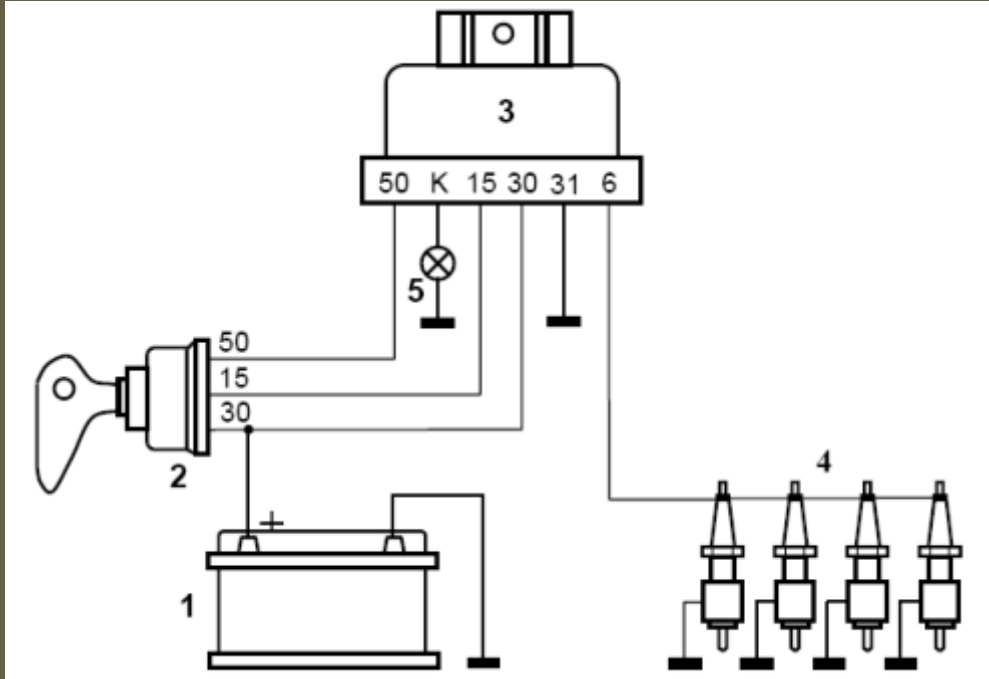
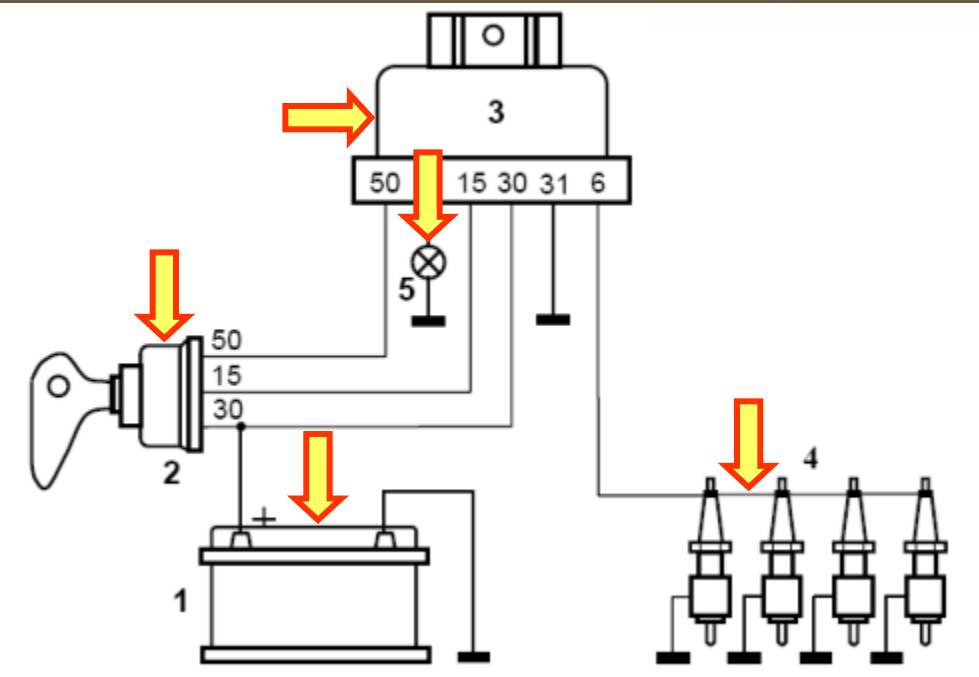


Figura 13.14

Universitatea Tehnică a Moldovei  
Facultatea Calculatoare, Informatică și Microelectronică  
Departamentul Microelectronică și Inginerie Biomedicală

- 1 – baterie
- 2 – contact de pornire și acționare bujii cu incandescență
- 3 – unitate pentru controlul duratei de incandescență
- 4 – bujii cu incandescență
- 5 – lampă indicatoare



## Bujia cu flacără

Bujia cu flacără încălzește aerul în admisie prin arderea carburantului. Structura standard folosește pompa de alimentare a sistemului de injecție pentru a alimenta bujia cu flacără cu combustibil printr-un electroventil.

Accesoriiile de intrare ale bujiei cu flacără includ atât un filtru cât și un dozator pentru a asigura cantitatea corectă de carburant pentru un anumit tip de motor.

Carburantul se vaporizează în tubul de vaporizare, conținut în bujia cu flacără, înainte de a se amesteca cu aerul din admisie. Amestecul se aprinde la capătul bujiei cu flacără, ce atinge temperaturi de peste 1000°C.

Structura unei bujii cu flacără este prezentată în figura 13.15.



- 1 – dozator
- 2 – intrare carburant
- 3 – filtru
- 4 – soclu filetat

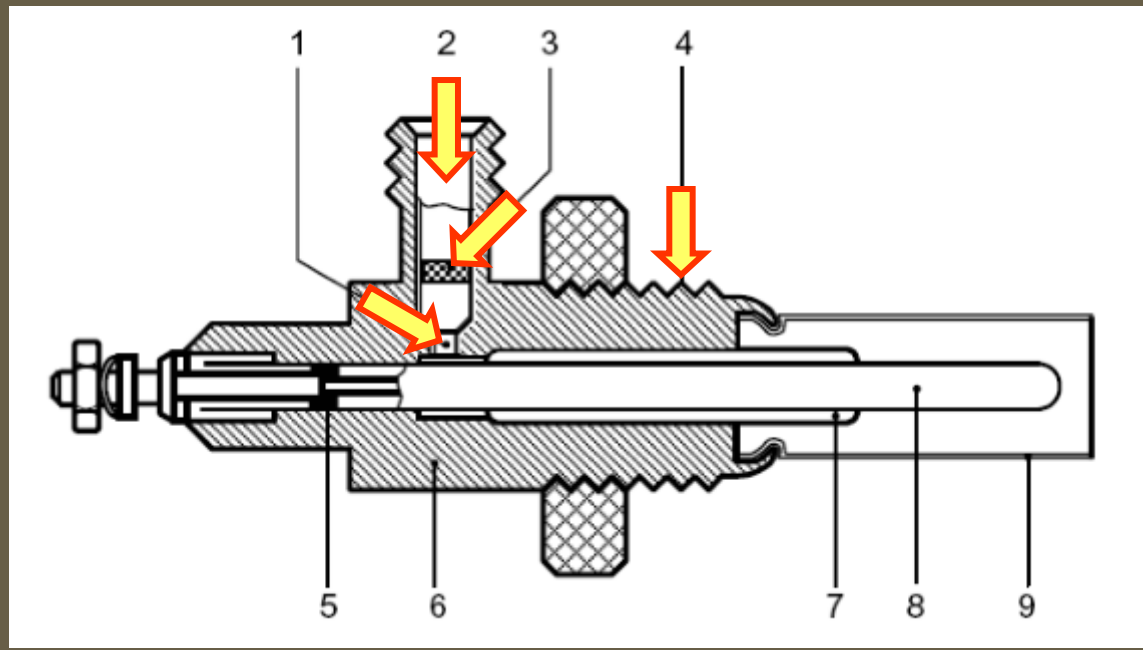


Figura 13.15



- 5 – garnitură
- 6 – carcasă
- 7 – tub de vaporizare
- 8 – element incandescent
- 9 – manșon pentru flacără

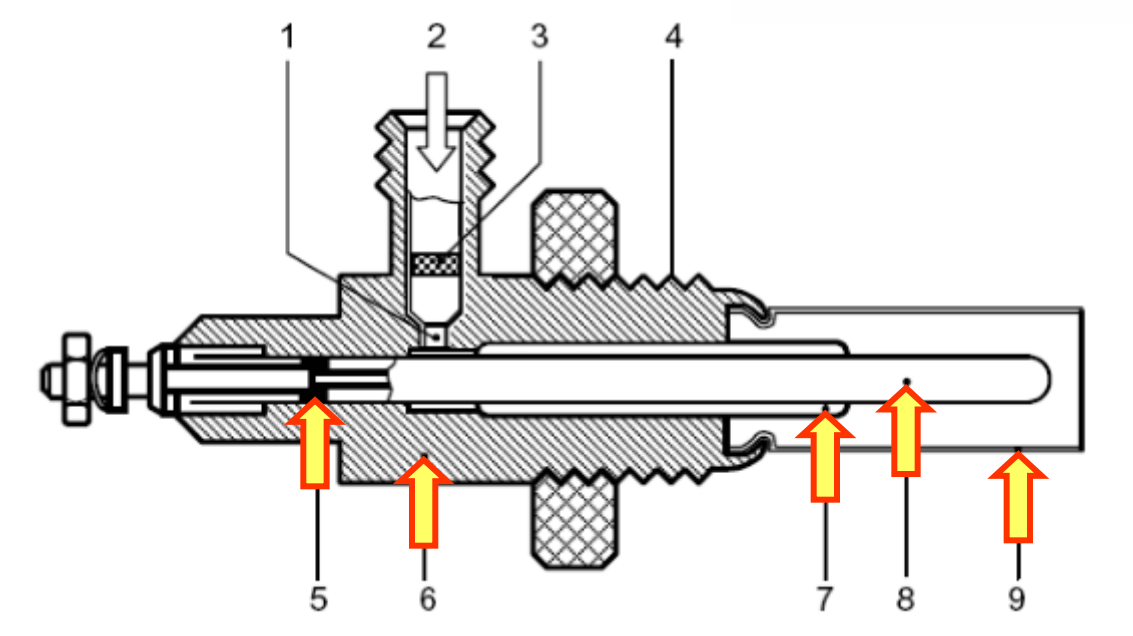
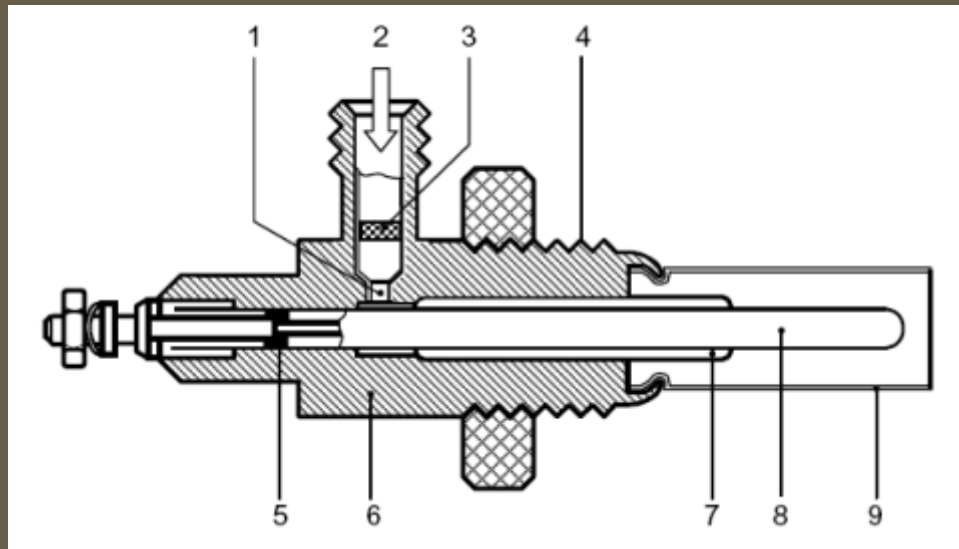


Figura 13.15

Sistemul complet constă din bujie cu flacără, electroventil, comutator pentru controlul pornirii, comutatorul de flacără, unitate pentru controlul duratei flăcării cu releu de putere, indicator luminos și baterie.

O imagine sugestivă a sistemului este prezentată în figura 13.16, cu precizarea pinilor de conectare.



- 1 – baterie
- 2 – comutator pentru incandescentă și demaror
- 3 – comutator pentru flacăra
- 4 – unitate de control a duratei flăcării

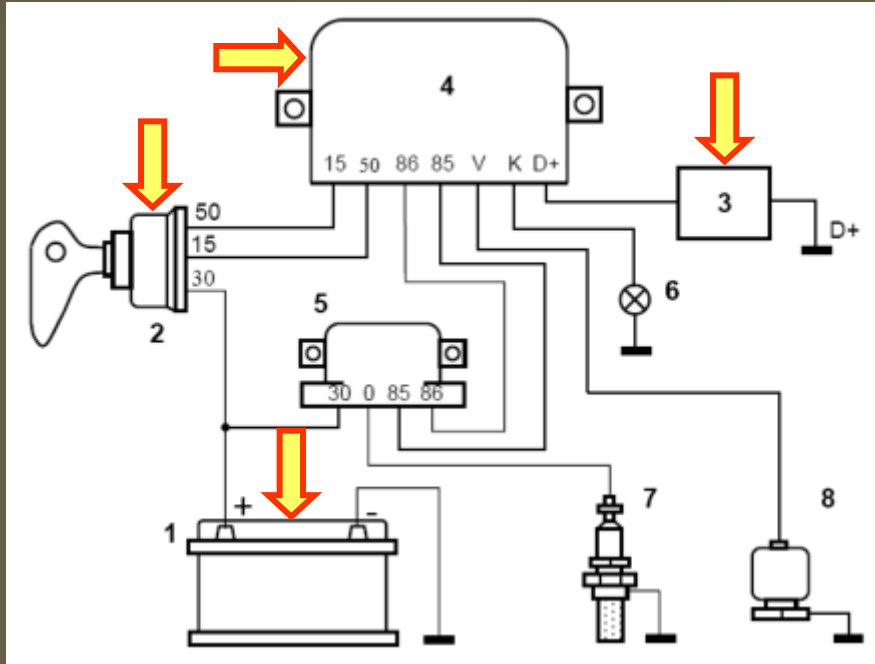


Figura 13.16

- 5 – releu de putere
- 6 – indicator luminos
- 7 – bujie cu flacăără
- 8 – electroventil (pentru carburant)

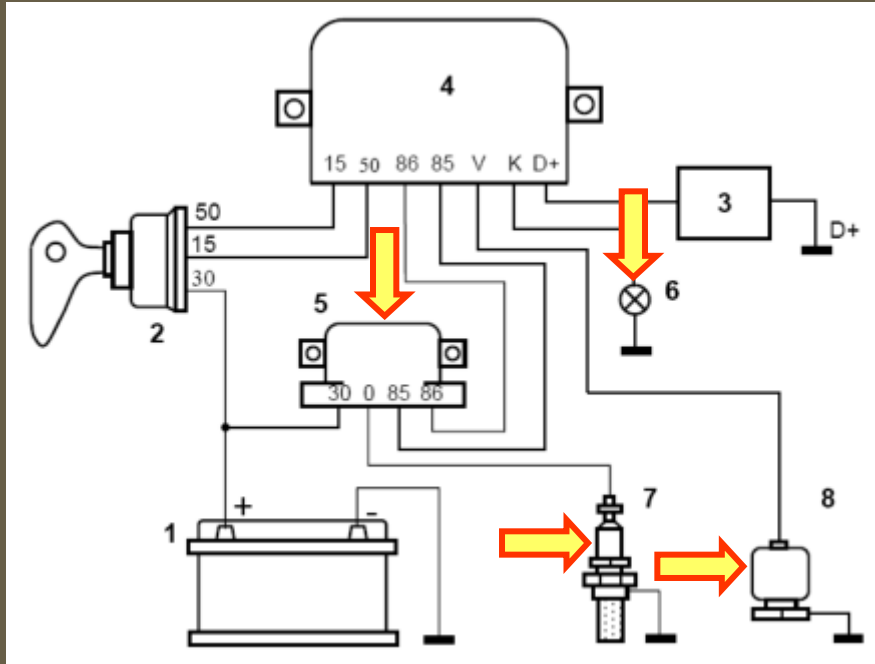
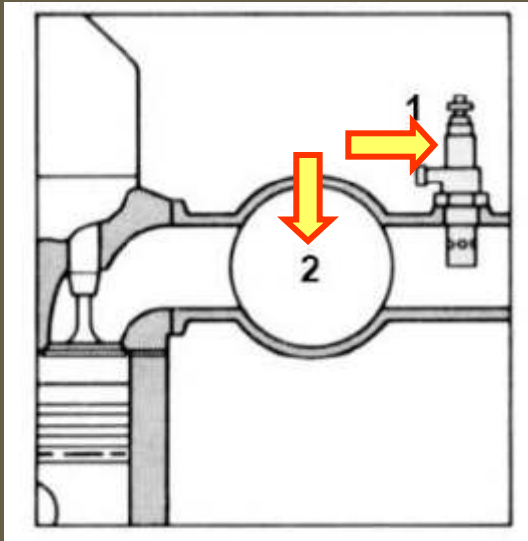


Figura 13.16

Bujia cu flacără este poziționată în galeria de admisie. Temperatura ridicată a elementului incandescent este suficientă pentru a aprinde amestecul aer-combustibil vaporizat, determinând apariția unei flăcări ce încălzește aerul în admisie.

Modul de amplasare a bujiei cu flacără este precizat în figura 13.17.



- 1 – bujie cu flacără
- 2 – galerie de admisie

Figura 13.17

## Modul de utilizare a sistemelor de preîncălzire

Elementul funcțional principal este cel ce produce incandescența (atât la bujiile cu incandescență, cât și la bujiile cu flacără). După acționarea contactului (demarorului) curentul prin elementul incandescent este întrerupt dacă nu mai este necesar un anumit timp specific post-încălzire.

Dacă motorul nu a pornit după stingerea indicatorului luminos, unitatea de control a duratei de incandescență deconectează întreg sistemul după aproximativ 25 secunde. În acest mod se evită încălzirea inutilă a bujiei și descărcarea bateriei.





În eventualitatea unui scurtcircuit în circuitul bujiilor sau a unei supratensiuni la terminalul de intrare, unitatea de control al duratei de incandescență comandă deconectarea sistemului cu ajutorul circuitului de decuplare la scurtcircuit. Sistemul poate fi repornit numai după deconectarea contactului demarorului și a bujiilor de preîncălzire. Sistemul bujiilor de preîncălzire a fost preluat și pe motoarele Diesel de ultimă generație, cu control electronic evoluat, ce utilizează microcomputere.



## CONTROLUL ELECTRONIC AL MOTORULUI DIESEL (EDC)

Electronica avansează din ce în ce mai mult spre prim planul controlului și comenzii motorului Diesel. Se pune adesea întrebarea: "Este într-adevăr necesar să se folosească atât de multă electronică pe vehicul?"

Răspunsul trebuie să aibă în vedere faptul că fără electronică ar fi imposibil să se măsoare un mare număr de mărimi importante, cum ar fi turația, suficient de repede pentru a fi folosite în managementul motorului. Controlul electronic permite motorului Diesel modern să devină mai puternic, mai eficient, silențios, curat și mai economic. Aceste lucruri rămân valabile, indiferent de domeniul sau modul de funcționare a motorului.



Controlul electronic Diesel (EDC = *Electronic Diesel Control*) permite implementarea unor funcții auxiliare, cum ar fi controlul mersului lin (*smoothing control SRC*). EDC se aplică la toate sistemele moderne de injecție Diesel:

- pompe de injecție în linie (PE);
- pompe-distribuitoare de injecție (VE, VR);
- sistem cu injector unitar (UIS - *Unit Injector System*);
- sistem cu pompă unitară (UPS - *Unit Pump System*);
- sistem rampă comună - common rail (CRS - *Common Rail System*).



Deși aceste sisteme diferă din multe puncte de vedere și sunt instalate pe o mare diversitate de vehicule, totuși ele sunt echipate cu forme asemănătoare de EDC.

Sistemele electronice de control Diesel (EDC) sunt sisteme de injecție:

- cu funcții de bază mecanice (dozaj mecanic al carburantului folosind elemente ale pompei de injecție)
- și control electronic (începutul injecției și durata injecției)
- și/sau cu electroventile de înaltă presiune.



Mărimile principale măsurate sunt:

- poziția pedalei de accelerație
- turația motorului.

Mărimile controlate sunt:

- începutul injecției (dependent de turație)
- cantitatea de motorină injectată (dependentă de sarcină).

Spre deosebire de pompa de injecție clasică, la care tija de comandă a pompei este controlată de un regulator centrifugal și, cu un cuplaj, de pedala de accelerație, pentru controlul electronic se utilizează un dispozitiv de acționare electromagnetic ce poziționează tija. Poziția tijei de comandă este urmărită de controler cu ajutorul unui indicator (sensor) de poziție.



Începutul pulverizării motorinei (începutul injecției) este controlat de un alt dispozitiv de acționare electromagnetic.

Mărimile și semnalele ce sunt monitorizate sau controlate în sistemul electronic de control pentru Diesel sunt prezentate în următoarele tabele:





# Universitatea Tehnică a Moldovei

## Facultatea Calculatoare, Informatică și Microelectronică

### Departamentul Microelectronică și Inginerie Biomedicală

MĂRIME DE INTRARE	SENSOR
Turația motorului (pentru reglarea cantității de motorină injectată și a începutului injecției)	Sensor inductiv la axa cu came sau la volantă (indică punctul mort interior)
Începutul injecției / funcționarea injectoarelor	Indicator de punct mort interior și sensor de unghi de rotație (pompă) / sensor de mișcare a acului injectorului
Poziția tijei de control (cu reacție)	Sensor de poziție
Poziția pedalei de accelerație (semnal de sarcină)	Potențiometru antrenat de pedala de accelerație
Temperatura motorului	Sensor de temperatură pentru recunoașterea condițiilor de funcționare: pornire la rece, protecție la supraîncălzire (110°C)
Temperatura aerului din încărcătură pentru calculul masei de aer	Sensor cu coeficient negativ de temperatură (NTC)
Temperatura motorinei pentru calculul masei de motorină injectată	Sensor de temperatură
Masa de aer (semnal de sarcină plină)	Debitmetre masice de aer (cantitate și limită de fum)
Presiune de încărcare	Sensor de presiune atmosferică pentru controler, traductor de presiune de încărcare pentru sistem cu intercooler



**Universitatea Tehnică a Moldovei**  
**Facultatea Calculatoare, Informatică și Microelectronică**  
**Departamentul Microelectronică și Inginerie Biomedicală**

SEMNALE DE IEȘIRE:	DESTINAȚIE – DISPOZITIV DE ACȚIONARE
Indicator de poziție a tijeii de control	Reacție pentru controler
Cantitatea de motorină - cursa activă a elementului de pompare	Dispozitiv electromagnetic de poziționare (în pompă)
Soluție alternativă: electroventile individuale de înaltă presiune	Injectoare electromagnetice sau piezoelectrice
Semnal pentru începutul injecției	Electroventil de control platou (pompă)
Controlul presiunii aerului de încărcare	Valvă de reglare - la sisteme de supraalimentare cu turbocompresor
Controlul valvei de recirculare a gazelor de evacuare (EGR)	Sistem de recirculare a gazelor de evacuare
Control electroventil de oprire	
Bujii de preîncălzire	



CONEXIUNI CĂTRE ALTE SISTEME DE CONTROL (DIRECT SAU PE MAGISTRALĂ CAN):

Sistem de aer condiționat	
---------------------------	--

Panou de bord	
---------------	--

Comutator frâne	
-----------------	--

Regulator turație	
-------------------	--

Sistem de alarmă antifurt	
---------------------------	--

Transmisie electronică de preț ridicat	
--	--

## Controlul electronic în buclă deschisă și în buclă închisă

Cea mai importantă funcție pentru controlul electronic Diesel (EDC) este controlul cantității de motorină injectată și momentul injecției. Sistemul de injecție cu acumulator rampă comună (*common-rail*) controlează de asemenea și presiunea de injecție.

Mai mult, la toate sistemele, unitatea electronică de control (ECU) controlează de asemenea și un anumit număr de dispozitive de acționare. Pentru ca toate componentele să funcționeze eficient, este absolut obligatoriu ca funcțiile EDC să fie cu precizie adaptate la fiecare vehicul și la fiecare motor.

În ambele forme de control, una sau mai multe mărimi de intrare influențează una sau mai multe mărimi de ieșire.



*Controlul în buclă deschisă.* Cu control în buclă deschisă, dispozitivele de acționare sunt declanșate cu semnale de ieșire pe care unitatea electronică de control (ECU) le-a calculat folosind variabilele de intrare, date specificate, cartograme caracteristice și algoritmi.

Rezultatele finale nu sunt verificate (control în buclă deschisă). Principiul este utilizat de exemplu pentru secvența de control a bujiilor cu incandescență.



*Controlul în buclă închisă.* Pe de altă parte, așa cum implică și numele, controlul în buclă închisă este caracterizat de o buclă de control închisă. În acest caz, valoarea reală este în mod continuu comparată cu valoarea dorită, și de îndată ce s-a detectat o deviere, aceasta este corectată printr-o schimbare adecvată în controlul dispozitivului de acționare.

Avantajul controlului în buclă închisă constă în faptul că se detectează și se iau în considerație perturbațiile externe. Controlul în buclă închisă se folosește de exemplu pentru controlul turației de mers în gol a motorului.

De fapt EDC este în realitate "o unitate de control în buclă deschisă și în buclă închisă".

