

### Regimurile de funcționare și definirea sarcinii motoarelor cu ardere internă pentru autovehicule rutiere.

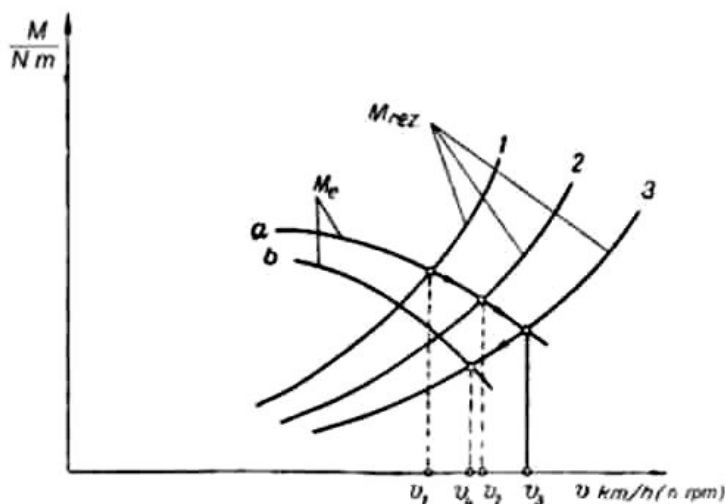
În general, funcționarea unui motor poate fi caracterizată prin valorile celor *trei mărimi* care definesc *regimul* său de funcționare, numit și *regim funcțional*. Aceste trei mărimi sunt *temperatura*, ce definește starea termică a motorului, *turația* motorului și *sarcina* acestuia. Dintre aceste mărimi, ultimele două sunt considerate *mărimi fundamentale*.

*Starea termică a motorului* sau *regimul său termic* reprezintă ansamblul de temperaturi care precizează gradul de încălzire, sau starea de temperatură a pieselor sale componente, în special al organelor mecanismului motor. Regimul termic poate fi precizat prin *temperatura fluidului de răcire* a motorului sau prin *temperatura gazelor evacuate*.

În cazul motoarelor de automobil, *turația* acestora este dependentă, majoritar, de *viteza de deplasare*, deoarece, la un raport de transmisie constant, ele sunt reciproc proporționale. Astfel, considerând exemplul din **fig. 4.1**, curbele **1**, **2** și **3** indică variația cuplului rezistent,  $M_{rez}$  pentru trei condiții diferite de drum (de exemplu, trei pante diferite, sau alte condiții). Curbele **a** și **b** arată două caracteristici de turație ale motorului de propulsie (v. **Cap.12**), exprimate prin momentul efectiv al motorului,  $M_e$ , pentru același reglaj al acestuia (același debit de combustibil sau aceeași poziție a clapetei de admisie). În mod evident, viteza automobilului se determină prin punctul de intersecție al curbelor  $M_e$  și  $M_{rez}$ . Dacă motorul este reglat să funcționeze pe caracteristica **a**, iar automobilul se deplasează cu viteza  $v_1$ , odată cu micșorarea rezistenței la o valoare caracterizată prin curba **2**, turația motorului crește și deci viteza automobilului se mărește la valoarea  $v_2$ . În continuare, la reducerea rezistenței la înaintare la valoarea dată de curba **3**, turația crește, iar viteza devine  $v_3$ . Rezultă clar de aici, că *același moment rezistent se poate aplica arborelui cotit la diferite turații ale acestuia*.

Acțiunea exterioară aplicată de consumatorul de energie, în acest caz automobilul, la cuplajul de legătură al arborelui cotit al motorului, reprezintă *sarcina motorului* sau *încărcarea* acestuia. Cum însă arborele cotit are o mișcare de rotație, acțiunea exterioară se traduce printr-un moment, astfel încât sarcina

motorului este de fapt momentul rezistent,  $M_{rez}$  aplicat acestuia de către consumator.



**Fig. 4.1** Condițiile variabile de funcționare ale motorului de automobil

Așa cum s-a arătat, același moment rezistent se poate aplica arborelui cotit la diferite turații, ceea ce impune ca ori de câte ori se nominalizează sarcina motorului să se precizeze și turația aferentă.

Funcționarea stabilă a motorului într-un anumit regim, presupune ca turația acestuia să se mențină constantă, adică să fie îndeplinită condiția:

$$n = \text{const.} \quad (4.1)$$

O astfel de condiție se realizează însă, după cum se cunoaște, atunci când momentul motor, dezvoltat la arborele cotit este egal cu momentul rezistent, aplicat arborelui cotit, ajungându-se la o nouă condiție, de forma:

$$M_e = M_{rez} \quad (4.2)$$

Se observă că această egalitate face posibilă definirea sarcinii printr-o mărime proprie motorului, adică prin *momentul motor efectiv*,  $M_e$  și nu prin intermediul unei mărimi exterioare, cum este momentul rezistent,  $M_{rez}$ .

Pe de altă parte, așa cum se observă din **fig. 4.1**, la o turație dată, motorul poate dezvolta diferite valori ale momentului efectiv. Acestea pot varia între *valoarea nulă* și *valoarea maximă posibilă*. Valoarea nulă, adică  $M_e = 0$ , semnifică că motorul nu este încărcat, deoarece momentul rezistent este, la rândul său nul,  $M_{rez} = 0$ . O astfel de situație atrage două stări posibile. Prima este *starea banală*, când arborele cotit este în repaus deoarece motorul nu

funcționează. A doua stare se regăsește atunci când arborele cotit este în mișcare și ea generează **regimul de funcționare în gol**, numit și **regim de sarcină nulă**.

Având în vedere că, așa cum s-a menționat anterior, turația și sarcina constituie mărimi fundamentale în precizarea unui regim de funcționare a motorului, dacă se ține seama de gradul de echipare a acestuia, precum și de durata pe care se dezvoltă performanțele sale se pot defini în continuare regimurile sale de referință.

Astfel, **puterea efectivă**,  $P_e$ , reprezintă puterea dezvoltată la arborele motorului, la o turație oarecare, cu specificarea modului de echipare a motorului; rezultă astfel, în funcție de gradul de echipare a motorului, două moduri de exprimare a puterii efective și anume, **puterea efectivă brută** și **puterea efectivă netă** (v. **Cap.12**), numită uneori și **putere efectivă de exploatare**,  $P_{e\ exp}$ . Ea semnifică puterea efectivă la arborele motorului, la un regim de funcționare oarecare, **motorul fiind complet echipat**.

**Puterea efectivă continuă**,  $P_{e\ cont}$  este puterea maximă pe care o poate realiza în mod continuu motorul la o turație dată, fără a-și modifica starea tehnică un timp îndelungat, adică păstrându-și indicii tehnico – economici și gradul normal de uzură.

**Puterea efectivă nominală**,  $P_{e\ n}$ , sau pe scurt **puterea nominală** este puterea efectivă continuă maximă pe care o realizează motorul la cea mai ridicată turație utilizabilă sau la o turație limitată prin cerințe speciale. Turația la care se obține această putere se numește **turație nominală**,  $n_n$ . Trebuie subliniat că regimul nominal, exprimat prin puterea nominală și prin turația nominală, adică prin perechea de parametri ( $P_{e\ n}$ ,  $n_n$ ) constituie regimul de calcul al motorului, la care se efectuează calculul termic și calculul organologic al motorului, fiind, în general, indicat de uzina constructoare.

**Puterea efectivă intermitentă**,  $P_{e\ int}$  este reprezentată de puterea efectivă maximă pe care o poate realiza motorul la o turație dată, scurt timp, fără modificarea stării sale tehnice. Experiențele au demonstrat că limita maximă a suprasarcinilor este de aproximativ 110% , ..., 120%, în condițiile în care puterea efectivă continuă este considerată 100%. Denumirea de putere intermitentă, a unei puteri din regimul suprasarcinilor, este justificată prin faptul că motorul nu poate suporta decât scurt timp o astfel de încărcare; în caz contrar, indicii tehnico-economici se înrăutățesc, iar durabilitatea motorului este compromisă. Durata intermitentă poate fi, de exemplu, tip de 1 h, o dată la 6, 10 sau 12 h sau timp de numai 15 min. o dată la 1 h, cazul din urmă fiind specific motoarelor cu aprindere prin scânteie pentru automobile.

Prin **putere efectivă maximă**,  $P_{e\ max}$  sau **vârful puterii** trebuie să se înțeleagă valoarea cea mai mare a puterii efective utilizabile, deci valoarea cea mai mare a puterii efective intermitente. Valoarea turației la care se produce puterea efectivă maximă trebuie precizată.

Fiecărei puteri definite mai sus i se asociază noțiunea corespunzătoare de **moment** sau de **cuplu**, în concordanță cu regimul respectiv. Dintre acestea, cele

mai semnificative sunt: **momentul motor efectiv continuu**,  $M_{e\ cont}$ , reprezentat prin valoarea momentului motor efectiv, corespunzătoare puterii efective continue la turația respectivă; **momentul motor efectiv intermitent**,  $M_{e\ int}$ , care este valoarea momentului motor efectiv, corespunzătoare puterii efective intermitente, la aceeași turație și **momentul motor efectiv nominal**,  $M_{e\ n}$ , sau **momentul nominal**, dat de valoarea momentului motor efectiv la turația nominală, corespunzătoare deci puterii nominale. **Momentul motor efectiv maxim**,  $M_{e\ max}$ , este valoarea cea mai mare a momentului motor intermitent și se produce la o anumită turație a motorului,  $n_M$ , inferioară turației nominale, adică  $n_M < n_n$ . Raportul acestor două turații, care este în mod evident subunitar, definește coeficientul de elasticitate al motorului, prezentat mai pe larg în **Cap. 12** al acestei lucrări [1, 2, 29, 45].

În raport cu cele prezentate, în continuare se apreciază că este convenabil să se exprime sarcina motorului prin intermediul *gradului de încărcare* a motorului, la o anumită turație, față de o încărcare, considerată de referință. Din acest motiv, gradul de încărcare se mai numește și *sarcină relativă*. Sarcina relativă se definește ca raportul dintre momentul motor dezvoltat,  $M_e$  și un moment motor de referință, ambele mărimi fiind precizate, conform definiției, la aceeași turație. Este comod ca încărcarea de referință să fie cea corespunzătoare momentului efectiv continuu al motorului,  $M_{e\ cont}$  la turația dată. Având în vedere proporționalitatea mărimilor, raportul are aceeași valoare, atât pentru puterile efective, cât și pentru presiunile medii efective. Atribuindu-i acestui raport și denumirea de *coeficient de sarcină*, notat cu  $\chi$ , el devine:

$$\chi = \frac{M_e}{M_{e_{cont}}} = \frac{P_e}{P_{e_{cont}}} = \frac{p_e}{p_{e_{cont}}} \quad (4.3)$$

toate rapoartele fiind definite la aceeași turație,  $n$ . În aceste condiții, denumirea completă este *coeficient de sarcină la turația  $n$* . Coeficientul de sarcină se poate exprima prin valori absolute, adică fracțiuni, sau prin procente, din încărcarea de referință. Aceste valori ale sale diferențiază categorii distincte de sarcini, în cadrul regimurilor motorului, definite și eșalonate în **tabelul 4.1**.

**Tabelul 4.1** Valorile caracteristice ale coeficientului de sarcină

Denumirea sarcinii	Valorile caracteristice
Sarcină nulă	$\chi = 0$
Sarcini parțiale	$0 < \chi < 1$
Sarcină plină (sarcină continuă)	$\chi = \chi_p = \chi_c = 1$
Suprasarcină (sarcini intermitente)	$1 < \chi_i < 1,1 \dots 1,2$
Sarcină totală	$\chi = \chi_t = 1,1 \dots 1,2$

Aceste sarcini tipice, întâlnite în funcționarea motorului, caracterizate prin valorile precizate ale coeficientului de sarcină se definesc în mod complet, în continuare.

Astfel, **sarcina nulă** se obține la un coeficient de sarcină nul,  $\chi = 0$  și, așa cum s-a arătat mai sus, corespunde **regimului de mers în gol**, când motorul nu este încărcat, momentul sau puterea la arborele motorului fiind nule.

**Sarcina plină**, corespunzând **sarcinii continue** a motorului se obține la valoarea  $\chi = 1$  și se poate defini ca **admisia plină**, înțelegându-se prin aceasta consumul de combustibil, notat  $C_{ep}$ , fixat de uzina constructoare, pentru realizarea puterii efective continue, la turația respectivă.

**Sarcinile parțiale** sunt date de mulțimea valorilor  $\chi$ , cuprinse între 0 și 1; sarcinile parțiale sunt deci multitudinea sarcinilor incluse între sarcina nulă și sarcina plină, reprezentând fracțiuni din sarcina plină.

**Sarcina totală**, reprezentată prin valoarea  $\chi = 1,1$  sau  $1,2$ , poate fi definită ca **admisia totală**, înțelegându-se prin aceasta consumul de combustibil, notat  $C_{et}$ , fixat de uzina constructoare, în vederea realizării puterii efective intermitente a motorului, la turația considerată.

Regimurile de **suprasarcini**, corespunzând **sarcinilor intermitente** ale motorului sunt definite de mulțimea valorilor  $\chi$ , cuprinse între 1 și  $1,1, \dots, 1,2$ , adică multitudinea sarcinilor situate între sarcina plină și sarcina totală.

Trebuie arătat că, la motoarele de autovehicule  $\chi_t = \chi_p = 1$ , în timp ce la motoarele de tractoare,  $\chi_t \neq \chi_p$ .

Pe baza celor expuse se poate sublinia faptul că, la o turație dată, sarcina poate fi ilustrată, în afară de valoarea momentului motor efectiv, mai ales la MAS și prin valoarea puterii efective. În același timp, în special la MAC, sarcina se poate exprima, de asemenea, prin valoarea presiunii medii efective.

Deoarece momentul motor efectiv,  $M_e$ , care definește sarcina motorului este proporțional cu lucrul mecanic efectiv,  $L_e$ , în condițiile în care randamentul efectiv,  $\eta_e$  se consideră constant, modificarea sarcinii la turație constantă se realizează prin modificarea cantității de combustibil consumate de motor, adică a dozei de combustibil. Din acest motiv, valoarea sarcinii, pentru un motor dat, se poate exprima și prin **mărimea consumului de combustibil**,  $C_h$ , al motorului.

Așadar, **reglarea sarcinii la o turație constantă înseamnă reglarea dozei de combustibil**. S-au dezvoltat două metode de bază pentru reglarea dozei de combustibil (două metode elementare de reglare a sarcinii) și anume: metoda de **reglare cantitativă** și metoda de **reglare calitativă**.

Metoda de **reglare cantitativă** se aplică la motoarele cu formarea amestecului în exterior, adică la MAS care admite în cilindru simultan aer și combustibil. Organul de reglare este o clapetă, numită și obturator, care se așează în calea amestecului. Pentru a reduce doza de combustibil se obturează parțial canalul, ceea ce reduce inevitabil și cantitatea de aer. Reglarea sarcinii

prin reglarea cantității de amestec aer - combustibil a generat denumirea de reglare cantitativă.

Metoda de *reglare calitativă* se aplică la motoarele cu formarea amestecului în interior, adică la MAC, care admite în cilindru numai aer. Cantitatea de combustibil pe ciclu și cilindru este dozată, în general, de o pompă, iar organul de reglare este o pârghie, denumită generic cremalieră, care variază doza de combustibil refulată de pompă. Teoretic, cantitatea de aer admisă în cilindru rămâne invariabilă cu sarcina, iar cantitatea de combustibil variază linear. Ca urmare, se modifică proporția de combustibil în amestec, adică se variază calitatea amestecului, de unde denumirea de reglare calitativă [2,3].

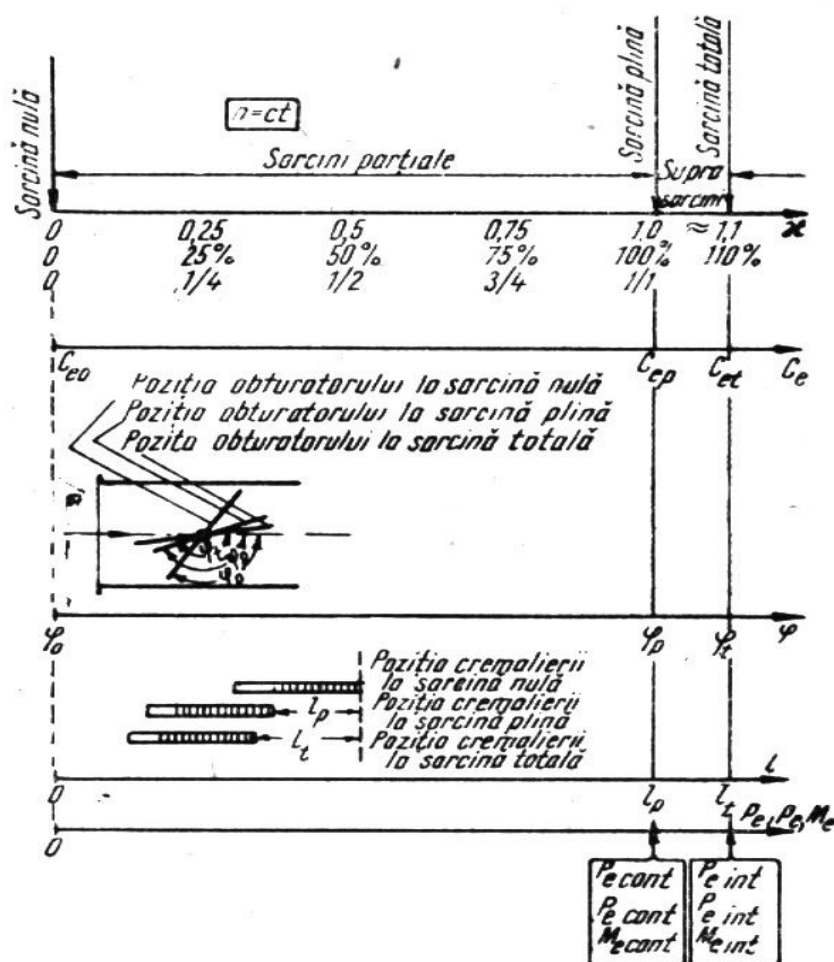


Fig. 4.2 Modalități de reglare a sarcinii

În mod frecvent, sarcina se definește prin poziția organului de reglaj. La MAS, poziția clapetei este definită de unghiul ales convențional. La MAC, poziția cremalierii este definită prin deplasarea  $l$ , măsurată convențional față de o poziție limită. La sarcina totală, deplasarea este limitată de un opritor. În aceste condiții, prin *noțiunea de sarcină constantă* se va înțelege sarcina definită de o poziție fixă a organului de reglaj. La autovehicule, comanda organului de reglaj se realizează prin pedala de accelerare.

Modificarea sarcinii se face deci prin modificarea poziției organelor de reglare a admisiei combustibilului, astfel,

- la MAS prin modificarea poziției unghiulare  $\varphi^\circ$  a obturatorului;
- la MAC prin modificarea poziției  $l$  cremalierii pompei de injecție;

În continuare, după stabilirea acestor elemente de reglaj, se precizează din nou faptul că, *prin sarcină constantă la turație variabilă se înțelege poziția invariabilă a organelor de reglare a consumului de combustibil al motorului, la variația turației.*

Regimurile de funcționare se pot grupa în mai multe clase. Astfel, în raport cu variația în timp a valorilor factorilor de definiție, deosebim *regimul stabilizat* al motorului, atunci când valoarea acestor factori nu variază în timp și *regimul tranzitoriu*, care apare în perioada trecerii de la un regim stabilizat la un alt regim stabilizat și în care se înregistrează o variație a turației, sarcinii și temperaturii fluidului de răcire sau a temperaturii gazelor evacuate.

Pe de altă parte, în raport cu durata de funcționare a motorului se disting, așa cum s-a arătat deja în cadrul definițiilor privind puterile și momentele efective, *regimuri de funcționare continuă* și *regimuri de funcționare intermitentă*.

O altă clasă de regimuri are în vedere *modul de serviciu al motorului*. Prin *modul de serviciu* al motorului se înțelege modul de utilizare în timp a acestuia. Astfel, *serviciul continuu* este acela în care motorul funcționează neîntrerupt durate mari de timp, atât în sarcini parțiale reduse, cât și în sarcini mari, pe când *serviciul intermitent* se caracterizează prin funcționarea cu numeroase întreruperi și staționări, cu durate, uneori relativ mari.

În primul mod de serviciu, adică *serviciul continuu* se înscriu, în special numeroasele tipuri de utilizări staționare, precum și cele de tracțiune feroviară, navală, agricolă etc.

În cadrul celui de al doilea mod de serviciu, constituit de *serviciul intermitent* se pot include o serie întreagă de exemple reprezentative, cum sunt acelea ale motoarelor de rezervă (de intervenție) din centralele electrice, motoarelor utilizate pe grupurile de pompaj etc., precum și acelea ale motoarelor autovehiculelor utilitare cu deplasare în așa numitul sistem „din-poartă-în-poartă” (cazul autovehiculelor destinate colectării gunoierului menajer, a autovehiculelor de aprovizionare cu alimente, sau a celor de distribuție a presei etc.)

Din punctul de vedere al *severității serviciului* se pot distinge trei categorii de servicii și anume, *serviciul sever*, *cel mijlociu* și *serviciul ușor*. Problema încadrării într-un serviciu sau în altul se pune diferit, în funcție de tipul motorului și anume MAS sau MAC

Astfel, pentru *motorul cu aprindere prin scânteie*, severitatea serviciului depinde atât de condițiile funcționale, cât și de trăsăturile constructive ale motorului. La aceste motoare, condițiile de funcționare pot varia între mers prelungit la turații ridicate sau la sarcini mari, la temperaturi exterioare mari și mers îndelungat încet, atât în gol (ralanti), cât și la sarcini reduse, la temperaturi exterioare joase, astfel încât categoriile de servicii specifice se vor defini pe baza celor expuse în continuare.

*Serviciul sever* cuprinde două tipuri de condițiile de funcționare, și anume:

- pornire-oprire (ca, de exemplu, cel „din-poartă-în-poartă”), în care se funcționează intermitent sau cu ralantiuri îndelungate, mai ales la temperaturi exterioare joase;

- funcționarea la temperaturi înalte, la sarcini mari și suprasarcini sau la turații foarte înalte (supratații), mai ales cu un caracter continuu, la temperaturi exterioare mari.

*Serviciul mijlociu* nu cuprinde precedentele funcționări îndelungate, la temperatură joasă a motorului, cum este cazul condițiilor de tip pornire - oprire.

*Serviciul ușor* include mersul cu turații moderate la sarcini moderate, în cea mai mare parte a duratei de funcționare, fără ca temperaturile motorului să fie prea înalte sau prea joase.

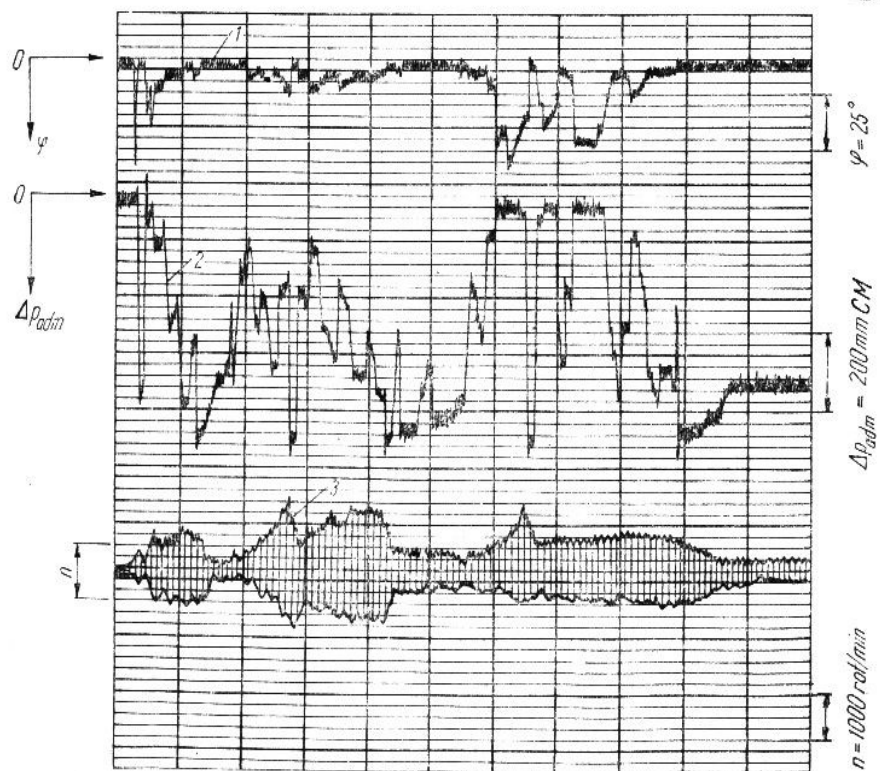
Pentru *motorul cu aprindere prin comprimare*, severitatea serviciului depinde în primul rând de încărcările aplicate motorului.

Astfel, *serviciul sever* este atât cel în care se aplică încărcări mari și supraîncărcări la temperaturi atmosferice mari, cât și cel care cuprinde încărcări intermitente, dar la temperaturi joase.

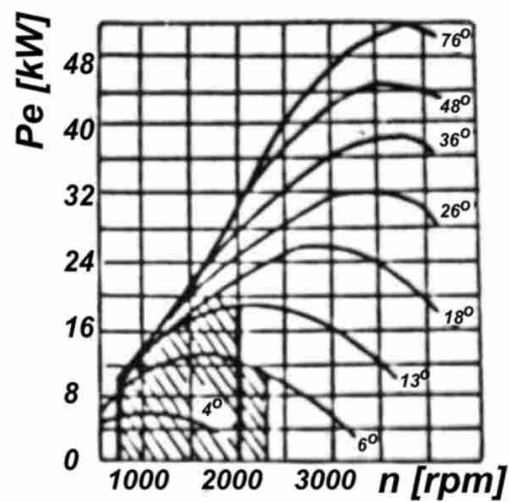
*Serviciile mijlocii și ușoare* sunt acelea în care încărcarea nu depășește pe cea normală, putând fi aplicată continuu sau intermitent, dar la temperaturi normale [2].

Având în vedere aspectele dezvoltate pe parcursul acestui capitol se poate concluziona că la nivelul unui autovehicul, încărcarea motorului depinde atât de condițiile de deplasare, cât și de tipul serviciului, precum și de tipul autovehiculului și de gradul de încărcare al acestuia. În această idee, în **fig. 4.3** se arată variația poziției obturatorului, a turației și a vitezei de înaintare, la deplasarea unui autovehicul utilitar, echipat cu motor cu aprindere prin scânteie, în condiții de trafic urban intens [17]. Se observă că deschiderea obturatorului a atins numai o singură dată 44% din deschiderea maximă, ceea ce arată că ponderea sarcinilor și turațiilor mari în funcționarea motorului este redusă, predominând sarcinile parțiale mici și regimul de mers în gol, ceea ce din punct de vedere economic nu este deloc avantajos pentru motorul de automobil.





**Fig. 4.3** Regimurile de funcționare a motorului de automobil în trafic urban intens  
 1 – variația poziției obturatorului; 2 – depresiunea din traseul de admisie; 3 – turația motorului



**Fig. 4.4** Frecvența regimurilor de funcționare în funcție de turație și gradul de deschidere al obturatorului

Acest aspect este pus în evidență și cu ajutorul **fig. 4.4**, în care, pe caracteristica de turație a motorului se pot remarca regimurile cele mai frecvente, marcate prin zona hașurată, precum și valorile unghiulare ale deschiderii obturatorului, corespunzătoare diverselor sarcini ale motorului.