

# MANUAL DE



## SISTEME DE PROPULSIE

Autor: pil. instr. ing. Sorin NUȚU



## Cuvant inainte

Acest manual este adresat pilotilor sportivi și pilotilor profesionisti care exploatează aeronave dotate cu motor cu piston (avioane, motoplanoare sau aeronave ultrausoare motorizate).

De asemenei, este folositor pilotilor comerciali, pentru aeronavele echipate cu sistem de propulsie clasic, compus dintr-un motor cu piston și elice (SEP(A)).

Scopul manualului este de a familiariza cititorul, în primul rand cu elementele componente și terminologia specifică sistemelor de propulsie ale aeronavelor ce au în compunere un motor cu piston. Gradul de adâncime este la latitudinea cititorului, manualul oferind și date minime ce tin de teoria motorului cu piston, suficiente pentru exploatarea cu eficiență.

Notiunile scrise cu caracter ingrosat (bold) sunt de prima importanță în înțelegerea minimală a acestor agregate energetice, care sunt motoarele cu piston.

Manualul, în general, poate fi asimilat cu cunoștințe de matematică și fizică la nivel de bacalaureat, în partea de introducere existând și un memorator matematic doar pentru notiunile definite și folosite.

Manualul se mai adresează și pilotilor instructori de avioane usoare (SEP(A)), motoplanoare sau aeronave ultrausoare motorizate (ULM), dar, totuși, informațiile din manual sunt acoperitoare doar pentru prezentarea motorului cu piston în 4 timpi, necontinând informații despre motorul în 2 timpi, destul de des utilizat pe aeronave ultrausoare. Poate o ediție revizuită va contine și acest capitol.

Manualul este suficient pentru pregătirea pilotilor pentru obținerea licenței PPL(A), și în parte, pentru pregătirea pilotilor CPL(A), mai puțin partea de motoare aeroreactoare (rotative).

Manualul este destinat pregăririi elevilor piloti și pilotilor sportivi, ce frecventează cursurile teoretice și practice de zbor ale Aeroclubului României, disciplina zbor cu motor.

Autorul multumeste, pe aceasta cale, colegilor de la Aeroclubul României care m-au sprijinit la realizarea acestui manual.

Autor,

pil. instr. ing. Sorin NUTU

## SA NE ADUCEM AMINTE

O functie numerica este o legatura sau relatie, in care un numar numit "functie" este unic determinat de un alt numar, numit argument sau variabila. Si scriem ca  $f(x)$ , adica numarul  $f$  este unic determinat de numarul  $x$  (sau, mai pe scurt,  $f$  este "functie" de  $x$ ).

Legatura intre cele doua numere este foarte bine reprezentata pe cale grafica, si cel mai utilizat sistem este cel de coordonate carteziene (perpendiculare) (vezi fig. 1).

O functie particulara este functia exponentiala de forma  $f(x)=a^x$ , unde  $a$  ( $a>0$ , si  $a\neq 1$ ) se numeste baza. De aici  $x=\log_a f$ , iar functie noua,  $f(x)=\log_a(x)$ , se numeste functie logaritmica, si este inversa functiei exponentiale. Ca logaritmul sa existe, este necesar ca  $x>0$  (si, bineintele  $a>0$ ,  $a\neq 1$ ).

Proprietati ale logaritmilor:

- $\log_a(m \cdot n) = \log_a m + \log_a n$ ;
- $\log_a m^n = n \cdot \log_a m$ ;

Cel mai folosit logaritmu este logaritmul natural, a carui baza este numarul  $e$  (al lui Euler,  $e=2,71828\dots$ ). Acesta se noteaza  $\ln$ .

Derivata unei functii intr-un punct  $x_0$ , este "cresterea" functiei in acel punct, sau altfel spus, panta sau inclinarea dreptei ce aproximeaza functie in acel punct. Daca dreapta ar avea expresia  $\Delta_{x_0}(x)=a \cdot x + b$ , atunci numarul  $a$  reprezinta panta dreptei in acel punct (cu cat  $a$  este mai mare, cu atat panta este mai mare; daca  $a<0$  atunci panta este "cobaratoare", deci dreapta descreste) (vezi fig. 1).

$$a = \lim_{x \rightarrow x_0} \frac{f(x) - f(x_0)}{x - x_0} = f'(x_0); \text{ Exemplu: pentru } f(x) = k \cdot x, f' = (k \cdot x)' = k, k \text{ numar constant.}$$

Diferentiala unei functii  $f$  in un punct  $x_0$ , reprezinta variația aproximarii liniare a functiei  $f$  cand variabila  $x$  se apropie oricar de mult de  $x_0$  (adica  $x$  tinde la  $x_0$ , si  $x \neq x_0$ , sau  $x \rightarrow x_0$ ).

Diferentiala este o aplicatie (functie) liniara de forma:  $\Delta_{x_0}(h) = f(x_0) \cdot h$ , (in fig 1  $a=f(x_0)$ ,  $b=0$ ,  $x=h$ ), differentiala functiei  $f$  se noteaza  $df$ , deci  $df_{x_0} = f'(x_0) \cdot h$ .

Daca  $f(x)=x$  (functia identica) atunci  $df = f' \cdot h = h$ , deci  $df = dx = h$ .

Atunci putem scrie simplificat pentru orice valoare  $x_0$ ,  $df = f' \cdot dx$ . De aici avem o alta notatie pentru derivata, si anume:

$df$

$$\frac{df}{dx} = f'$$

Proprietati ale derivatelor si diferențialelor:

Daca  $f$  si  $g$  sunt doua functii si  $k$  un numar constant, atunci:

- $(f+g)' = f'+g'$ ;  $d(f+g) = df + dg$ ,
- $(k \cdot f)' = k \cdot f'$ ;  $d(k \cdot f) = k \cdot df$ ,
- $(f \cdot g)' = f' \cdot g + f \cdot g'$ ;  $d(f \cdot g) = df \cdot g + f \cdot dg$ .

Primitiva unei functii  $f(x)$  este o functie  $F(x)$  astfel incat  $F'(x) = f(x)$  si se scrie:

$\int f(x) dx = F(x) + C$ , unde  $C$  este un numar constant (deoarece  $(F(x) + C)' = F'(x)$ , oricare ar fi  $C$ ).

Integrala definita a unei functii  $f(x)$  intre doua valori  $a$  si  $b$  ale lui  $x$ , reprezinta aria dintre axa Ox, dreptele verticale ce trec prin punctele  $x=a$  si  $x=b$  si graficul functiei  $f(x)$  si este:

$$A_{a,b} f(x) = \int_a^b f(x) dx = F(b) - F(a) \quad (\text{vezi fig. 2});$$

Proprietati ale primitivelor si integralelor si integrale particulare:

Daca  $f$  si  $g$  sunt doua functii si  $k$  un numar constant atunci:

$$\begin{aligned} \int (f+g) dx &= \int f dx + \int g dx; & \int (1/x) dx &= \ln(x) + C, x>0; \\ \int (k \cdot f) dx &= k \cdot \int f dx; & \int x^k dx &= x^{k+1}/(k+1) + C, k \text{ numar constant.} \end{aligned}$$

Derivata parțială a unei functii  $f(x,y,z)$  în funcție de variabila  $x$ , notată  $\frac{\partial f}{\partial x}$ , este:

$$\frac{\partial f}{\partial x} = \lim_{x \rightarrow x_0} \frac{f(x_0, y, z) - f(x_0, y, z)}{x - x_0}$$

Pentru derivarea parțială a functiei  $f(x,y,z)$  după  $x$ , variabilele  $y$  și  $z$  se consideră constante, și se derivează după variabila  $x$ .

Diferentiala totală a unei functii  $f(x,y,z)$  este:

$$df = \frac{\partial f}{\partial x} dx + \frac{\partial f}{\partial y} dy + \frac{\partial f}{\partial z} dz;$$

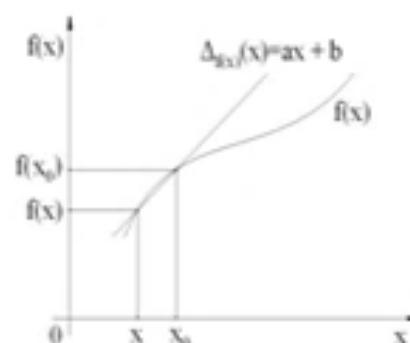


Fig. 1

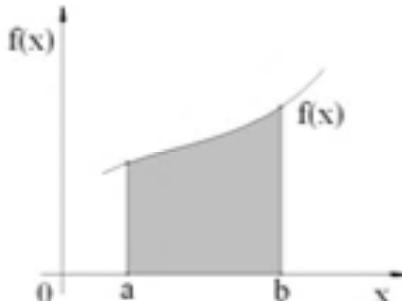


Fig. 2

## SISTEME DE PROPULSIE

Sistemele de propulsie asigura forta de tractiune a avionului.

Propulsia unui avion se poate face tractiv, cand forta de tractiune este aplicata in partea din fata a avionului sau propulsiv, cand forta de tractiune este aplicata in partea din spate a avionului.

Sistemul de propulsie poate fi:

1. clasic, cu elice: - format dintr-un motor cu piston (+ reductor) + elice;
2. cu turbopropulsor: - format dintr-un ansamblu turboreactor cu priză de putere + reductor + elice;
3. cu turboreactor: - cu simplu flux;  
- cu dublu flux.

### 1. MOTOARE

Motoarele sunt componente ale sistemului de propulsie care furnizează lucru mecanic necesar producerii forței de tractiune a aeronavei.

**MOTORUL** este agregatul energetic care transforma energia potențială, depozitată sau înmagazinată sub formă de combustibil (gazos, lichid, solid, electric, nuclear), în lucru mecanic furnizat la un arbore și/sau împriimat fluidului de lucru.

#### 1.1. CLASIFICAREA MOTOARELOR

**A. Motor cu ardere externă:** - arderea combustibilului se face în exteriorul motorului, iar fluidul de lucru este apă transformată în abur:

- cu piston; alternativ (Watt);
- rotativ (termocentrală).

**B. Motor cu ardere internă:** - arderea combustibilului se face în interiorul motorului, iar fluidul de lucru este amestecul de aer și combustibil sau gazele rezultate din ardere:

1. cu piston, alternativ:

- cu aprindere prin scânteie - **MAS** - amestecul carburant se aprinde cu ajutorul unei descărcări electrice de înaltă tensiune (Otto);
- cu aprindere prin compresie - **MAC** - amestecul carburant se aprinde de la sine, atunci când se obțin condițiile propice de presiune și temperatură (Diesel).

Acstea pot fi cu ciclu motor în doi timpi (2t) sau în patru timpi (4t) și pot avea:

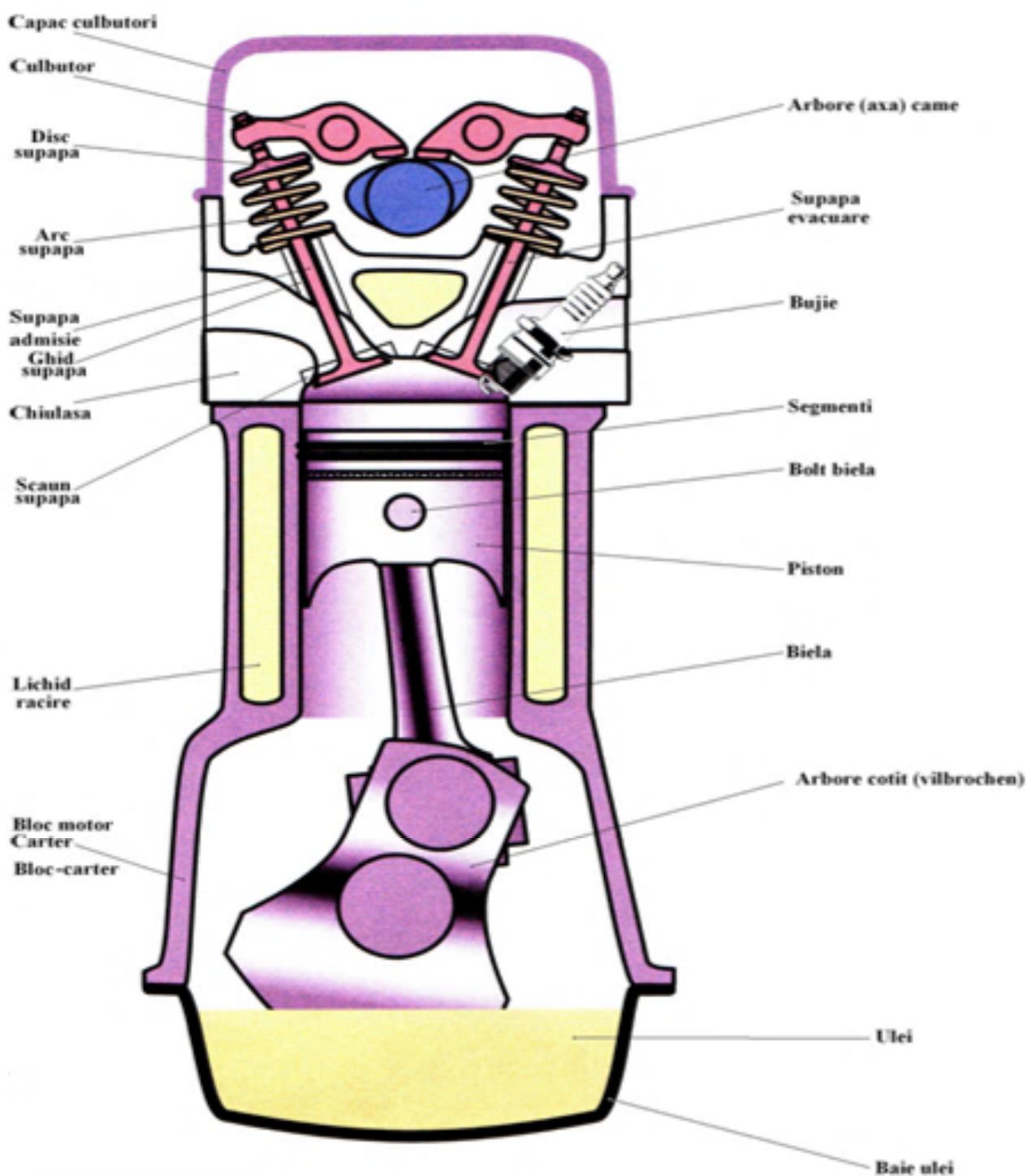
- |                          |  |
|--------------------------|--|
| - admisie naturală (MAN) | - aerul pătrunde în motor la presiunea mediului ambient;   |
| - admisie forțată (MAF)  | - aerul este precomprimat înainte de intrarea în motor printr-un compresor antrenat mecanic ( $MAF_{mc}$ ) sau printr-un grup turbocompresor ( $MAF_{tc}$ ). |

2. rotativ:

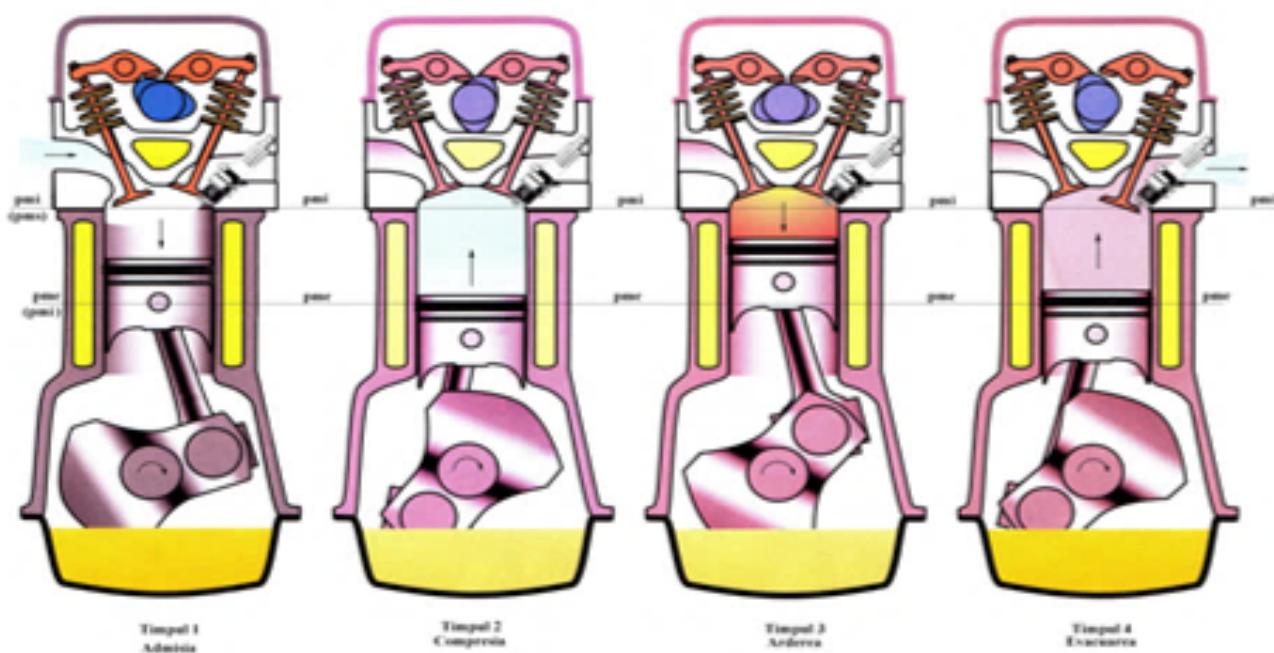
- turboreactor (TR);
- turbopropulsor (TP - un ansamblu de turboreactor cu priză de putere + reductor + elice);
- turbomotor (TM - un turboreactor clasic-generator de gaz, la care este cuplată o priză de putere sau se atașează una sau mai multe treapte de turbină liberă);
- turboreactor cu dublu flux (TRDF): cu fluxuri separate ( $TRDF_s$ ) sau cu fluxuri amestecate ( $TRDF_{am}$ );
- statoreactor (SR).

## 1.2. MOTORUL CU APRINDERE PRIN SCANTEIE, IN 4 TIMPLI, CU ADMISIE NATURALA (MAS4t-MAN)

### 1.2.1. Descrierea sumara a MAS4t-MAN



### 1.2.2. Ciclul de functionare al MAS4t-MAN



#### I ADMISIA.

Pistonul execută mișcarea de coborâre între PMI (poziția extremă interioară a pistonului – punctul mort interior) și PME (poziția extremă exterioară a pistonului – punctul mort exterior). Supapa de admisie (SA) este deschisă, motorul aspiră amestecul carburant (aer + benzină) prin galeria de admisie (GA).

#### II COMPRIMAREA.

Pistonul execută cursa din PME în PMI. Ambele supape sunt închise, amestecul carburant se comprimă.

#### III ARDEREA (APRINDEREA + DETENTA)

Se inițiază arderea în momentul în care pistonul se află în PMI, presiunea și temperatura în interiorul motorului cresc, se execută cursa din PMI în PME, pistonul preluând energia gazelor arse.

#### IV EVACUAREA.

În acest timp pistonul execută cursa din PME în PMI, supapa de evacuare (SE) este deschisă și motorul evacuează gazele arse în afara să, prin galeria de evacuare (GE).

#### Observație!

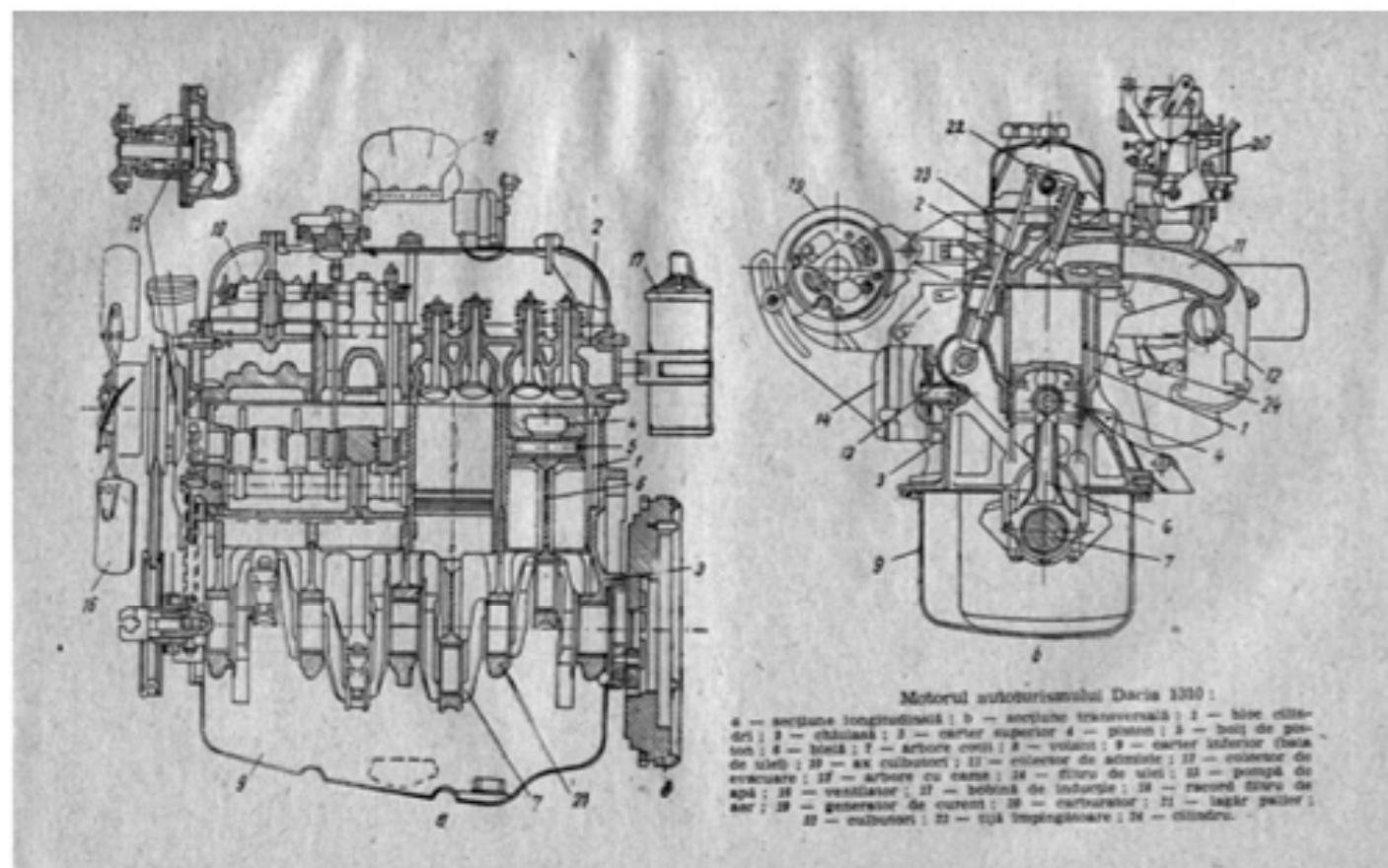
La MAS4t, singurul timp motor (timp furnizor de lucru mecanic) este timpul III. Energia necesară celor trei tempi rezistenți este prestată de VOLANTĂ (o masă de metal de formă discoidală montată pe arborele cotit) sau ELICE (la avion) care înmagazinează energie sub forma de moment cinetic (energie cinetică de rotație).

### 1.2.3. Descrierea detaliata a partilor componente ale MAS4t-MAN

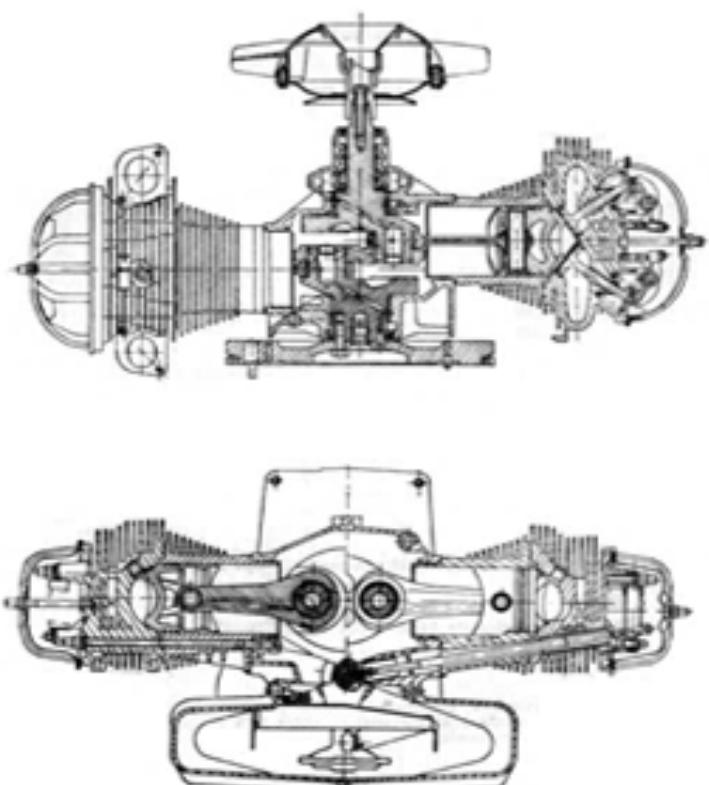
Din punct de vedere constructiv MAS4t pot fi:

- dupa numarul de cilindrii:
  - MAS4t monocilindru;
  - MAS4t multicilindru:
    - cu cilindrii dispusi in:
      - linie normali, inversati sau culcati;
      - boxer;
      - V sau W;
      - stea sau dublu-stea decalata;
- dupa metoda de racire:
  - cu racire cu lichid;
  - cu racire cu aer;
  - cu racire mixta (aer + lichid);
- dupa schema instalatiei de ungere:
  - cu carter umed (cu baie de ulei);
  - cu carter uscat (cu rezervor de ulei);

#### MAS4t-MAN CU 4 CILINDRI IN LINIE NORMAL, RACIT CU LICHID, CU CARTER UMED

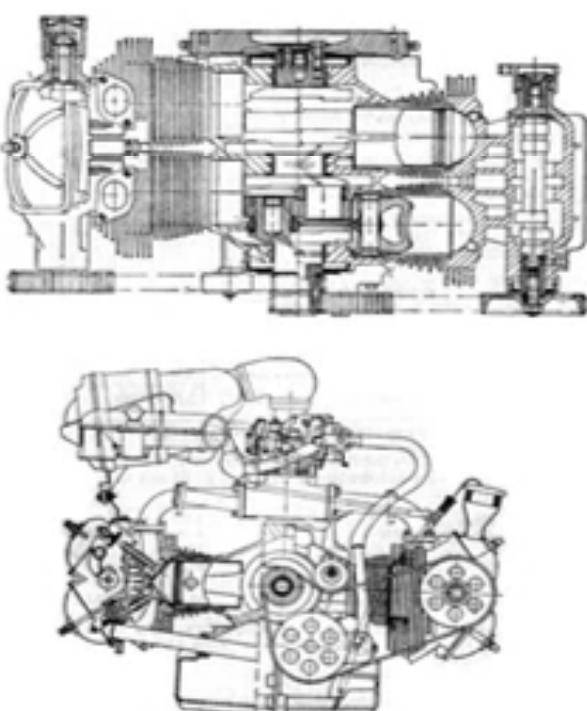


**MAS4t-MAN CU 2 CILINDRI BOXER, RACIT CU AER, CU CARTER UMED**



Motorul automobilului Officie special.

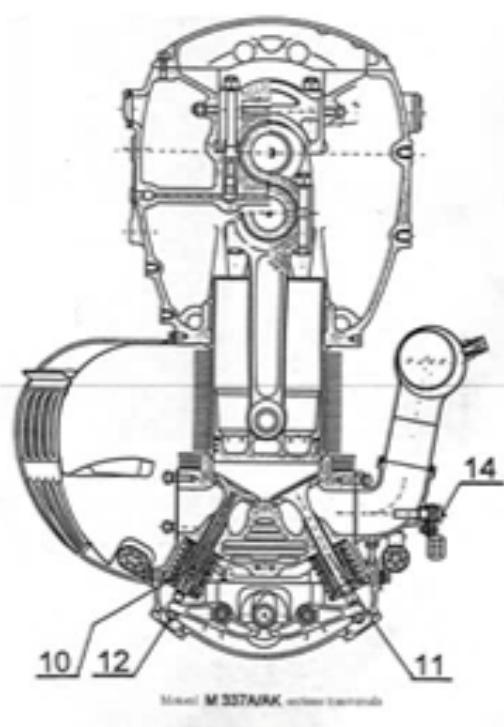
**MAS4t-MAN CU 4 CILINDRI BOXER, RACIT CU AER, CU CARTER UMED**



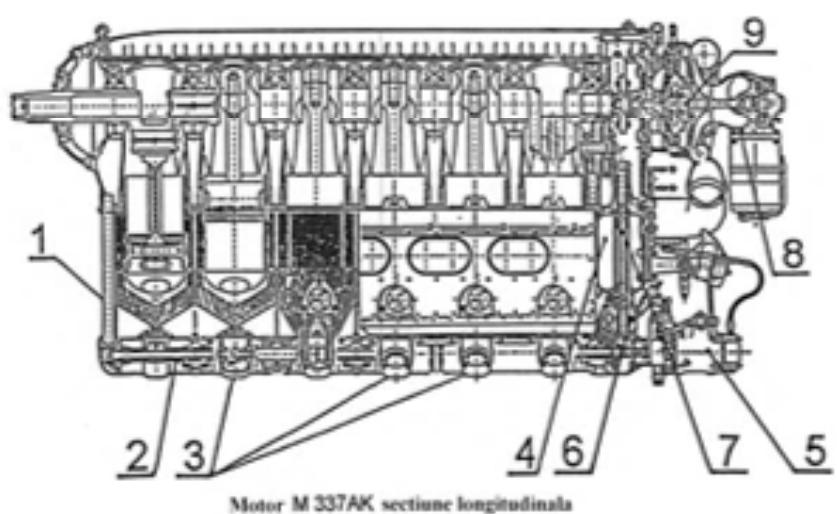
Motorul automobilului Officie Club



MAS4t-MAF<sub>MEC</sub>, CU 6 CILINDRI IN LINIE INVERSAT, RACIT CU AER, CU CARTER USCAT  
(MOTOR M337, AVION ZLIN142) – 2 SECTIUNI



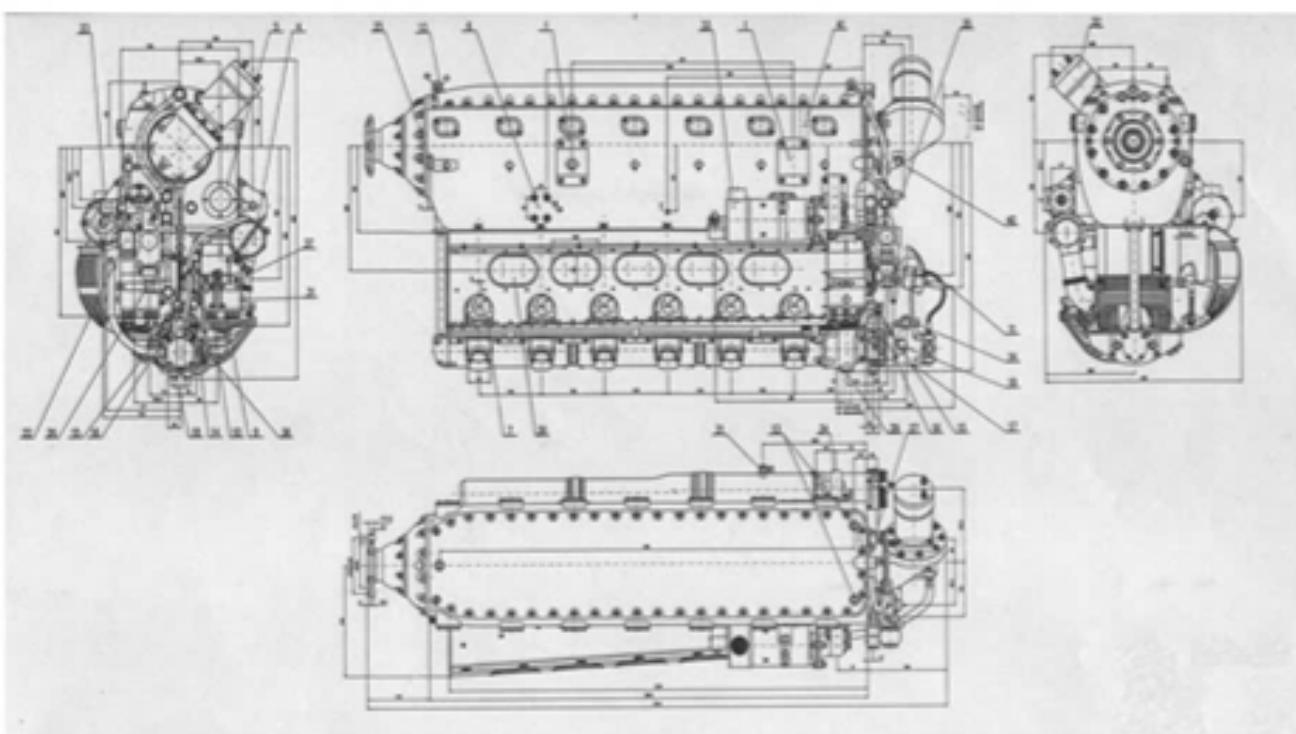
Motor M 337AK, sectiune frontală



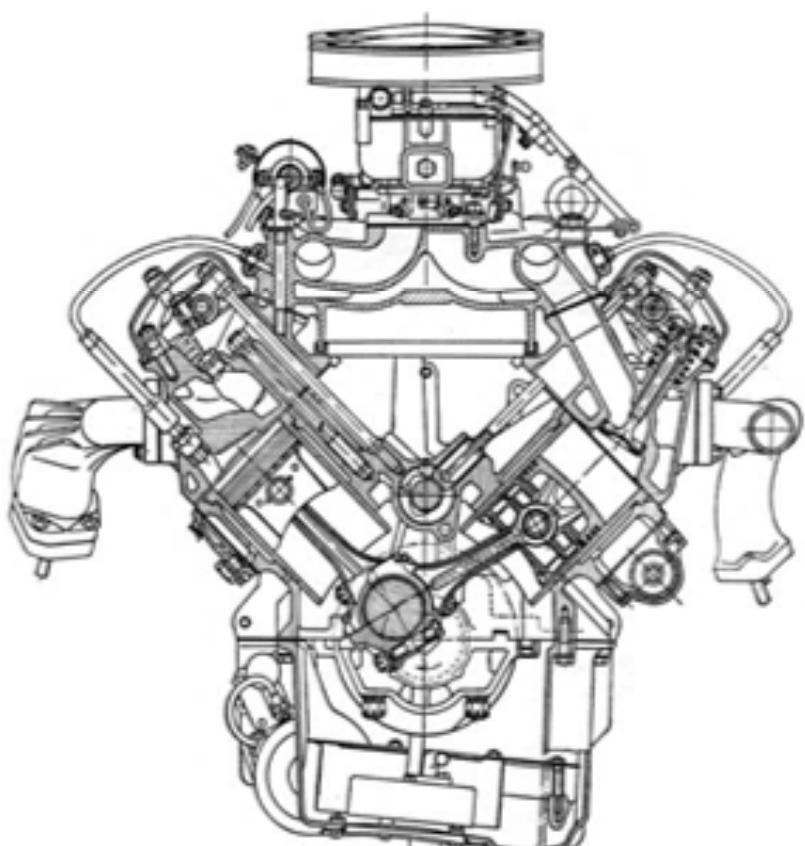
Motor M 337AK, sectiune longitudinală



**MAS4t-MAN, CU 6 CILINDRI IN LINIE INVERSAT, RACIT CU AER, CU CARTER USCAT  
(MOTOR MI37, AVION ZLIN726/526) – 4 VEDERI**



**MAS4t-MAN CU 8 CILINDRI IN V NORMAL, RACIT CU LICHID, CU CARTER UMED**



Motor cu cilindri în V.



### 1.2.3.1. BLOCUL MOTOR (CARTER / BLOC-CARTER)

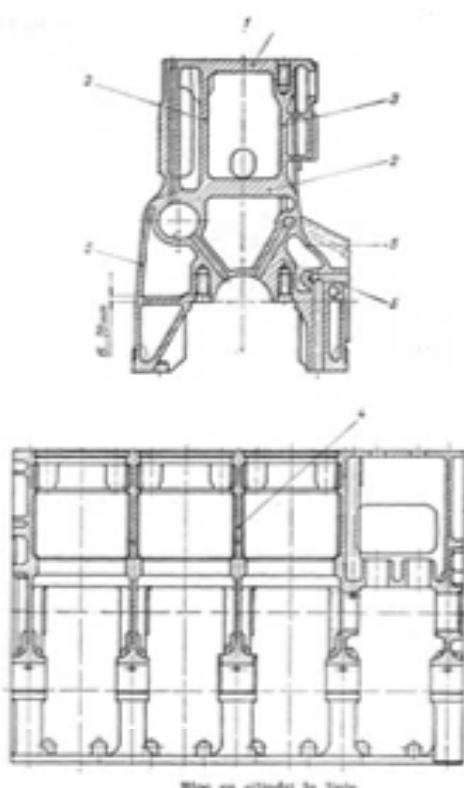
Blocul motor face legatura intre organele si agregatele motorului, fiind si piesa de care motorul se fixeaza pe masina pe care este instalat (aeronava, automobil, barca etc.).

Pe blocul motor este fixat arborele cotit prin intermediul fusurilor paliere. In interiorul blocului motor se afla montate camasile cilindrilor, in care culiseaza pistoanele. Camasile cilindrilor pot fi piese separate sau poate fi aceeasi piesa cu blocul motor. La partea inferioara a blocului motor se afla, la motoarele cu ungere cu carter umed, baia de ulei. La partea superioara a blocului motor se afla fixata chiulasa. La unele motoare de aviatie, cu cilindrii raciti cu aer, camasa cilindrului este fixata pe blocul motor, iar pe camasa se fixeaza, la celelalte capat, chiulasa. La motoarele racite cu lichid, in blocul motor exista canalizatii de racire, prin care se circula lichidul de racire.

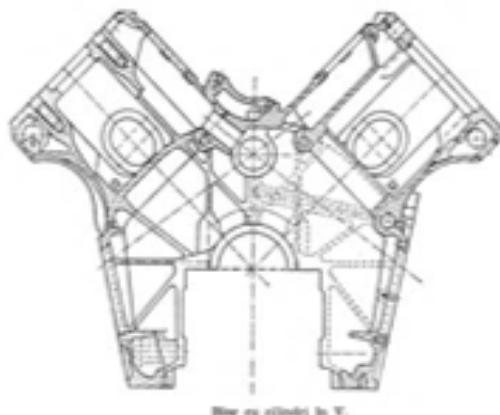
La unele motoare, in blocul motor este montat si arborele cu came, ce actioneaza culbutorii prin intermediul unor tacheti si tije impingatoare.

Pe blocul motor sunt fixate agregatele motorului (pompe de ulei, apa, hidraulice sau vacuum, compresoare de aer, generatoare de curent: alternatoare sau magnetouri, electromotoare de pornire, sistemul de distributie si aprindere etc.).

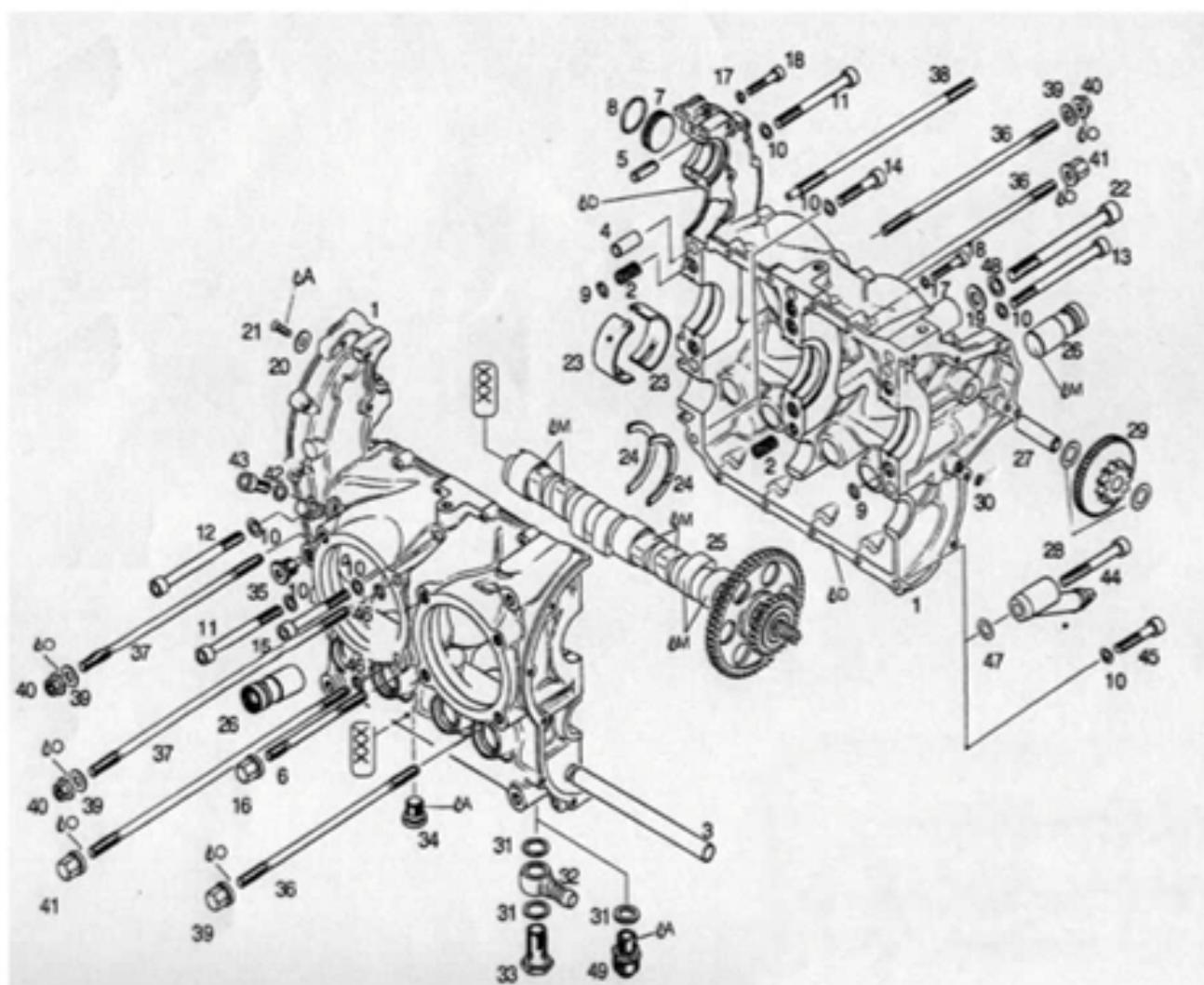
BLOC MOTOR CU CILINDRI IN LINIE



BLOC MOTOR CU CILINDRI IN V



BLOC MOTOR (CARTER) MOTOR 4 CILINDRI BOXER (MOTOR ROTAX 912, AVION IAR46)

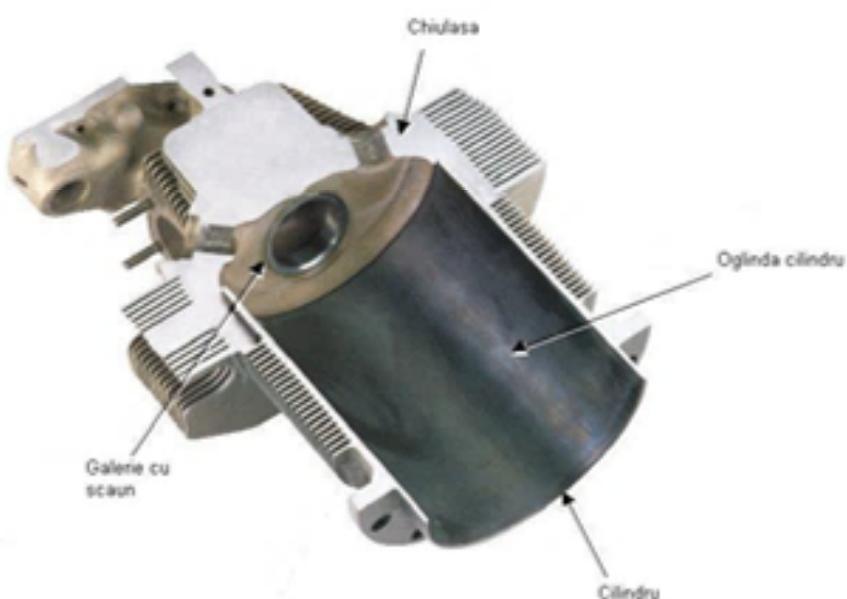
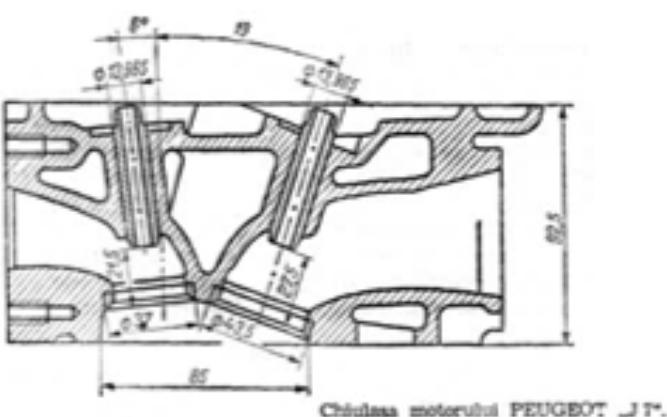


### 1.2.3.2. CHIULASA

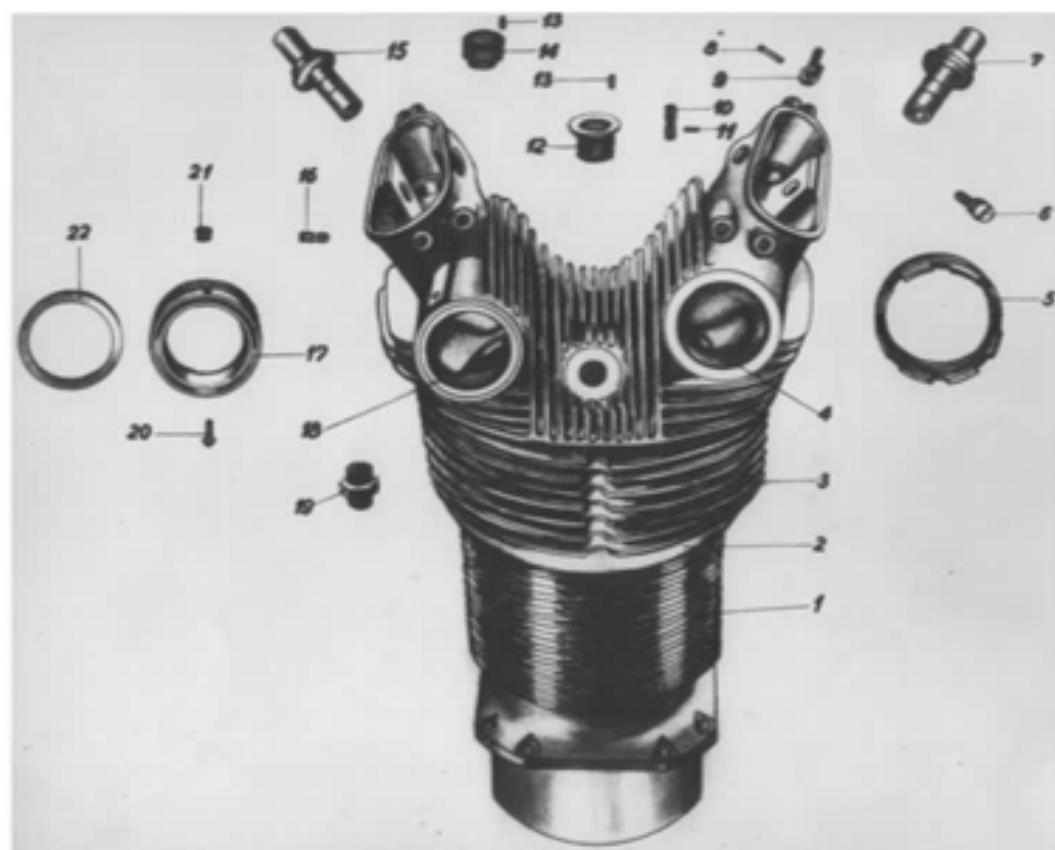
Chiulasa este subansamblu care contine mecanismul de schimb de gaze al motorului. Schimbul de gaze se face cu ajutorul celor doua supape, de admisie si, respectiv, de evacuare ce inchid partea interioara a cilindrului fata de cele doua galerii, de admisie si, respectiv, de evacuare. Cele doua supape culiseaza in ghiduri de supape, confectionate dintr-un material cu rezistenta buna la frictiune (bronz, alama, fonta etc.). Supapele se inchid si etanseaza pe scaunele de supape. Pe galeria de evacuare este fixat esapamentul. Pe galeria de admisie este fixata canalizatia de alimentare.

In chilulasa este montat, la unele motoare, arborele ("axa") cu came, care actioneaza supapele prin intermediul unor tacheti si/sau culbutatori, montati ne axe si inchisii cu un capac de culbutatori.

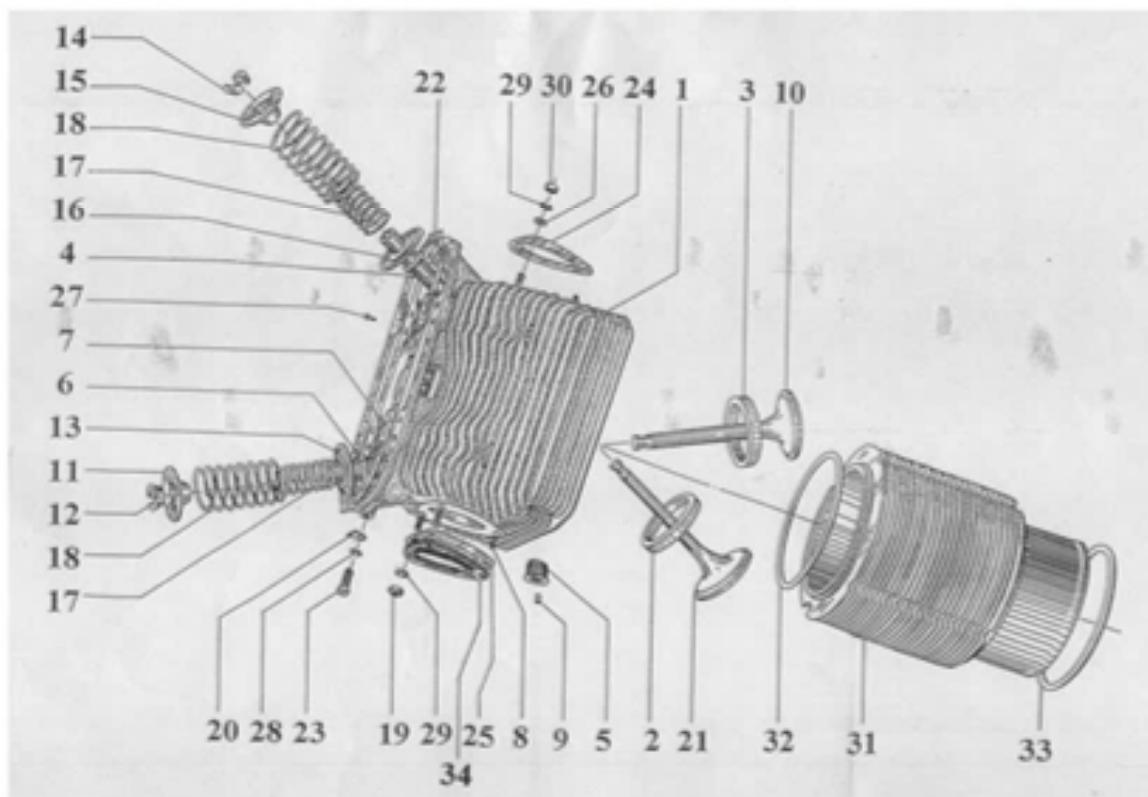
Tot în chiulasa sunt montate de obicei și bujiile



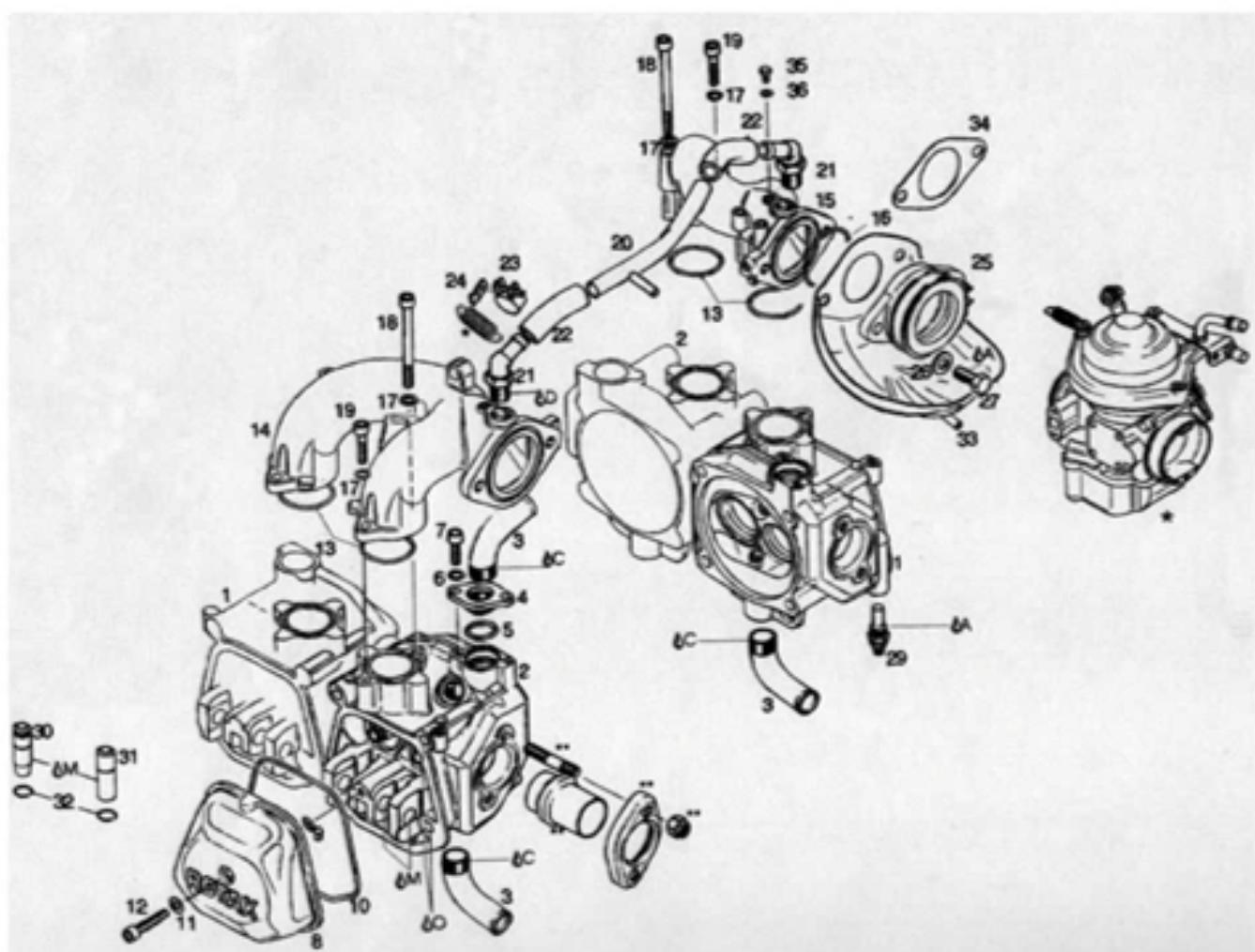
**CHIULASA-CILINDRU MOTOR AI14RA, AVION PZL104-WILGA**



**CHIULASA SI CAMASA CILINDRU MOTOARE M137/337, AVIOANE ZLIN142/726/526**



CHIULASE, GALERII DE ADMISIE, CARBURATOR, CAPAC CULBUTORI  
MOTOR ROTAX912, AVION IAR46



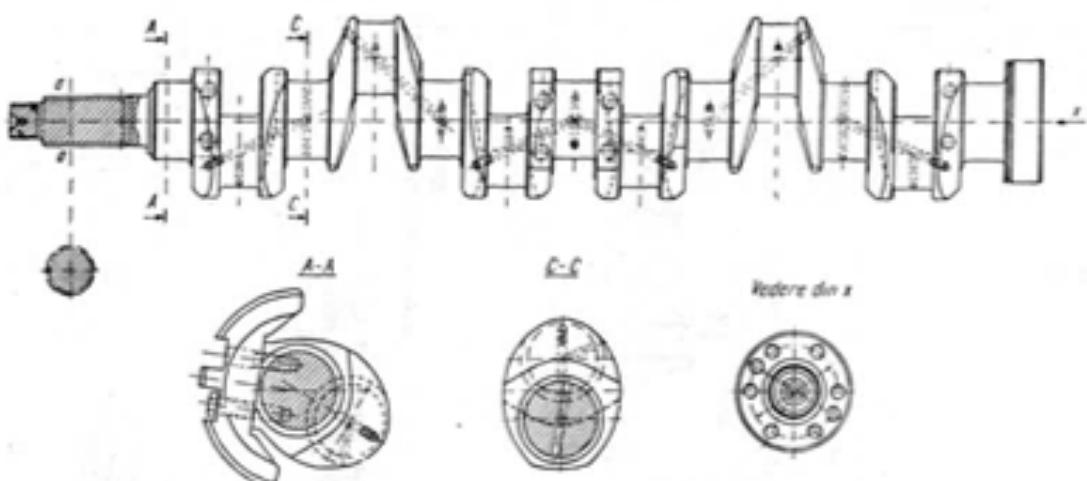
### 1.2.3.3. ARBORELE COTIT (VILBROCHEN)

Arborele cotit este organul MAS4t care transformă mișcarea de translație a pistonului, în mișcare de rotație prin intermediul unei biele (mecanism biela-manivelă).

Arborele cotit este fixat în blocul motor prin intermediul lagarelor de palier și se rotește în carcasa blocului motor.

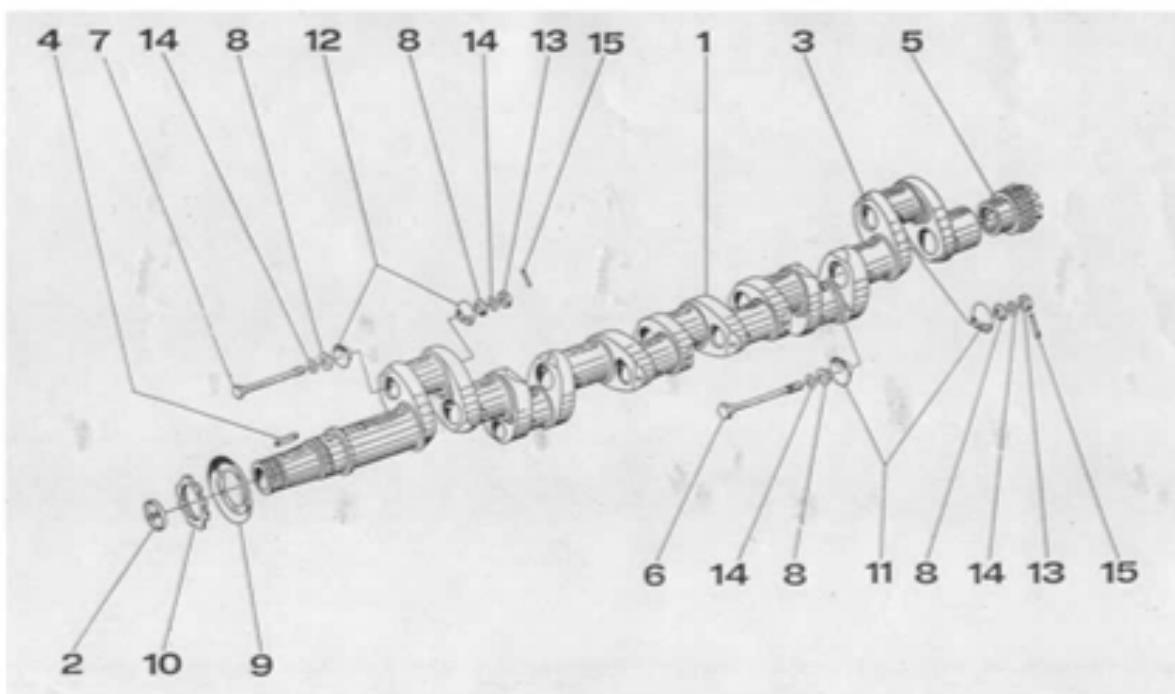
Arborele cotit are un anumit număr de manete pe care sunt lagărate (asamblate sub formă de lăză) bielele prin intermediul lagarelor de bielă. Lagărarea bielelor cat și a palierelor se face cu ajutorul unor cuzzineti interschimbabili (cuzzinetii pot fi radiali și/sau axiali). La uzarea cuzzinetelor și/sau a fusurilor din arborele cotit, acesta se prelucrează la o cota inferioară de reparatie prin rectificare (în mod ușor, o cota de reparatie are fusul mai subțire cu 0,25 mm, existând 3 sau 4 cote de reparatie sub cota standard sau de fabricație) și se montează cuzzineti mai groși (cu diamentrul interior mai mic).

La motorul cu cilindri în V, pot fi montate 2 biele pe un fus de bielă. La motorul în stelă, există un singur fus de bielă.

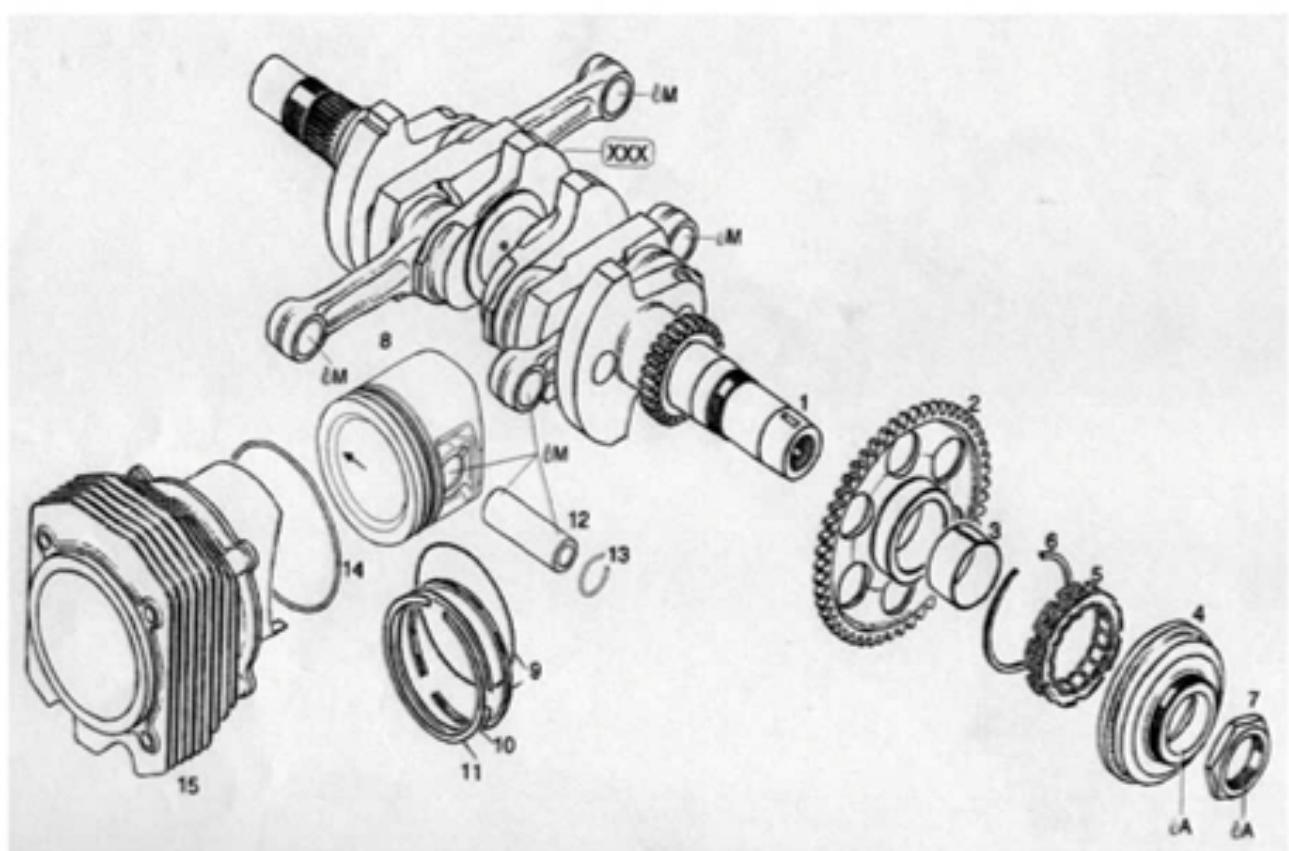


Arborele cotit al motorului 797-07.

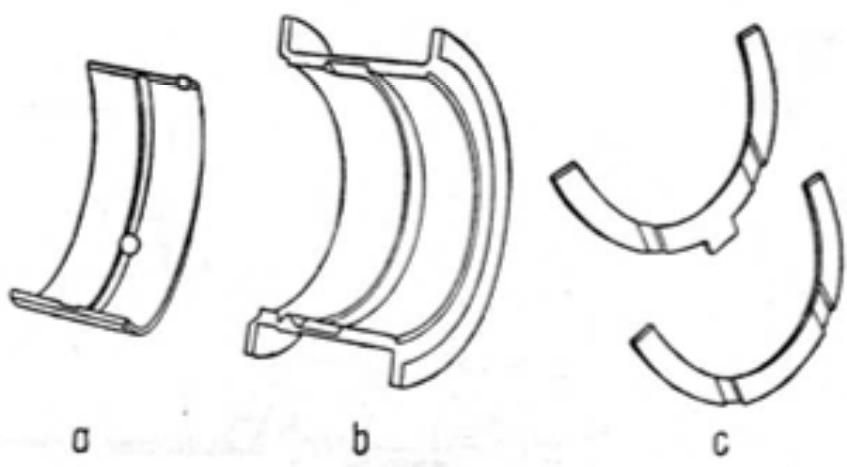
### ARBORE COTIT MOTOARE MI37/337, AVIOANE ZLIN142/726/526



ARBORE COTIT (SI CAMASA CILINDRU + PISTON + BIELA) MOTOR ROTAX912, AVION IAR46



SEMICUZINETI RADIALI, AXIALI SI COMBINATI (RADIAL-AXALI, CU GULER)



Cuzineți cu pereți subțiri:

a — semicuzinet; b — semicuzinet cu guler; c — semiliniele pentru ghidare axială.

#### 1.2.3.4. PISTONUL

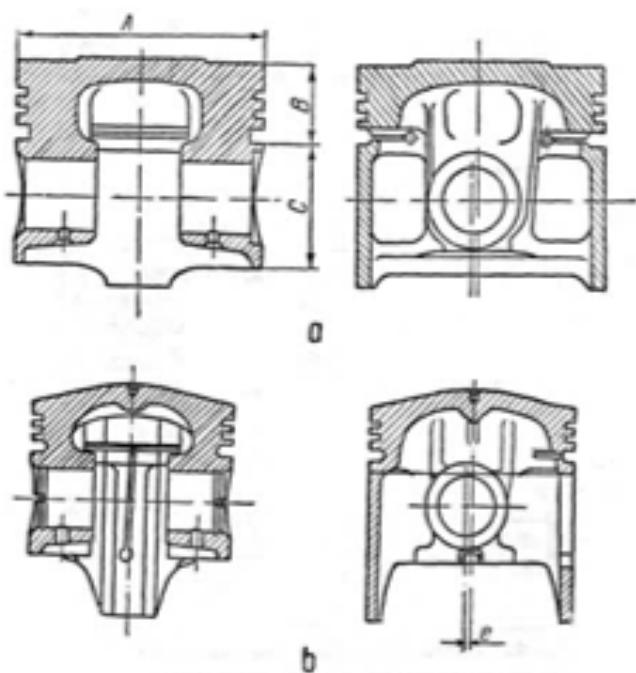
Pistonul este piesa MAS4t care culiseaza in camasa cilindrului si care preia energia gazelor arse si o transmite la arborele cotit prin intermediul bielei.

Pistonul este lagaruit in biela cu ajutorul unui bolt de biela. Boltul de biela este montat ori cu strangere pe biela, ori cu joc pe biela, dar este fixat axial cu inele elastice in piston.

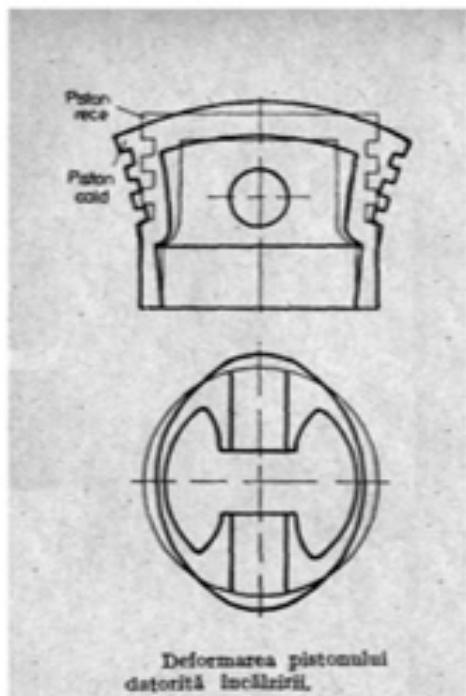
In timpul functionarii, pistonul se dilata neuniform, de aceea acesta se prelucreaza oval (eliptic) in zona inferioara (a "fustei" pistonului).

La partea superioara dinspre interiorul cilindrului (capul pistonului), acesta are practicate niste canale in care sunt montati segmentii. Segmentii, minim 3, realizeaza etansarea gazelor intre interiorul cilindrului si piston. Segmentii sunt de compresie 1 sau 2, raciori 1 si de ungere 1 (sau 2 in aviatie). In dreptul segmentilor de ungere (prevazuti cu fante) exista in piston niste gauri pentru aducerea uleiului in zona segmentilor. In timpul functionarii, prin bascularea axiala sus-jos, segmentii au un efect de pompaj al uleiului de la "fusta" spre capul pistonului. Debitul de ulei pompat depinde de marimea jocului axial al segmentului (jocul axial al segmentului in canalul din piston este de 0,02 – 0,2 mm). Daca jocul este prea mare, uleiul este pompat in exces si este ars in interiorul motorului (motorul "consuma" ulei), daca jocul este prea mic, pistonul este insuficient si se poate grija. Segmentii, la montarea in cilindru, exercita o presiune pe peretii acestuia pentru etansare. Pentru ca presiunea sa fie constanta pe circumferinta cilindrului, segmentii trebuie prelucrati in pozitia de lucru (inchisi). In pozitia de montaj, segmentii au o fanta intre capete (0,2 – 0,4 mm). Daca fanta este prea mica, segmentii se pot grija din cauza dilatarii termice in timpul functionarii, daca fanta este prea mare, ei pot scapa gaze. Există mai multe tipuri de fante de inchidere.



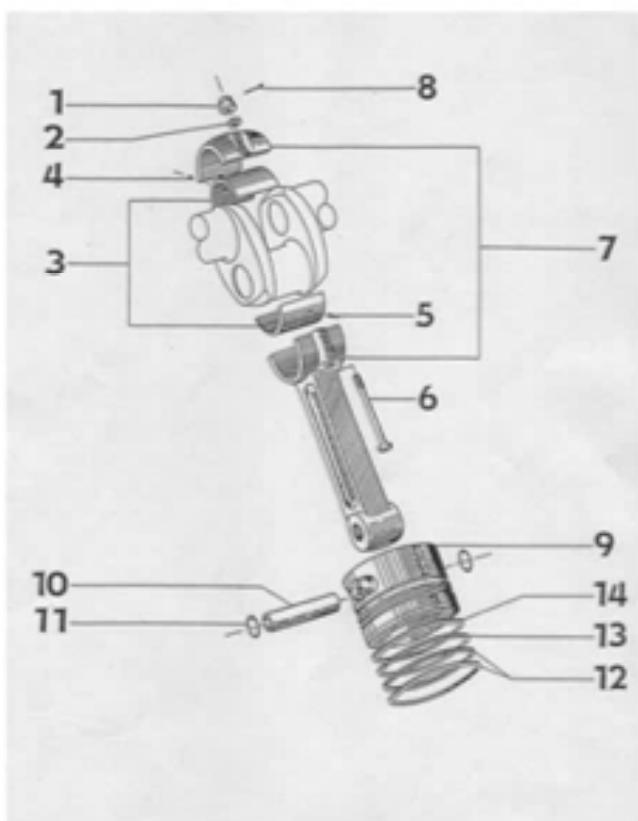


Forme constructive ale pistoanelor m.a.s.:  
A — calota pistonului; B — reglarea portugment; C — maneca pistonului.

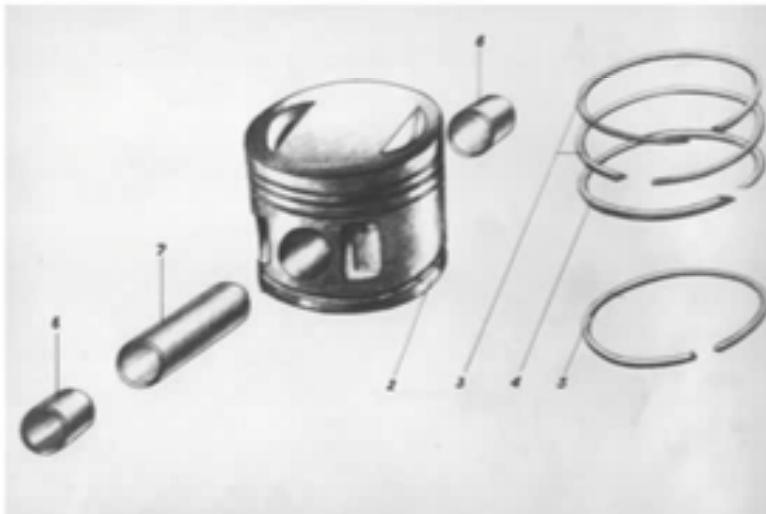


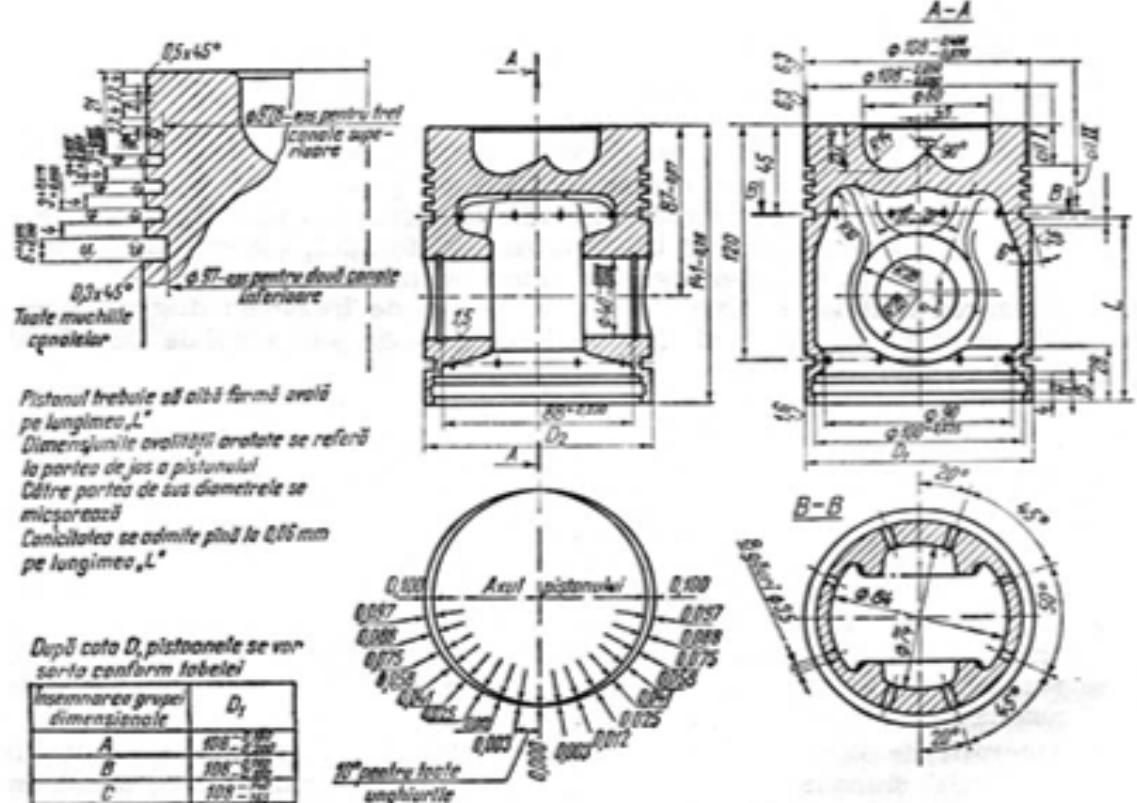
Deformarea pistonului datorită înclinației.

**PISTON, BIELA, CUZINETI, BOLT, SEGMENTI  
MOTOARE M137/337, AVIOANE ZLIN142/726/526**



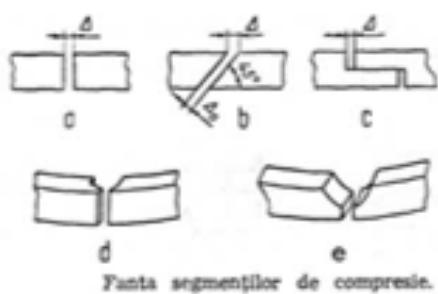
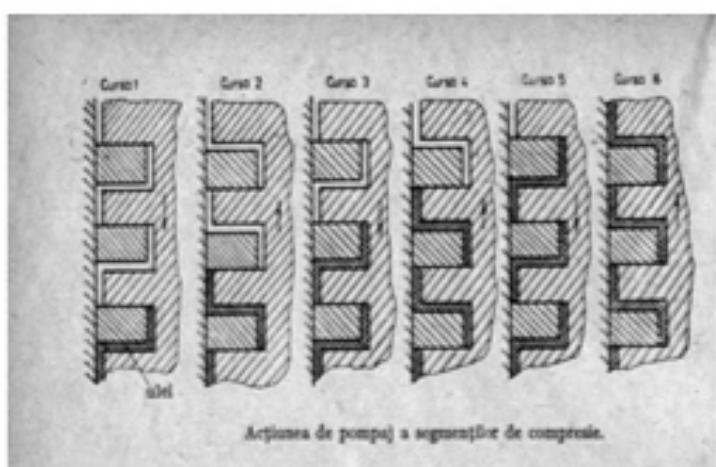
**PISTON, BOLT, SEGMENTI  
MOTOR AI14RA, AVION PZL104-WILGA**





- 1. Abaterea de la perpendicularitatea a axei găurii pentru axul pistonului și axul suprafeței exterioare căl mult 0,035 mm pe lungimea de 100 mm**
  - 2. Axele găurilor pentru axul pistonului trebuie să se întrelveze cu axa verticală a pistonului. Se admite deplasarea axelor pînă la 0,25 mm**
  - 3. Ovalitatea și conicitatea găurilor pentru axul pistonului să fie în limitele 0,008 mm**
  - 4. Bătălia maximă a suprafeței de sus a pistonului față de axa suprafeței exterioare a pistonului 0,08 mm pe punctele extreme**
  - 5. Bătălia maximă a suprafețelor cilindrice I și II față de axa suprafeței exterioare a pistonului 0,1 mm**
  - 6. Flăgările se casioresc chimic. Grosimea străfului de acoperire 0,003 - 0,005 mm. Suprafețele casioferite trebuie să fie uniforme, de a nu avea deschizări și să nu prezinte aspecte poroase. Străful de casioară nu trebuie să se destrângă de pe metalul de bază**
  - 7. Bătălia maximă a suprafețelor frontale ale canelelor pentru segmentii față de axa suprafeței este risipită a pistonului 0,05 mm**

Desenul de executie al unui piston pentru m.a.c.

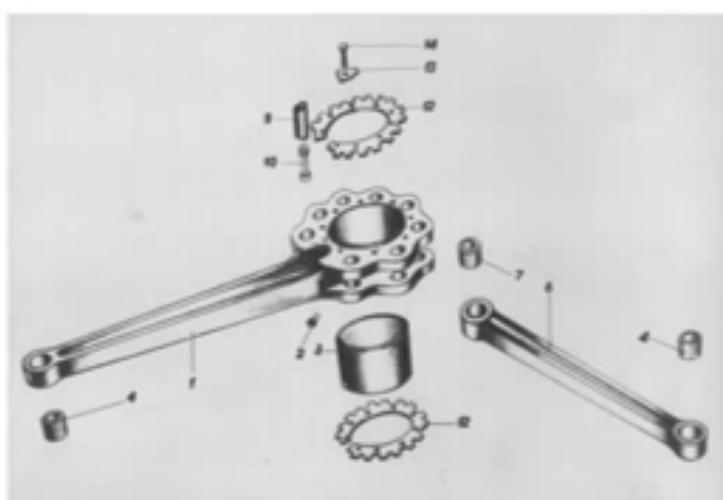
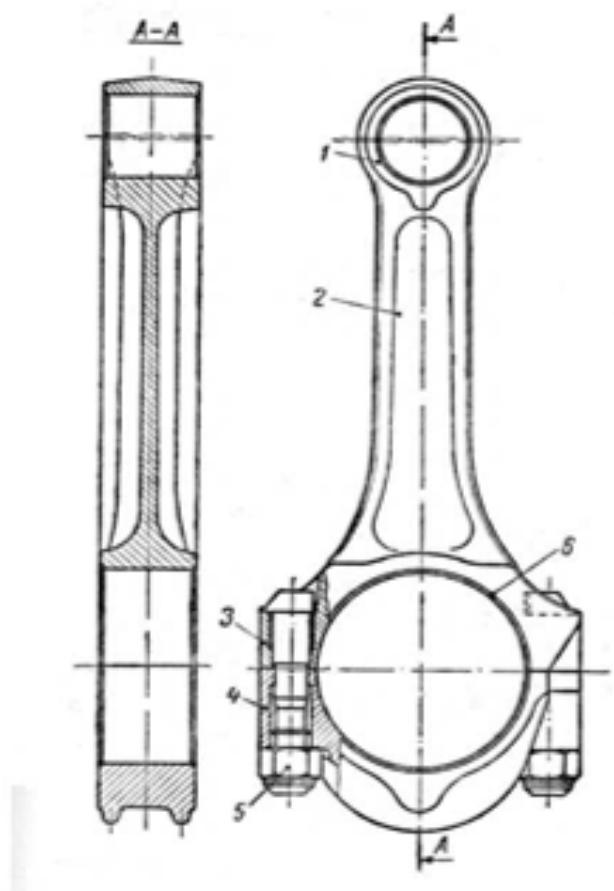


### 1.2.3.5. BIELA

Biela face legatura intre piston prin intermediul boltului de biela (al carui lager are o bucsa demontabila din material antifrictiune care este fretata / presata in biela) si arborele cotit, pe care este lagaruita pe fusul de biela prin intermediul cuzinetilor.

La motorul in stea, exista o biela "mama", principala (lagaruita pe arborele cotit), pe care sunt lagaruite bieletele. Ansamblul arbore cotit + biela + piston se mai numeste ambielaj.

BIELA-MAMA + BIELETE  
MOTOR AI14RA, AVION PZL104 WILGA



#### 1.2.3.6. CAMASA CILINDRULUI

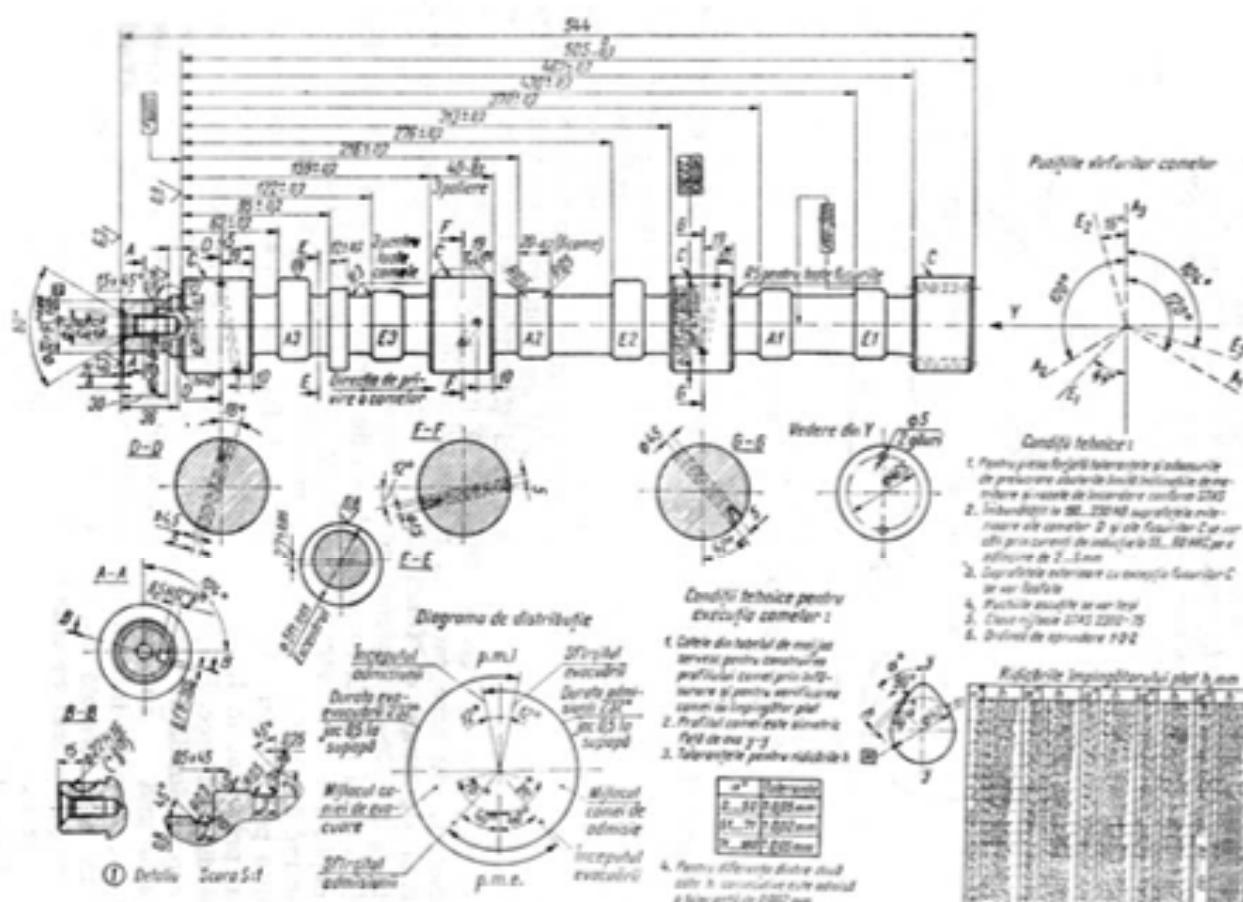
Unele motoare au camasa cilindrului ca piesa separata de blocul motor. In interiorul camasii cilindrului culiseaza pistonul si, de aceea, suprafata respectiva trebuie prelucrata foarte fin. Prelucrarea se numeste honuire si se face cu un dispozitiv si pe o masina speciale. Honuirea se face pe o directie oblica, aproximativ la  $45^{\circ}$  si pentru a asigura o retentie a uleiului pe suprafata interioara a cilindrului ("oglinza" cilindrului).

#### 1.2.3.7. ANSAMBLI IJU-DISTRIBUUTTEJ

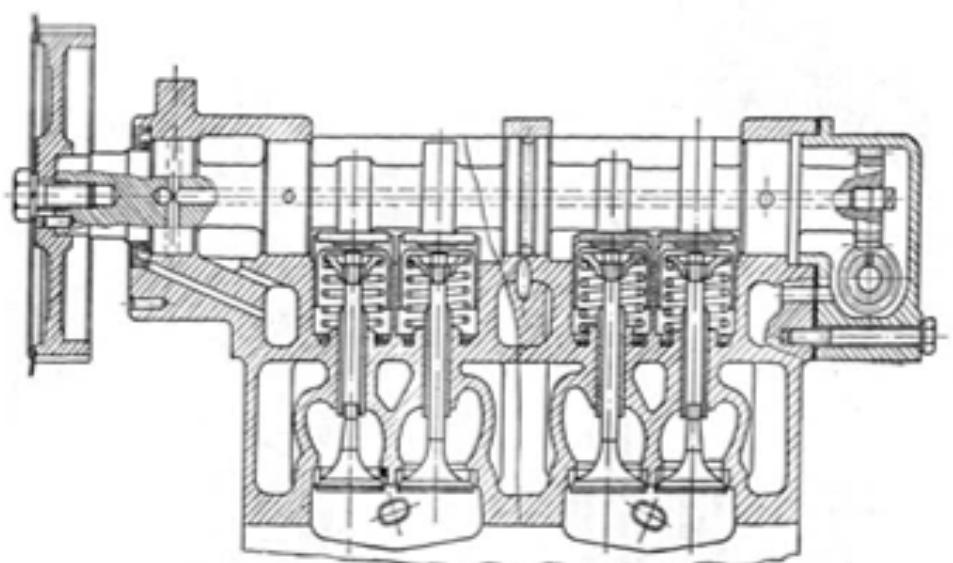
Distributia are rolul de a asigura succesiunea timpilor ciclului MAS4t. Aceasta se realizeaza cu ajutorul unui arbore ("axa") cu came. Camele sunt de admisie si, respectiv, de evacuare si actioneaza supapele cu aceleasi nume. Camele au pozitii unghiulare bine stabilite pentru realizarea ciclului motor proiectat. Arborele cu came este antrenat de arborele cotit printr-un raport de demultiplicare 1:2, si se misca in concordanță cu acesta, avand stabilitatea pozitiei initiale, marcată pentru montaj (nunta "calares" distributie).

Arborele cu came poate fi montat in blocul motor sau in chiulasa, poate actiona supapele prin intermediul unui tachet, care poate fi normal sau cu amortizare si eliminare ajocului hidraulica, eventual prin intermediul unei tije impingatoare si sau cu ajutorul unui culbutor.

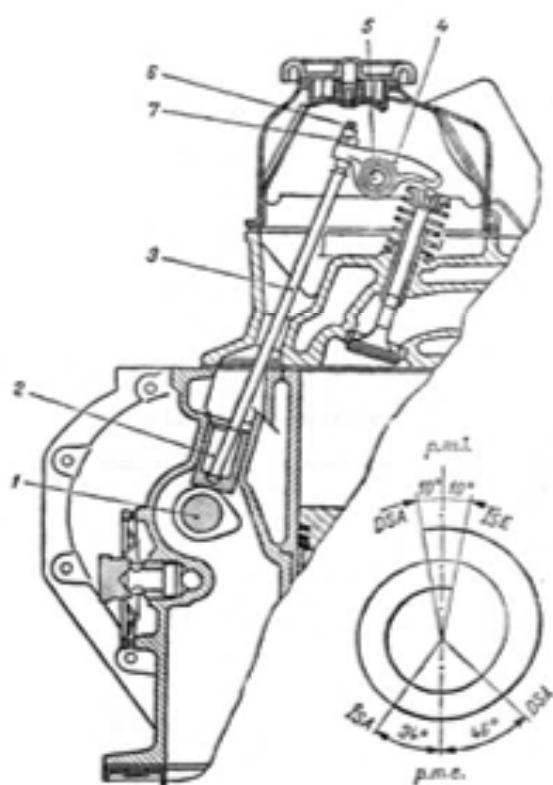
**Supapele se inchid cu ajutorul unor arcuri de supape, care pot fi 1 sau 2 pe supapa (2 pentru atenuarea oscilatiilor la inchiderea supapei), care sunt fixate cu ajutorul unor discuri de arc și o pereche de galeti sau pene conice.**



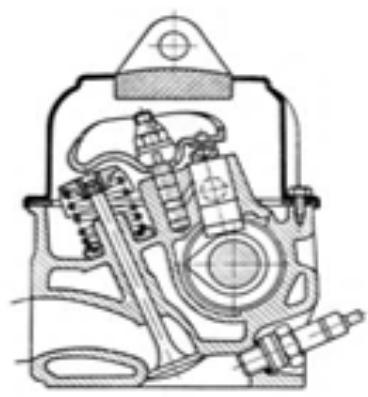
Desenul de execuție al arborelui cu came.



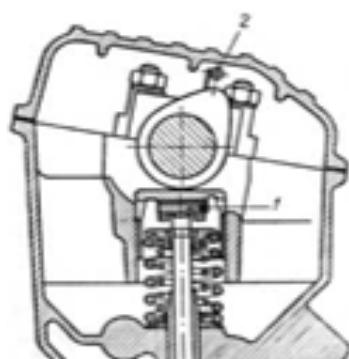
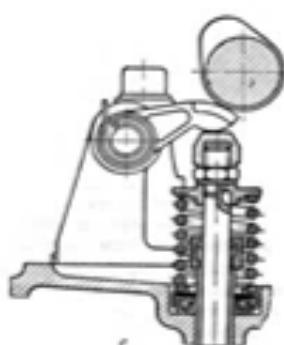
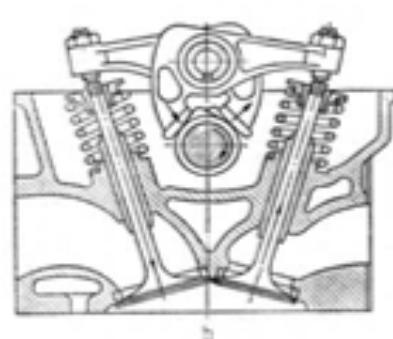
ACTIONAREA DIRECTĂ A SUPAPELOR LA AMPLASAREA ARBOREULUI CU CAME PE CHIULASI.



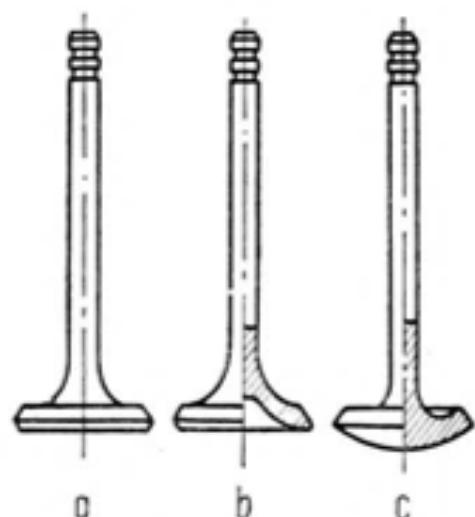
Elemente de comandă ale supapei motorului DACIA-1300:  
 1 — arborele cu came; 2 — vârful înghingeator; 3 — axul culmatorului; 4 — surubul de reglaj; 5 — ombrătura.



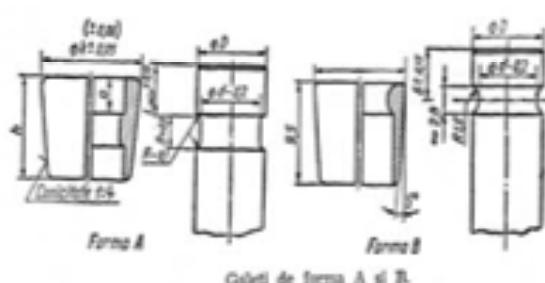
Comanda intermediară a supapei:  
a — prin culotor și tăchet; b — prin extensor; c — prin pieptănele oscilante.



Montarea arborelui cu cană plasat pe chidășă în suportul cu capac demontabil:  
1 — parțile de reglaj; 2 — conductă de suflare.

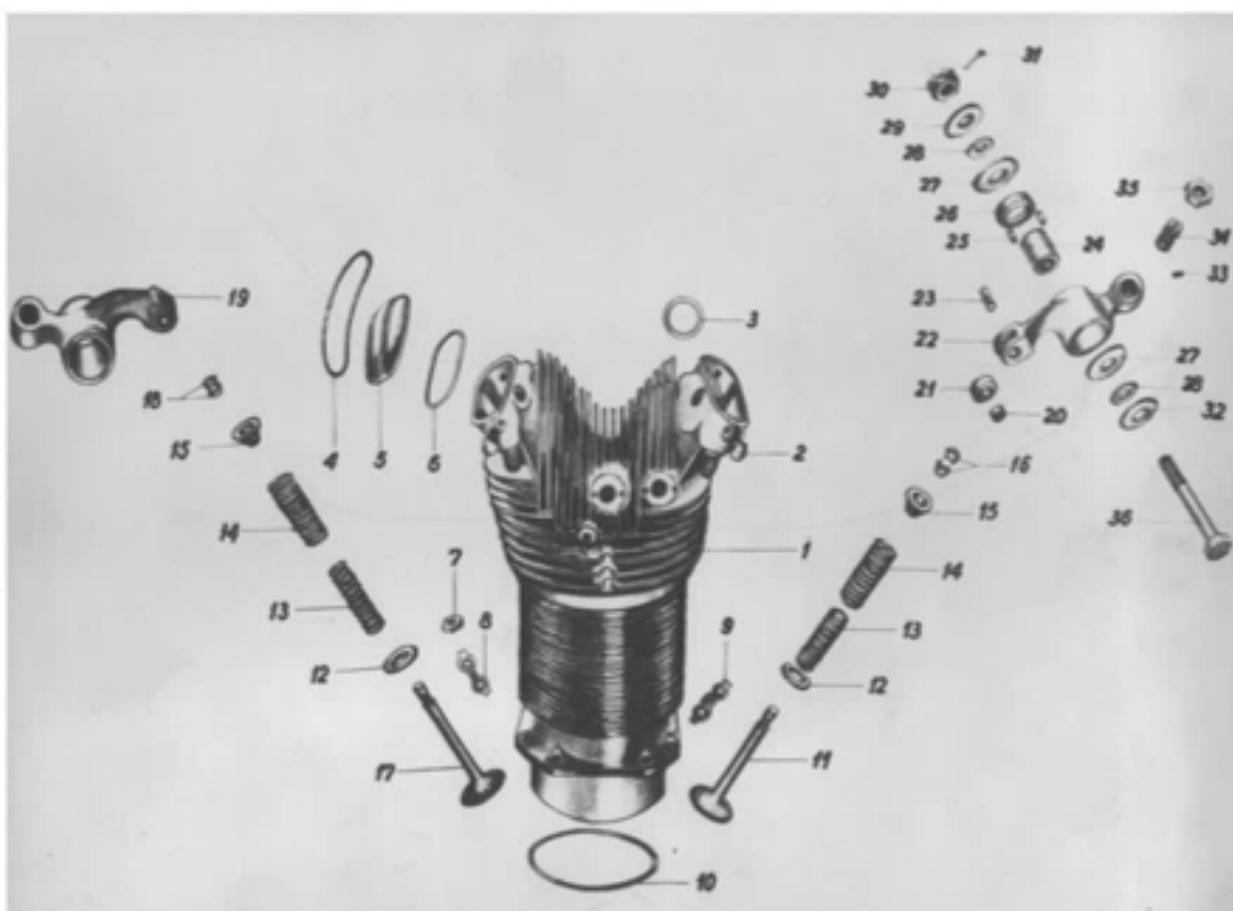


Forma talerului supapei:  
a — plat; b — concav; c — bombat.

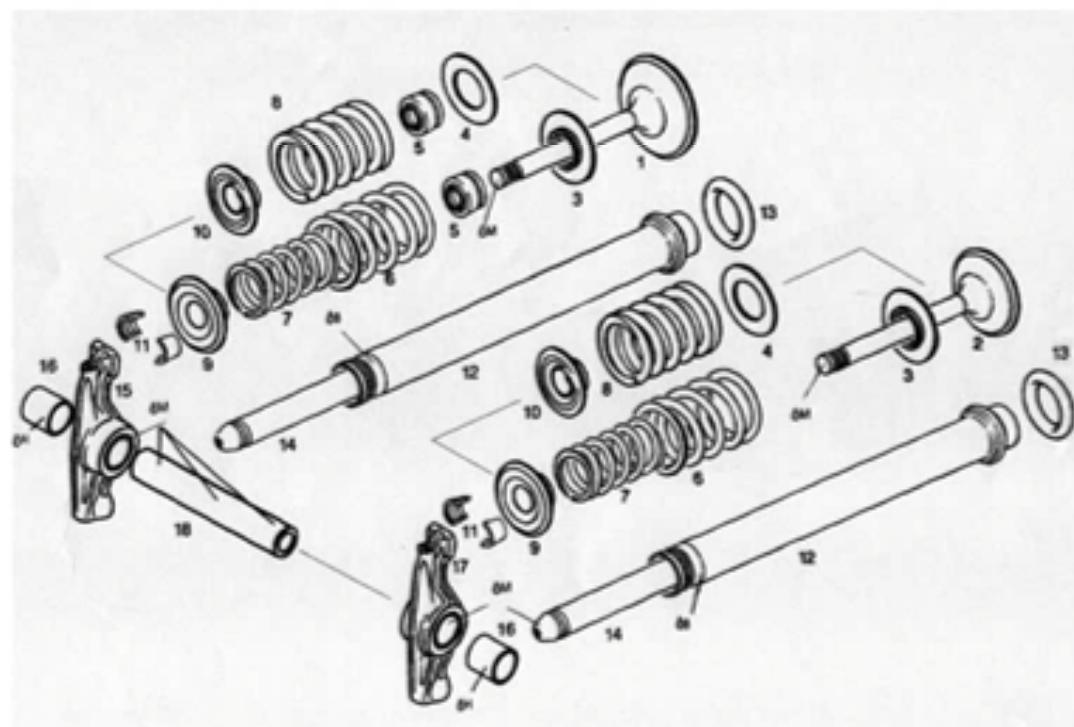


Galerii de forma A și B.

CULBUTORI, CAPAC CULBUTORI, SUPAPE, ARCURI SUPAPE, GALETI, DISCURI SUPAPE  
MOTOR AI14RA, AVION PZL104-WILGA



CULBUTORI, SUPAPE, ARCURI SUPAPE, GALETI, DISCURI SUPAPE - MOTOR ROTAX12, AVION IAR46



## **2. ELEMENTE DE TERMODINAMICĂ**

Termodinamica este partea din fizică, care se ocupă cu studiul schimbărilor energetice între sisteme, caracterizate de parametrul principal - temperatura  $\langle T \rangle$ .

Energia internă  $\langle U \rangle$  este mărimea care insumează energiile pe care le are particula de substanță, materializată în energia cinetică de translacție, rotație și vibratie interatomică la molecule poliatomice și vibratie intraatomică, și este funcție de  $\langle T \rangle$ .

$$U = U(T)$$

Substanța este prezentă sub trei forme de agregare:

1. Solidă – atomii sunt legați între ei sub diverse forme (chimice, metalice). Solidul are volum și formă bine determinate.
2. Lichidă – atomii sau moleculele componente sunt într-o legătură relativă. Lichidele au volum determinat dar nu au formă determinată (au forma vasului în care sunt puse). Lichidele au suprafață de separație și sunt incompresibile.
3. Gazoasă – nu mai există legături între atomii sau moleculele componente. Gazul nu are volum determinat și ocupă tot volumul pus la dispoziție.

Lichidele și gazele se mai numesc **fluide**.

### **2.1. TERMODINAMICA GAZELOR**

Cei 3 parametrii care determină complet starea termodinamică (TD) a unui gaz sunt:

- temperatura  $\langle T \rangle$ ;
- volumul  $\langle V \rangle$ ;
- presiunea  $\langle p \rangle$ .

Presiunea  $\langle p \rangle$  este forța cu care acționează un lichid sau un gaz pe o suprafață. Presiunea este o masură a interacțiunii dintre moleculele componente ale unui fluid cu peretii incintei în care se află sau între molecule, în interiorul fluidului.

Presiunea = Forță / Suprafața pe care acționează;  $p=F/S$

Cei trei parametrii de stare ai gazului sunt legați între ei prin ecuația de stare (Clapeyron-Mendeleev):

$$p \cdot V = m \cdot R \cdot T$$

unde  $m$  este masa de gaz, iar  $R$  este o constantă proprie gazului;

Initial, ecuația de stare a fost determinată experimental, apoi a fost reconfirmată de teoria cinetică-moleculară.

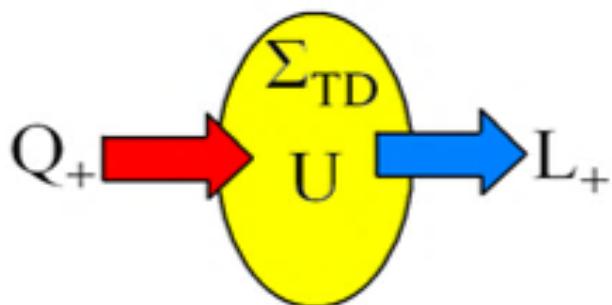
Sistemele termodinamice ( $\Sigma_{TD}$ ) sunt de două feluri:

- $\Sigma_{TD}$  deschise - atunci când schimbă cu exteriorul atât energie cât și masă;
- $\Sigma_{TD}$  închise - atunci când schimbă cu exteriorul doar energie.

*Observație!*

Motorul cu piston este considerat sistem termodinamic închis atât timp cât supapa de admisie și supapa de evacuare sunt închise.

### I. Primul principiu al termodinamicii (pentru sisteme inchise).



Căldura care intră în sistemul termodinamic este considerată prin convenție cu semnul (+).

Lucru mecanic pe care îl prestează sistemul către mediul exterior este considerat prin convenție cu semnul (-).

Căldura aportată sistemului TD este suma între lucru mecanic prestat de sistem și variația energiei sale interne ( $\Pr_1$ )

$$O = L + (U - U_0) \sin$$

$$O = L + AU$$

Principalele forme prin care gazul (Sistemul TD -  $\Sigma$ ) schimbă energie cu mediul exterior sunt **caldura** și **lucru mecanic**.

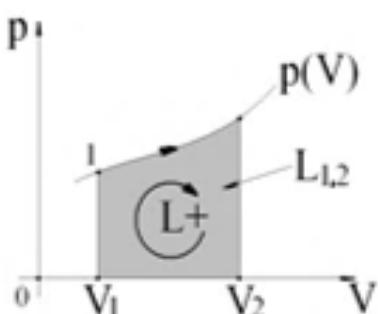
**Căldura** – este forma de transfer de energie, prin care un corp mai cald modifică temperatura unui corp mai rece crescându-i-  
-o.

Formele prin care un sistem termodinamic schimbă caldura sunt:



*Lucrul mecanic la gaze este o formă de schimb energetic care se produce atunci când variază volumul gazului.*

Din definitie, lucrul mecanic este produsul scalar:  $L = \vec{F}(r) \cdot \vec{r}$ . Sau, diferențiald, avem  $dL = \vec{F}(r) \cdot d\vec{r}$ . În proiecție pe axa Ox, avem  $dL = F_x(x) \cdot dx = (F_x(x)/A) \cdot (A \cdot dx) = p(V) \cdot dV$ .



$$dL = p(V) \cdot dV / \int_{\text{intre 1 si 2}}$$

$$L_{1,2} = \int_1^2 p(V) dV$$

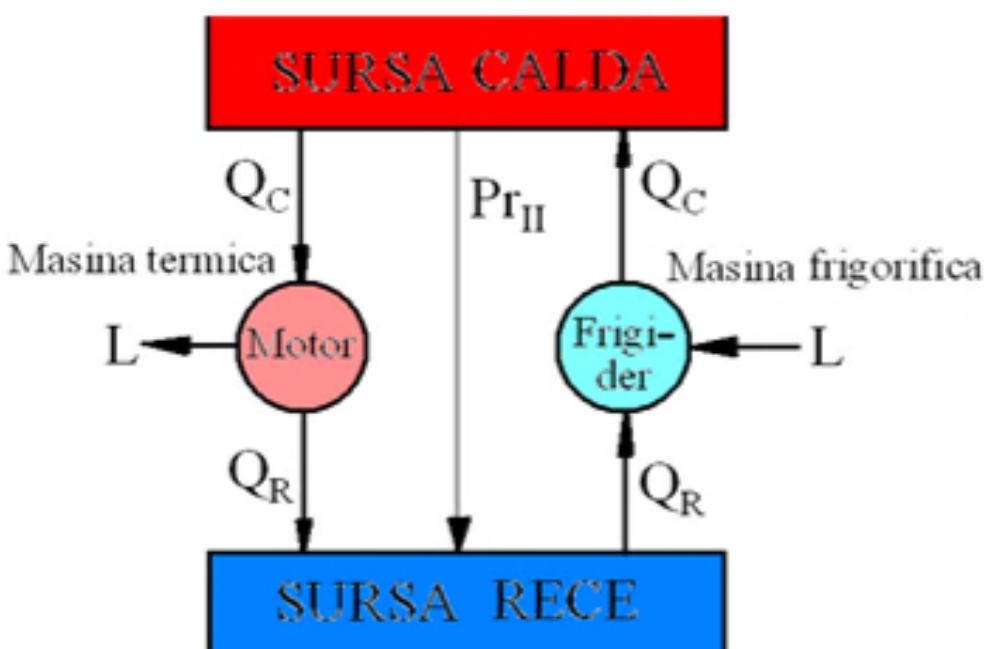
Dacă aria de sub graficul funcției  $p(V)$  este parcursă în sens orar, atunci lucru mecanic  $L$  este pozitiv (sistemul prestează lucru mecanic  $L_+$ ).

**Definiții:**

- Se numește evoluție a sistemului termodinamic, trecerea acestuia dintr-o stare termodinamică în alta.
- Se numește evoluție ciclică, evoluția unui sistem termodinamic la care starea finală are aceeași parametri termodinamici ca starea inițială.

Într-o evoluție ciclică, variația energiei interne  $U$  a sistemului este nula dacă se neglijă frcările, la sistemul deschis sau dacă frcările se produc în sistem, concretizându-se în degajare de căldură ce ramane în sistem, la sistemul închis.

## II. Principiul al doilea al termodinamicii.



In mod natural căldura se transferă de la corpul mai cald (sursa caldă SC), la corpul mai rece (sursa rece SR) ( $Pr_n$ ).

Motorul termic (masina termica) este un agregat energetic interpus pe un flux de căldură între o sursă caldă și o sursă rece.

$Q_C$  reprezintă căldura preluată de la sursa caldă, iar  $Q_R$  căldura cedată sursei reci.

Din bilanțul energetic aplicat unei masini termice, tinând cont ca acestea lucrează după o evoluție ciclică, avem:

$$Q_e = L + |Q_r|, \text{ unde s-a considerat valoarea pozitivă pentru } Q_r, \text{ adică } |Q_r|, \text{ sau:}$$

$$L = Q_e - |Q_r|$$

**Definiție:**

Se numește randament termic, eficiență cu care mașina termică transformă în lucru mecanic energia primită de la sursa caldă.

$$\eta_T = L/Q_e \text{ sau } \eta_T = (Q_e - |Q_r|)/Q_e = 1 - |Q_r|/Q_e$$

$$\eta_T = 1 - |Q_r|/Q_e$$

### 2.1.1. Relații diferențiale de calcul

Un gaz se consideră perfect dacă sunt respectate următoarele ipoteze simplificatoare:

- moleculele nu au volum propriu;

- deplasarea moleculelor intre 2 ciocniri successive se face rectiliniu si fara interactiuni intermoleculare;
  - moleculele se comporta perfect elastic in timpul ciocnirilor.
- Definitie: Se numeste kilomol de substanta, cantitatea in kilograme numeric egală cu masa moleculară  $M$  a substanței (raportată la masa moleculară a hidrogenului, care este considerată egală cu 1).

Un kilomol de substanță conține același număr de molecule și anume numărul lui Avogadro ( $N=6,0228 \cdot 10^{23}$  molecule).  $N = m / M$ , unde  $N$  este numărul de kilomoli dintr-o substanță,  $m$  este masa de substanță și  $M$  este masa moleculară a substanței.

$M \cdot R = R$ , unde  $R$  este constanta gazului (proprietatea fiecarui gaz) iar  $R$  este constanta universală a gazelor perfecte ( $R=8314,3 \pm 0,4 \text{ J/kmol} \cdot \text{K}$ ).

Cum  $m = N \cdot M \Rightarrow p \cdot V = m \cdot R \cdot T = N \cdot M \cdot R \cdot T = N \cdot R \cdot T$ .

Dacă  $N = 1$  atunci  $p \cdot V = R \cdot T$ , și pentru condiții standard, adică  $p_0 = 760 \text{ mmHg}$  și  $T_0 = 273,16 \text{ K}$ , volumul este același pentru orice gaz și se numește volum molar ( $V_N = 22,414 \text{ m}^3/\text{kmol}$ ).

Marimile raportate la  $N$  se numesc marimi molare (caracter cursiv), iar marimile raportate la  $m$  se numesc marimi specifice (caracter mic).

$$Q = L + \Delta U / :d \Rightarrow dQ = dL + dU \quad (d(\Delta U) = d(U - U_0) = dU)$$

dacă împartim la  $m$ , avem:

$$q = 1 + \Delta u \quad dq = dl + du$$

Pentru un gaz perfect, conform ipotezei lui Joule, energia internă a gazului este numai funcție de temperatură acestuia.

$U = U(T)$  și  $u = u(T)$ , iar pentru o evoluție reversibilă (fără frecari) avem  $dL = p(V, T) \cdot dV$  deci:

$$dq = du + dL = du + p \cdot dV$$

$$dq = du + p \cdot dv$$

Definitie: Se numește entalpie suma între energia internă  $U$  și lucrul mecanic de dislocație  $p \cdot V$  al unui gaz perfect. Entalpia se notează cu  $I$ .

$$I = U + p \cdot V / :m \Rightarrow i = u + p \cdot v / :d \Rightarrow di = du + d(p \cdot v) = du + p \cdot dv + v \cdot dp$$

$$du = di - p \cdot dv - v \cdot dp \Rightarrow dq = du + p \cdot dv = di - p \cdot dv - v \cdot dp + p \cdot dv$$

$$dq = di - v \cdot dp$$

$$\text{și } i = u + p \cdot v = u + R \cdot T = u(T) + R \cdot T = i(T), \text{ deci și } i, \text{ și similar } I \text{ depind numai de } T$$

Definitie: Se numește caldura specifică, cantitatea de caldura necesară pentru a încalzi cu un grad un kilogram de substanță.

$$c = \frac{\Delta Q}{m \cdot \Delta T}, \text{ sau } c = \frac{\Delta q}{\Delta T}; \text{ în cazul gazelor, } q = q(p, V, T), \text{ și atunci, pentru gaze, } c = \frac{\partial q}{\partial T}$$

In evoluții particulare simplificate, în care schimbul de caldura se poate face la presiune constantă sau la volum constant (temperatura nu poate fi constantă), vom avea:

$$c_x = \left| \frac{\partial q}{\partial T} \right|_{x=ct}, \text{ unde } x \text{ poate fi } p \text{ sau } V.$$

deci, din  $dq = du + p \cdot dv = di - v \cdot dp / :dT$  și vom avea pentru  $v=ct$ :

$$\left| \frac{\partial q}{\partial T} \right|_{v=ct} = \left| \frac{du}{dT} \right|_{v=ct} = \left| \frac{\partial q}{\partial T} \right|_{v=ct} = c_v, \text{ deoarece la } v=ct, \text{ și } dv=0, q=q(p, T), \text{ iar din ecuația de stare } p \cdot v=R \cdot T \Rightarrow p=R/v \cdot T=p(T), \text{ deci } q=q(p(T), T)=q(T)$$

și, similar:

$$\left| \frac{\partial q}{\partial T} \right|_{p=ct} = \left| \frac{di}{dT} \right|_{p=ct} = \left| \frac{\partial q}{\partial T} \right|_{p=ct} = c_p, \text{ deoarece la } p=ct, \text{ și } dp=0, q=q(v, T), \text{ iar din ecuația de stare } p \cdot v=R \cdot T \Rightarrow v=R/p \cdot T=v(T), \text{ deci } q=q(v(T), T)=q(T).$$

deci:

$$\frac{du}{dT} = c_v \quad \frac{di}{dT} = c_p$$

și cum  $di = du + p \cdot dv / :dT \Rightarrow$

iar pentru  $p=ct$ :

$$\frac{di}{dT} = \frac{du}{dT} + p \cdot \frac{dv}{dT} \Rightarrow \text{pentru } p \cdot v=R \cdot T, v(T)=R/p \cdot T \text{ și } \frac{dv}{dT}=R/p \Rightarrow c_p = c_v + p \cdot R/p$$

$$c_p - c_v = R$$

## **2.1.2. Evolutii particulare**

1. Evolutia izobara  $p=ct.$

$p_1 \cdot V_1 = m \cdot R \cdot T_1$ ; si  $p_2 \cdot V_2 = m \cdot R \cdot T_2$  se impart cele doua relatii si  $p_1 = p_2$  si rezulta:  
 $V_1/T_1 = V_2/T_2 = V/T = ct.$

2. Evolutia izocora  $V=ct.$

$p_1 \cdot V_1 = m \cdot R \cdot T_1$ ; si  $p_2 \cdot V_2 = m \cdot R \cdot T_2$  se impart cele doua relatii si  $V_1 = V_2$  si rezulta:  
 $p_1/T_1 = p_2/T_2 = p/T = ct.$

3. Evolutia izotermă  $T=ct.$

$p_1 \cdot V_1 = m \cdot R \cdot T_1$ ; si  $p_2 \cdot V_2 = m \cdot R \cdot T_2$  se impart cele doua relatii si  $T_1 = T_2$  si rezulta:  
 $p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2 = p \cdot V = ct.$

4. Evolutia adiabatica  $\Delta Q=0$  sau  $dQ=0$ ;  $dq=0$ .

$dq = du + p \cdot dv = 0 \Rightarrow du + p \cdot dv = 0$  unde  $du = c_v \cdot dT$  si avem  $c_v \cdot dT = -p \cdot dv$

$dq = di - v \cdot dp = 0 \Rightarrow di - v \cdot dp = 0$  si  $di = c_p \cdot dT \Rightarrow c_p \cdot dT = v \cdot dp$

ultimale doua relatii se impart, si avem:

$$\frac{c_p}{c_v} = -\frac{v \cdot dp}{p \cdot dv} \Rightarrow \frac{c_p}{c_v} \cdot \frac{dv}{v} + \frac{dp}{p} = 0; \text{ ultima relatie se integreaza si avem:}$$

$$\frac{c_p}{c_v} \left[ \frac{dv}{v} + \int \frac{dp}{p} \right] = C_1 \Rightarrow \frac{c_p}{c_v} \ln v + \ln p = C_1 \text{ si } p > 0, v > 0; \text{ notam } c_p/c_v = k \text{ numit exponent adiabatic}$$

si avem:

$$k \cdot \ln v + \ln p = \ln v^k + \ln p = \ln p \cdot v^k = C_1 \Rightarrow p \cdot v^k = e^{C_1} = C_2; \text{ unde } C_1 \text{ si } C_2 \text{ sunt constante.}$$

Deci, pentru evolutia adiabatica avem:

$$p \cdot v^k = ct. \text{ unde } k \text{ se numeste exponent adiabatic propriu fiecarui gaz (pentru aer } k=1,4)$$

Deci, putem scrie pentru doua stari 1 si 2:

$$p_1 \cdot V_1^k = p_2 \cdot V_2^k = p \cdot V^k = ct.$$

5. Evolutia politropica in care  $du/dq=\alpha=ct.$  si atunci avem o caldura specifica de transformare de forma  $c_n = dq/dT.$

$$dq = du + p \cdot dv \Rightarrow c_n \cdot dT = c_v \cdot dT + p \cdot dv \text{ unde } du = c_v \cdot dT \text{ si } c_n \cdot dT = dq \text{ si avem } (c_n - c_v) \cdot dT = p \cdot dv$$

$$dq = di - v \cdot dp \quad c_n \cdot dT = c_p \cdot dT - v \cdot dp \quad si \quad di = c_p \cdot dT \quad (c_n - c_p) \cdot dT = -v \cdot dp$$

ultimale doua relatii se impart, si avem:

$$\frac{c_n - c_p}{c_n - c_v} = -\frac{v \cdot dp}{p \cdot dv}; \text{ in aceasta relatie avem } \alpha = du/dq = (du/dT)/(dq/dT) = c_v/c_n \Rightarrow \alpha = c_v/c_n$$

si  $(c_n - c_p)/(c_n - c_v) = n$  si se prelucreaza similar ca la evolutia adiabatica si obtinem:

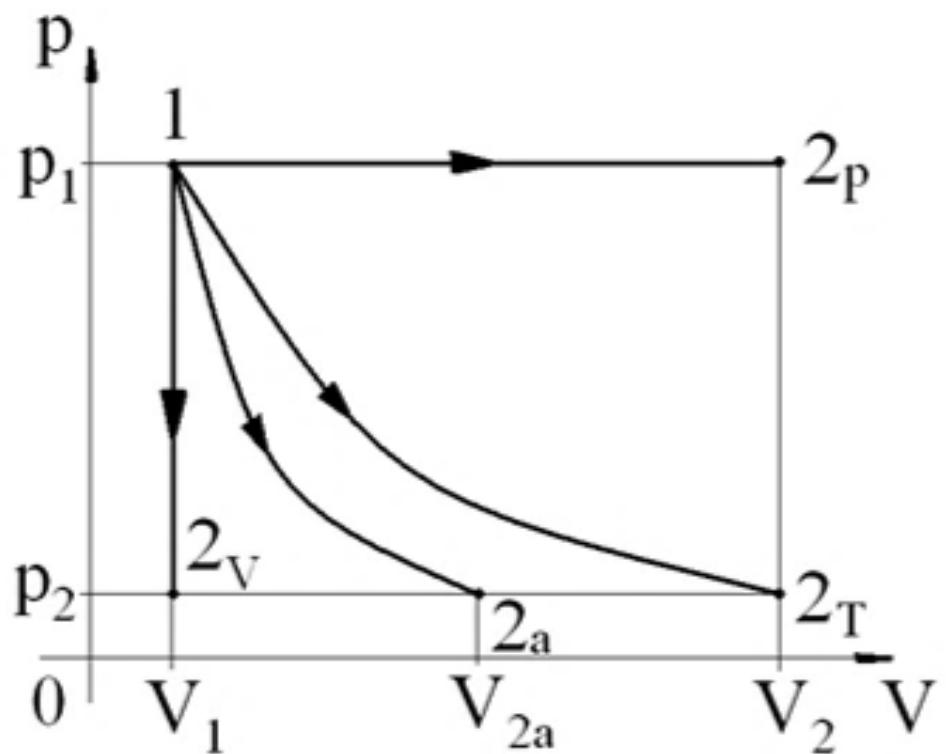
$$p \cdot v^n = ct.$$

Si, similar:

$$p_1 \cdot V_1^n = p_2 \cdot V_2^n = p \cdot V^n = ct.$$

|             |                        |                      |
|-------------|------------------------|----------------------|
| unde pentru | $n=0$ avem:            | evolutie izobara;    |
|             | $n=1$                  | evolutie izotermă;   |
|             | $n=k$                  | evolutie adiabatica; |
|             | $n \rightarrow \infty$ | evolutie izocora.    |





| Param.\Evol. | Izobara                 | Izocora                 | Izotermas               | Adiabatica                      |
|--------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|---------------------------------|
| $p=p_1$      | $p_2=p_1$               | def. $p_2$              | $p_2=p_1 \cdot V_1/V_2$ | $p_2=p_1 \cdot (V_1/V_2)^k$     |
| $V=V_1$      | def. $V_2$              | $V_2=V_1$               | def. $V_2$              | def. $V_{2a}$                   |
| $T=T_1$      | $T_2=T_1 \cdot V_2/V_1$ | $T_2=T_1 \cdot p_2/p_1$ | $T_2=T_1$               | $T_2=T_1 \cdot (V_1/V_2)^{k-1}$ |



### 2.1.3. Variatia parametrilor energetici in cazul evolutiilor particulare

Se va studia variația celor 3 parametrii energetici ai gazului perfect și anume  $Q$ ,  $U$  și  $L$ .

1. Evoluția izobara ( $p_1=p_2$ )

$$m \cdot c_p = \Delta Q / \Delta T \Rightarrow \Delta Q = m \cdot c_p \cdot (T_2 - T_1); \\ L_{1,2} = \Delta L = p_1 \cdot (V_2 - V_1) = p_2 \cdot V_2 - p_1 \cdot V_1 = m \cdot R \cdot T_2 - m \cdot R \cdot T_1 = m \cdot R \cdot (T_2 - T_1); \\ \Delta U = \Delta Q - \Delta L = m \cdot (c_p - R) \cdot (T_2 - T_1) = m \cdot c_v \cdot (T_2 - T_1).$$

2. Evoluția izocora ( $V_1=V_2$ )

$$\Delta L = 0;$$

$$m \cdot c_v = \Delta Q / \Delta T \Rightarrow \Delta Q = m \cdot c_v \cdot (T_2 - T_1) = \Delta U.$$

3. Evoluția adiabatică ( $\Delta Q=0$ )

$$m \cdot c_v = \Delta U / \Delta T \Rightarrow \Delta U = -\Delta L = m \cdot c_v \cdot (T_2 - T_1).$$

4. Evoluția izotermă ( $T_1=T_2$ )

$$U=U(T) \Rightarrow \Delta U=0; p_1 \cdot V_1 = p \cdot V \Rightarrow p(V)=p_1 \cdot V_1 \cdot (1/V);$$

$$L_{1,2} = \Delta L = \int p(V) dV = \int p_1 \cdot V_1 \cdot (1/V) dV = p_1 \cdot V_1 \int (1/V) dV = p_1 \cdot V_1 \cdot \ln V \Big|_1^2 = p_1 \cdot V_1 \cdot (\ln V_2 - \ln V_1) = \\ = p_1 \cdot V_1 \cdot \ln(V_2/V_1) = m \cdot R \cdot T_1 \cdot \ln(V_2/V_1) = \Delta Q.$$

| Param\Evol. | Izobara                         | Izocora                         | Izotermă                                 | Adiabatica                       |
|-------------|---------------------------------|---------------------------------|--|----------------------------------|
| $\Delta Q$  | $m \cdot c_p \cdot (T_2 - T_1)$ | $m \cdot c_v \cdot (T_2 - T_1)$ | $m \cdot R \cdot T_1 \cdot \ln(V_2/V_1)$ | 0                                |
| $\Delta L$  | $m \cdot R \cdot (T_2 - T_1)$   | 0                               | $m \cdot R \cdot T_1 \cdot \ln(V_2/V_1)$ | $-m \cdot c_v \cdot (T_2 - T_1)$ |
| $\Delta U$  | $m \cdot c_v \cdot (T_2 - T_1)$ | $m \cdot c_v \cdot (T_2 - T_1)$ | 0  | $m \cdot c_v \cdot (T_2 - T_1)$  |

## **2.1.4. Termodinamica arderii**

Arderea este procesul chimic prin care o substanță intră în reacție cu oxigenul ducând la degajare de căldură (reacția chimică exoterma). Substanța ce intră în reacție se numește substanță combustibilă sau combustibil. Aceasta poate fi în stare de agregare solidă, lichidă sau gazoasă.

In general, combustibilul este un compus al carbonului și de aceea se mai numește și carburant. In general, în carburant, pe lângă carbon mai se gaseste și hidrogen, substanțele carburante mai numindu-se hidrocarburi.

Din reacția chimică a unei hidrocarburi cu oxigenul rezultă, pe lângă o cantitate de energie degajată sub forma de căldură, dioxid de carbon și apă.

Pentru a arde carburantul, MAS4t, folosește oxigenul din aerul atmosferic.

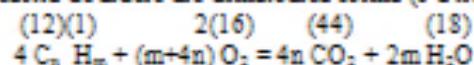
Pentru a analiza procesul de ardere, există două metode principale diferite, prima definind carburantul prin formula sa chimică (destul de rar carburantii se prezintă sub formă chimic pură, în general acestia întâlnindu-se sub formă de amestec de hidrocarburi) sau a două definind carburantul prin participația masică a elementelor chimice componente.

Analiza procesului de ardere urmărește determinarea compozitiei amestecului de carburant și aer ce urmărează să arde în MAS4t, compozitia gazelor arse evacuate, cantitatea de energie eliberată prin ardere și parametrii termodinamici din timpul și la finele arderii.

### **2.1.4.1. Arderea combustibilului definit prin formula chimică**

La modul general, o hidrocarbura chimic pură este dată de formula  $C_nH_m$ , aceasta însemnând că hidrocarbura conține  $n$  atomi de carbon și  $m$  atomi de hidrogen.

Reacția de ardere are urmatoarea formă (s-a trecut deasupra fiecărui element chimic masa sa atomică):



adică:

$$4 \cdot (12 \cdot n + m) \text{ kg } C_n H_m + (m+4 \cdot n) \cdot 2 \cdot 16 \text{ kg } O_2 = 4 \cdot n \cdot 44 \text{ kg } CO_2 + 2 \cdot m \cdot 18 \text{ kg } H_2O$$

$$4 \cdot (12 \cdot n + m) \text{ kg } C_n H_m + 32 \cdot (m+4 \cdot n) \text{ kg } O_2 = 176 \cdot n \text{ kg } CO_2 + 36 \cdot m \text{ kg } H_2O / : 4 \cdot (12 \cdot n + m)$$

$$1 \text{ kg } C_n H_m + 32 \cdot (m+4 \cdot n) / (4 \cdot (12 \cdot n + m)) \text{ kg } O_2 = 176 \cdot n / (4 \cdot (12 \cdot n + m)) \text{ kg } CO_2 + 36 \cdot m / (4 \cdot (12 \cdot n + m)) \text{ kg } H_2O$$

$$1 \text{ kg } C_n H_m + 8 \cdot (m+4 \cdot n) / (12 \cdot n + m) \text{ kg } O_2 = 44 / (12 \cdot n + m) \text{ kg } CO_2 + 9 / (12 \cdot n + m) \text{ kg } H_2O$$

Deci pentru fiecare kg de carburant sunt necesare  $8 \cdot (m+4 \cdot n) / (12 \cdot n + m)$  kg de  $O_2$  pentru a arde chimic corespunzător (stoechiometric).

sau:

$$\min O \text{ kg} = 8 \cdot (m+4 \cdot n) / (12 \cdot n + m) \text{ kg } O_2 / \text{kg comb.} = \text{cantitatea stoechiometrică de oxigen pentru arderea hidrocarburii.}$$

Cum, aerul atmosferic are o compozitie volumetrică aproximativă de 21%  $O_2$  și 79%  $N_2$ , compozitia sa masică va fi:

$$21 O_2 + 79 N_2 = (21 \cdot 32 + 79 \cdot 28) L \quad (\text{aerul se va simboliza cu L, de la germanul Luft})$$

sau:

$$672 \text{ kg } O_2 + 2212 \text{ kg } N_2 = 2884 \text{ kg } L \Rightarrow 0,233 \text{ kg } O_2 + 0,767 \text{ kg } N_2 = 1 \text{ kg } L$$

deci, vom găsi 1 kg  $O_2$  în 1 / 0,233 kg L = 4,292 kg L / kg  $O_2$  (și, respectiv 3,292 kg  $N_2$  / kg  $O_2$ )

în aceste condiții:

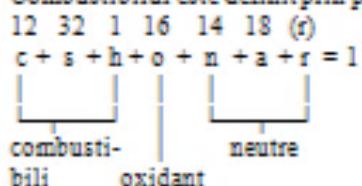
$$\min(L) \text{ kg} = 4,292 \cdot \min O \text{ kg} = 4,292 \cdot 8 \cdot (m+4 \cdot n) / (12 \cdot n + m) \text{ kg } L / \text{kg comb.} = \text{cantitatea stoechiometrică de aer pentru arderea hidrocarburii.}$$

Deci bilanțul masic global al arderii este:

$$1 \text{ kg comb.} + (\min(L)) \text{ kg } L = 44 / (12 \cdot n + m) \text{ kg } CO_2 + 9 / (12 \cdot n + m) \text{ kg } H_2O + 3,292 \cdot 8 \cdot (m+4 \cdot n) / (12 \cdot n + m) \text{ kg } N_2$$

#### 2.1.4.2. Arderea combustibilului definit prin participatia masica

Combustibilul este definit prin participatia masica a elementelor componente, astfel:



Reactiile tipice de ardere ale elementelor combustibile sunt:

- $C + O_2 \Rightarrow CO_2 \Rightarrow 12 \text{ kg } c + 32 \text{ kg } o = 44 \text{ kg } CO_2 / : 12 \Rightarrow 1 \text{ kg } c + 32/12 \text{ kg } o = 44/12 \text{ kg } CO_2 / * x \Rightarrow x \text{ kg } c + (8/3)x \text{ kg } o = (11/3)x \text{ kg } CO_2$
- $S + O_2 \Rightarrow SO_2 \Rightarrow 32 \text{ kg } s + 32 \text{ kg } o = 64 \text{ kg } SO_2 / : 32 \Rightarrow 1 \text{ kg } s + 32/32 \text{ kg } o = 64/32 \text{ kg } SO_2 / * x \Rightarrow x \text{ kg } s + x \text{ kg } o = 2x \text{ kg } SO_2$
- $2 \cdot H_2 + O_2 \Rightarrow 2 \cdot H_2O \Rightarrow 4 \text{ kg } h + 32 \text{ kg } o = 36 \text{ kg } a / : 4 \Rightarrow 1 \text{ kg } h + 32/4 \text{ kg } o = 36/4 \text{ kg } a / * x \Rightarrow x \text{ kg } h + 8x \text{ kg } o = 9x \text{ kg } a$

Considerand in relatia 1.  $x=c$ , in relatia 2.  $x=s$  si in relatia 3.  $x=h$ , va rezulta ca, pentru fiecare kg de combustibil definit prin participatie masica avem nevoie de:

$$\min O \text{ kg} = (8/3 \cdot c + s + 8 \cdot h - o) \text{ kg } O / \text{kg comb.} = \text{cantitatea stoichiometrica de oxigen pentru arderea hidrocarburui.}$$

in aceste conditii:

$$\min L \text{ kg} = 4,292 \cdot (8/3 \cdot c + s + 8 \cdot h - o) \text{ kg } L / \text{kg comb.} = \text{cantitatea stoichiometrica de aer pentru arderea hidrocarburui.}$$

Deci bilantul masic global al arderii este:

$$1 \text{ kg comb.} + (\min L) \text{ kg } L = (11/3) \cdot c \text{ kg } CO_2 + 2 \cdot s \text{ kg } SO_2 + (9 \cdot h + a) \text{ kg } a + [3,292 \cdot ((8/3) \cdot c + s + 8 \cdot h - o) + n] \text{ kg } n + r \text{ kg } r$$

sau:

$$1 \text{ kg comb.} + (\min L) \text{ kg } L = (11/3) \cdot c \text{ kg } CO_2 + 2 \cdot s \text{ kg } SO_2 + (9 \cdot h + a) \text{ kg } a + [3,292 \cdot ((8/3) \cdot c + s + 8 \cdot h - o) + n] \text{ kg } n + r \text{ kg } r$$

In realitate, combustibilul in motor nu arde cu cantitatea stoichiometrica de aer, ci aceasta este corectata cu un coefficient  $\lambda$ , numit coefficient de exces de aer. Daca  $\lambda > 1$ , arderea se face cu exces de aer (amestec "sarac"), iar daca  $\lambda < 1$ , arderea se face cu lipsa de aer (amestec "bogat").

Daca corectam cantitatea de aer ce intra in motor cu  $\lambda$ , vom obtine un bilant masic cu exces de aer:

$$1 \text{ kg comb.} + \lambda \cdot (\min L) \text{ kg } L = (1 + \min L) \text{ kg gaze arse} + (\lambda - 1) \cdot \min L \text{ kg } L, \text{ pentru } \lambda > 1 \text{ sau:}$$

$$1 \text{ kg comb.} + \lambda \cdot (\min L) \text{ kg } L = \lambda \cdot (1 + \min L) \text{ kg gaze arse} + (1 - \lambda) \text{ kg comb., pentru } \lambda < 1$$

In cazul in care  $\lambda < 1$  (ardere cu amestec "bogat"), arderea este insotita de reactii de disociere. Aceste reactii preiau o parte din energia rezultata din ardere, pe care o elibereaza spre finele procesului de ardere. Reactiile de disociere au un rol stabilizator al procesului de ardere.

Reactiile de disociere (reversibile) cel mai frecvent intalnite sunt:

- $H_2O + CO \rightleftharpoons CO_2 + H_2$  (disocierea monoxidului de carbon cu apa);
- $2 CO + O_2 \rightleftharpoons 2 CO_2$  (disocierea monoxidului de carbon cu oxigen);
- $2 H_2 + O_2 \rightleftharpoons 2 H_2O$  (disocierea apei);
- $2 OH + H_2 \rightleftharpoons 2 H_2O$  (disocierea oxidrilului);
- $2 NO \rightleftharpoons N_2 + O_2$  (disocierea oxidului de azot);
- $2 H \rightleftharpoons H_2$  (disocierea hidrogenului);
- $2 O \rightleftharpoons O_2$  (disocierea oxigenului).

## 2.2. Ciclul ideal MAS4t - MAN

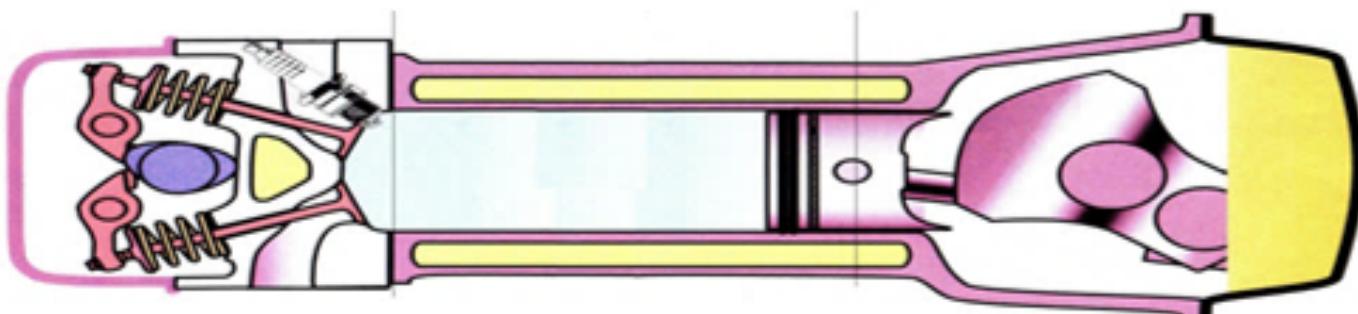
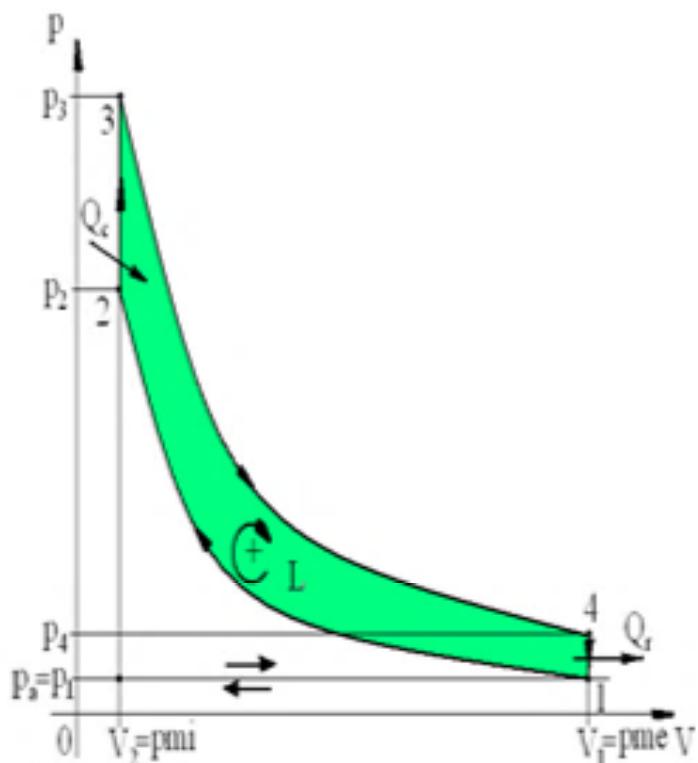
Definiri:

$V_1$  = volumul interior al motorului cand pistonul se afla in pme;  
 $V_2$  = volumul interior al motorului cand pistonul se afla in pmi;  
 $V_t = V_1 - V_2$  : capacitate cilindrica sau cilindrees;  
 $\varepsilon = V_1/V_2$  : raport volumetric de compresie;  
 $\alpha = p_2/p_1$  : raport de crestere a presiunilor dupa ardere;

Ipoteze simplificatoare:

- dupa inchiderea supapei de admisie si inainte de deschiderea supapei de evacuare, sistemul termodinamic se considera sistem inchis;
- evolutiile de comprimare si destindere sunt evolutii adiabatice;
- schimbul de gaze pentru timpii I (admisia) si IV (evacuarea) se considera evolutii izobare la presiunea atmosferica  $p_a$ ;
- amestecul carburant nu isi schimba proprietatile fizice si chimice in urma si in timpul arderii;
- supapele de admisie si evacuare se deschid si inchid instantaneu in pmi, respectiv in pme iar schimbul de gaze se face complet si la presiune constanta;
- arderea incepe cand pistonul a ajuns in pmi, aceasta se produce instantaneu, si consta intr-o crestere de presiune la volum constant (ardere izocora);

$$L = L_{24} + L_{12} = Q_e - |Q_d|$$



$$p_1 \cdot V_1^k = p_2 \cdot V_2^k \Rightarrow p_2 = p_1 \cdot (V_1/V_2)^k = p_1 \cdot \varepsilon^k; p_1 \cdot V_1 = m \cdot R \cdot T_1 \text{ si } p_2 \cdot V_2 = m \cdot R \cdot T_2 \Rightarrow T_2 = T_1 \cdot (p_2 \cdot V_2 / (p_1 \cdot V_1)) = T_1 \cdot p_1 \cdot \varepsilon^k / (p_1 \cdot \varepsilon) = T_1 \cdot \varepsilon^{k-1}; \\ V_2 = V_1 / \varepsilon;$$

$$p_2 = p_1 \cdot a = p_1 \cdot a \cdot \varepsilon^k; p_1 \cdot V_1 = m \cdot R \cdot T_1 \text{ si } p_2 \cdot V_2 = m \cdot R \cdot T_2 \Rightarrow T_2 = T_1 \cdot (p_2 \cdot V_2 / (p_1 \cdot V_1)) \text{ si } V_2 = V_1 / \varepsilon; \\ T_2 = T_1 \cdot a \cdot p_1 \cdot \varepsilon^k \cdot (V_1 / \varepsilon) / (p_1 \cdot V_1) = T_1 \cdot a \cdot \varepsilon^{k-1};$$

$$p_2 \cdot V_2^k = p_4 \cdot V_4^k \Rightarrow p_4 = p_2 \cdot (V_2/V_4)^k; V_4 = V_1 \Rightarrow p_4 = p_2 \cdot a \cdot \varepsilon^{k-1} \cdot (V_1 / (\varepsilon \cdot V_1))^k = p_2 \cdot a; p_1/T_1 = p_4/T_4 \Rightarrow T_4 = T_1 \cdot p_4/p_1 = T_1 \cdot a; \\ T_4 = T_1 \cdot a \cdot \varepsilon^{k-1}$$

|   | 1     | 2                             | 3                                     | 4             |
|---|-------|-------------------------------|---------------------------------------|---------------|
| p | $p_1$ | $p_1 \cdot \varepsilon^k$     | $p_1 \cdot a \cdot \varepsilon^k$     | $p_1 \cdot a$ |
| V | $V_1$ | $V_1/\varepsilon$             | $V_1/\varepsilon$                     | $V_1$         |
| T | $T_1$ | $T_1 \cdot \varepsilon^{k-1}$ | $T_1 \cdot a \cdot \varepsilon^{k-1}$ | $T_1 \cdot a$ |

$$Q_d = m \cdot c_v \cdot (T_2 - T_1) \text{ si } |Q_d| = m \cdot c_v \cdot (T_4 - T_1) \text{ si cum } c_v/c_v = k \Rightarrow c_v = k \cdot c_v \text{ si } c_v \cdot c_v = R \Rightarrow k \cdot c_v \cdot c_v = R \Rightarrow c_v \cdot (k-1) = R \Rightarrow c_v = R/(k-1);$$

$$L = m \cdot R / (k-1) \cdot (T_2 - T_1 - T_4 + T_1) = m \cdot R / (k-1) \cdot (T_1 \cdot a \cdot \varepsilon^{k-1} - T_1 \cdot \varepsilon^{k-1} - T_1 \cdot a + T_1) = m \cdot R \cdot T_1 \cdot (\varepsilon^{k-1} - 1) \cdot (a - 1) / (k-1); \\ \text{si cum } T_1 = T_{\text{atm}}, \text{ adica temperatura atmosferica, avem:}$$

$$L = \frac{m \cdot R \cdot T_1}{(k-1)} \cdot (\varepsilon^{k-1} - 1) \cdot (a - 1)$$

Puterea mecanica este definita ca raportul intre lucru mecanic prestat de un sistem si timpul in care acesta il presteaza, deci pentru MAS4t avem:

$P = L/t_c$ , unde  $t_c$  este timpul cat dureaza un ciclu al motorului, adica doua ture ale arborelui cotit, si anume, daca  $n$  este turatia in rot/min, vom avea:

$T = 1/n_c = 1/(n/60) = 60/n$  si atunci  $t_c = 2T = 120/n$ ; unde  $T$  este perioada unei rotatii a arborelui cotit iar  $n_c = n/60$  este turatia, in rot/sec.

si, atunci, puterea motorului va fi:

$$P = \frac{m \cdot R \cdot T_1 \cdot n}{120 \cdot (k-1)} \cdot (\varepsilon^{k-1} - 1) \cdot (a - 1) \quad [\text{W}]$$

sau daca inlocuim  $m \cdot R \cdot T_1$  cu  $p_1 \cdot V_1$  si, daca notam  $p_1$  cu  $p_1$  = presiunea atmosferica si  $V_2 = V_1 - V_1 \cdot V_1 / \varepsilon = V_1 \cdot (\varepsilon - 1) / \varepsilon \Rightarrow V_2 = V_1 \cdot \varepsilon / (\varepsilon - 1)$  avem:

$$P = \frac{p_1 \cdot V_1 \cdot \varepsilon \cdot n}{120 \cdot (k-1) \cdot (\varepsilon - 1)} \cdot (\varepsilon^{k-1} - 1) \cdot (a - 1) \quad [\text{W}]$$

sau:

$$P = \frac{p_1 \cdot V_1 \cdot \varepsilon \cdot n}{120.000 \cdot (k-1) \cdot (\varepsilon - 1)} \cdot (\varepsilon^{k-1} - 1) \cdot (a - 1) \quad [\text{kW}]$$

iar, tinand cont ca 1 CP = 736 W, avem:

$$P = \frac{p_1 \cdot V_1 \cdot \varepsilon \cdot n}{120 \cdot 736 \cdot (k-1) \cdot (\varepsilon - 1)} \cdot (\varepsilon^{k-1} - 1) \cdot (a - 1) \quad [\text{CP}]$$

Randamentul termodinamic al MAS4t-MAN, din definitie, va fi:

$$\eta = 1 - |Q_d| / Q_c = 1 - m \cdot c_v \cdot (T_4 - T_1) / (m \cdot c_v \cdot (T_2 - T_1)) = 1 - (T_1 \cdot a - T_1) / (T_1 \cdot a \cdot \varepsilon^{k-1} - T_1 \cdot \varepsilon^{k-1}) = 1 - 1 / \varepsilon^{k-1}$$



$$\eta = 1 - 1/\varepsilon^{k-1}$$

Pentru calcularea consumului specific al MAS4t - MAN va trebui sa facem legatura intre raportul de crestere a presiunilor si bilantul masic din termodinamica arderii, si anume:

$m = m_a + m_c ; m_a = \lambda \cdot (\text{minL}) \cdot m_e \Rightarrow m = \lambda \cdot (\text{minL}) \cdot m_e + m_c = m_e \cdot (\lambda \cdot (\text{minL}) + 1) \Rightarrow m_e = m / (\lambda \cdot (\text{minL}) + 1)$ ; unde  $m$  este masa de amestec ce intra in motor,  $m_a$  este masa de aer, iar  $m_c$  este masa de carburant ce intra in motor.

Vom egala caldura primita de motor pe evolutia 2-3 si anume caldura primita de la sursa calda  $Q_e$  cu caldura rezultata din degajarea prin ardere a energiei chimice a carburantului  $E_0$  (data in J/kg).

$$Q_e = m_e \cdot E_0 = E_0 \cdot m / (\lambda \cdot (\text{minL}) + 1) ; \text{ unde } E_0 \text{ este energia chimica a carburantului;}$$

si

$$Q_e = m \cdot c_p \cdot (T_2 - T_1) = m \cdot (R / (k-1)) \cdot (T_2 - T_1) = (p_2 \cdot V_2 - p_1 \cdot V_1) / (k-1) = p_2 \cdot V_2 \cdot (p_2 / p_1 - 1) / (k-1) \text{ deoarece } V_2 = V_1 \Rightarrow$$

$$Q_e = m \cdot R \cdot T_1 \cdot (\alpha - 1) / (k-1) \Rightarrow$$

$$Q_e = m \cdot R \cdot T_1 \cdot \varepsilon^{k-1} \cdot (\alpha - 1) / (k-1) \text{ si de aici } \Rightarrow$$

$$E_0 \cdot m / (\lambda \cdot (\text{minL}) + 1) = m \cdot R \cdot T_1 \cdot \varepsilon^{k-1} \cdot (\alpha - 1) / (k-1) \Rightarrow (\alpha - 1) = (E_0 \cdot (k-1)) / ((\lambda \cdot (\text{minL}) + 1) \cdot R \cdot T_1 \cdot \varepsilon^{k-1}) ;$$

Sau, pentru  $T_1 = T_2$  avem:

$$(\alpha - 1) = E_0 \cdot (k-1) / ((\lambda \cdot (\text{minL}) + 1) \cdot R \cdot T_1 \cdot \varepsilon^{k-1}) ;$$

In aceste conditii, consumul specific al MAS4t-MAN va fi:

$$C_{eq} = m_e / (P \cdot t_e) ;$$

deci:

$$\text{daca } m = p_2 \cdot V_2 / (R \cdot T_2) \text{ si } m_e = p_2 \cdot \varepsilon \cdot V_1 / (R \cdot T_1 \cdot (\alpha - 1) \cdot (\lambda \cdot (\text{minL}) + 1)) \text{ avem:}$$

$$C_{eq} = \frac{\frac{p_2 \cdot \varepsilon \cdot V_1}{(R \cdot T_1 \cdot (\alpha - 1) \cdot (\lambda \cdot (\text{minL}) + 1))}}{\frac{p_2 \cdot V_1 \cdot \varepsilon \cdot m}{120} \cdot \frac{(\varepsilon^{k-1} - 1) \cdot (\alpha - 1)}{\pi \cdot 3.600}} [kg \text{ comb./kWh}]$$

$$= \frac{120}{120.000 \cdot (k-1) \cdot (\varepsilon - 1)} \cdot \frac{3.600.000 \cdot (k-1)}{(\varepsilon^{k-1} - 1) \cdot (\alpha - 1) \cdot (\alpha - 1)}$$

$$C_{eq} = \frac{3.600.000 \cdot (k-1)}{R \cdot T_1 \cdot (\lambda \cdot (\text{minL}) + 1) \cdot (\varepsilon^{k-1} - 1) \cdot (\alpha - 1) \cdot (\alpha - 1) / ((\lambda \cdot (\text{minL}) + 1) \cdot R \cdot T_1 \cdot \varepsilon^{k-1})}$$

deci:

$$C_{eq} = 3.600.000 / E_0 \cdot \varepsilon^{k-1} / (\varepsilon^{k-1} - 1) [kg \text{ comb./kWh}]$$

sau:

$$C_{eq} = 3.600.000 / (\eta \cdot E_0) [kg \text{ comb./kWh}]$$

si, in CP:

$$C_{eq} = 3.600 \cdot 736 / (\eta \cdot E_0) [kg \text{ comb./CPh}]$$



Exemplu de calcul:

MAS4t-MAN cu urmatorii parametri (motor M137, avioane Zlin 726/526):

Parametri geometrici motor:

- $V_1 = 5.960 \text{ cm}^3$ ;
- $V_2 = 7.085 \text{ cm}^3$ ;
- $V_3 = 1.125 \text{ cm}^3$ ;
- $\varepsilon = 6,3$ ;

Parametri functionali motor:

- $\lambda = 0,85$ ;
- $n = 2750 \text{ rot/min}$ ;

Parametri benzina:

- $\text{minL} = 15 \text{ kg aer / kg benz.}$ ;
- $E_b = 40.000 \text{ kJ/kg}$ ;

Parametri aer:

- $k = 1,4$ ;
- $R = 287 \text{ J/kgK}$ ;
- $p_0 = p_1 = 100.000 \text{ N/m}^2$  (760 mmHg);
- $T_0 = T_1 = 288 \text{ K}$  (15°C);

$$(\alpha - 1) = E_b \cdot (k-1) / ((\lambda \cdot (\text{minL}) + 1) \cdot R \cdot T_1 \cdot \varepsilon^{k-1}) = 4 \times 10^7 \times 0,4 / ((0,85 \times 15 + 1) \times 287 \times 288 \times 6,3^{0,4}) = 6,7423;$$

$$L = \frac{p_2 \cdot V_1}{(k-1)} \cdot (\varepsilon^{k-1} - 1) \cdot (\alpha - 1) = 10^5 \times 7,085 \times 10^{-3} \times (6,3^{0,4} - 1) \times 6,7423 / 0,4 = 12.994 \text{ J};$$

$$P = L \cdot n / 120 = 12.994 \times 2750 / 120 = 298.000 \text{ W} = 298 / 0,736 = 405 \text{ CP};$$

$$\eta = 1 - 1 / \varepsilon^{k-1} = 1 - 1 / 6,3^{0,4} = 0,5211 = 52,11 \%$$

$$C_{av} = 3.600.000 / (\eta \cdot E_b) = 3,6 \times 10^6 / (0,5211 \times 4 \times 10^7) = 0,173 \text{ kg benz. / kWh} = 173 \text{ g benz. / kWh} = (173 \times 0,736) = 127 \text{ g benz. / CPh};$$

## 2.3. CRESTEREA PUTERII MAS4t

Din formula puterii MAS4t, observam ca aceasta poate creste extensiv, crescand cilindrerea motorului, respectiv  $V_0$ , sau intensiv, crescand parametrii de proiectare sau functionali ai MAS4t, respectiv  $n$  – turatia motorului,  $\varepsilon$  – raportul volumetric de comprimare sau  $\alpha$  – raportul de crestere a presiunilor dupa ardere. Dintre acestia, cresterea turatiei este limitata de considerente ce tin de arderea combustibilului (arderea se face cu o viteza finita), cresterea raportul volumetric de compresie este limitata din considerente de stabilitate in functionare a motorului, iar raportul de crestere a presiunilor dupa ardere este dat de natura combustibilului folosit.

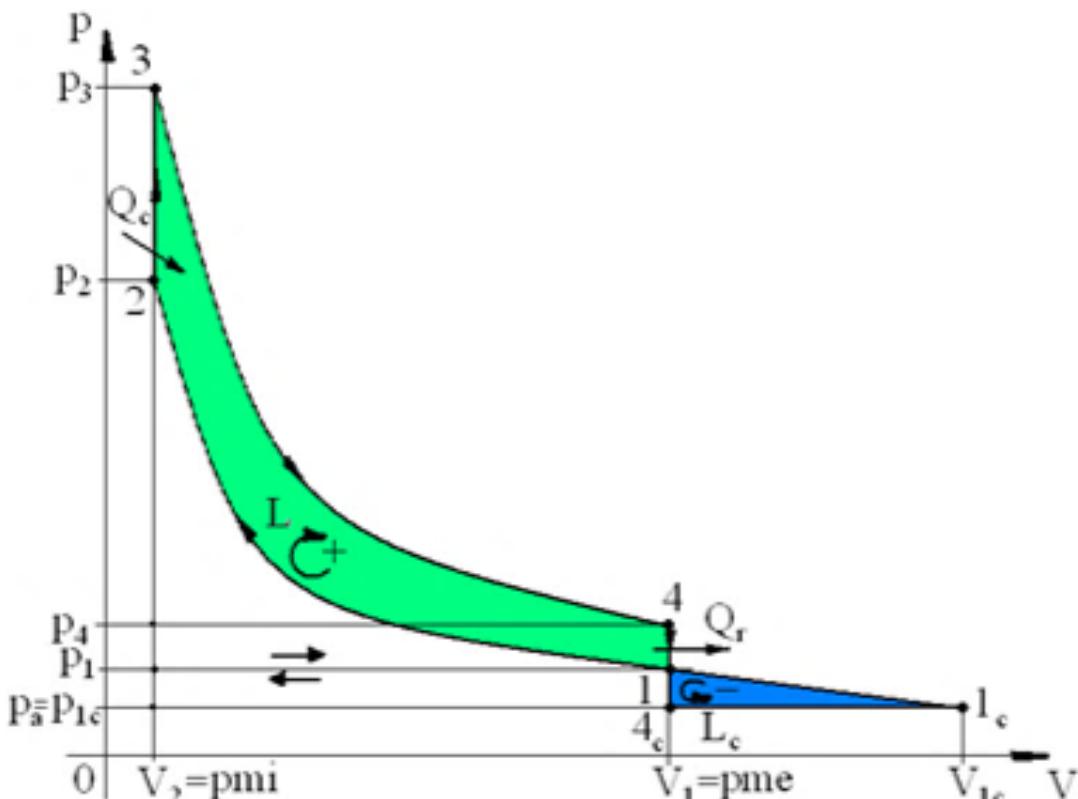
Prin urmare, o varianta de crestere a puterii MAS4t este cresterea presiunii la admisia aerului in motor  $p_a$ , prin montarea inainte de galeria de admisie a unui compresor de aer.

Acest compresor poate fi antrenat de la axul motorului rezultand varianta supraalimentarii cu compresor antrenat mecanic (MAS4t-MAF<sub>mc</sub>), sau compresorul poate fi antrenat de o turbina ce preia o parte din energia gazelor evacuate din motor, rezultand varianta supraalimentarii cu grup turbo-compresor (MAS4t-MAF<sub>tc</sub>).

### 2.3.1. MAS4t-MAF<sub>me</sub>

In cazul supraalimentarii cu compresor antrenat mecanic, la arborele cotit, prin intermediul unui multiplicator de turatie, se antreneaza un compresor centrifugal, care debiteaza aerul sub presiune in galeria de admisie.

Daca notam  $\pi_c = p_1 / p_{1c}$ , raportul de comprimare al compresorului, atunci, din lucru mecanic util al motorului, se va scadea lucru mecanic consumat de compresor.



$$L_{comp} = L_{1c,1} + L_{4c,1c} = m \cdot c_v \cdot (T_1 - T_{1c}) + m \cdot R \cdot (T_{1c} - T_{4c})$$

unde:

$$p_1 \cdot V_1^k = p_{1c} \cdot V_{1c}^{-k} \Rightarrow V_{1c} = V_1 \cdot (p_1/p_{1c})^{1/k} \Rightarrow V_{1c} = V_1 \cdot \pi_c^{-1/k} \text{ si din } p_1 \cdot V_1 = m \cdot R \cdot T_1 \text{ si } p_{1c} \cdot V_{1c} = m \cdot R \cdot T_{1c} \Rightarrow T_1 = T_{1c} \cdot (\pi_c^{-1/k})^k = T_{1c} \cdot \pi_c^{(k-1)/k}$$

si din:

$$V_{1c}/T_{1c} = V_{4c}/T_{4c} \Rightarrow T_{4c} = T_{1c} \cdot (V_{4c}/V_{1c}) \text{ si, cum } V_{4c} = V_1 \text{ avem } T_{4c} = T_{1c} \cdot (V_1/V_{1c}) = T_{1c} \cdot \pi_c^{-1/k}$$

si atunci:

$$\begin{aligned} L_{comp} &= m \cdot c_v \cdot (T_{1c} \cdot \pi_c^{(k-1)/k} - T_{1c}) + m \cdot R \cdot (T_{1c} \cdot \pi_c^{-1/k} - T_{4c}) = m \cdot R \cdot T_{1c} \cdot ((\pi_c^{(k-1)/k} - 1)/(k-1) - (\pi_c^{-1/k} - 1)) = \\ &= p_{1c} \cdot V_{1c} \cdot ((\pi_c^{(k-1)/k} - 1)/(k-1) - (\pi_c^{-1/k} - 1)) = p_{1c} \cdot V_1 \cdot \pi_c^{(k-1)/k} \cdot ((\pi_c^{(k-1)/k} - 1)/(k-1) - (\pi_c^{-1/k} - 1)) = \\ &= p_{1c} \cdot V_1 \cdot ((\varepsilon - 1)/\varepsilon) \cdot \pi_c^{1/k} \cdot ((\pi_c^{(k-1)/k} - 1)/(k-1) - (\pi_c^{-1/k} - 1)) \text{ unde } p_{1c} = p_1 \end{aligned}$$

deci:

$$L_{comp} = p_1 \cdot V_1 \cdot ((\varepsilon - 1)/\varepsilon) \cdot \pi_c^{1/k} \cdot ((\pi_c^{(k-1)/k} - 1)/(k-1) - (\pi_c^{-1/k} - 1))$$

Daca tinem seama de randamentul termodinamic  $\eta_{comp}$  si mecanic  $\eta_{me}$  al compresorului, cumulate intr-un randament global  $\eta_{tot-comp} = \eta_{comp} \cdot \eta_{me}$ , atunci putem corecta valoarea lucrului mecanic astfel:

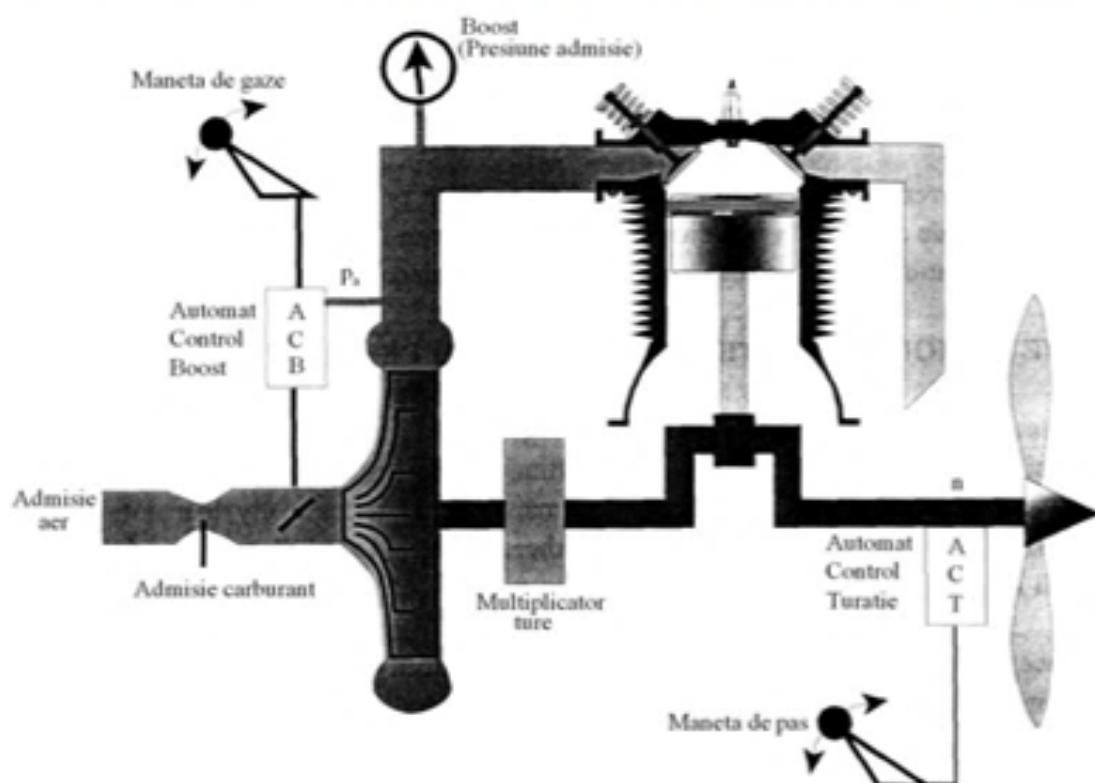
$$L_{comp-real} = L_{comp} / \eta_{tot-comp}$$

deci, in cazul MAS4t-MAF<sub>me</sub> avem:

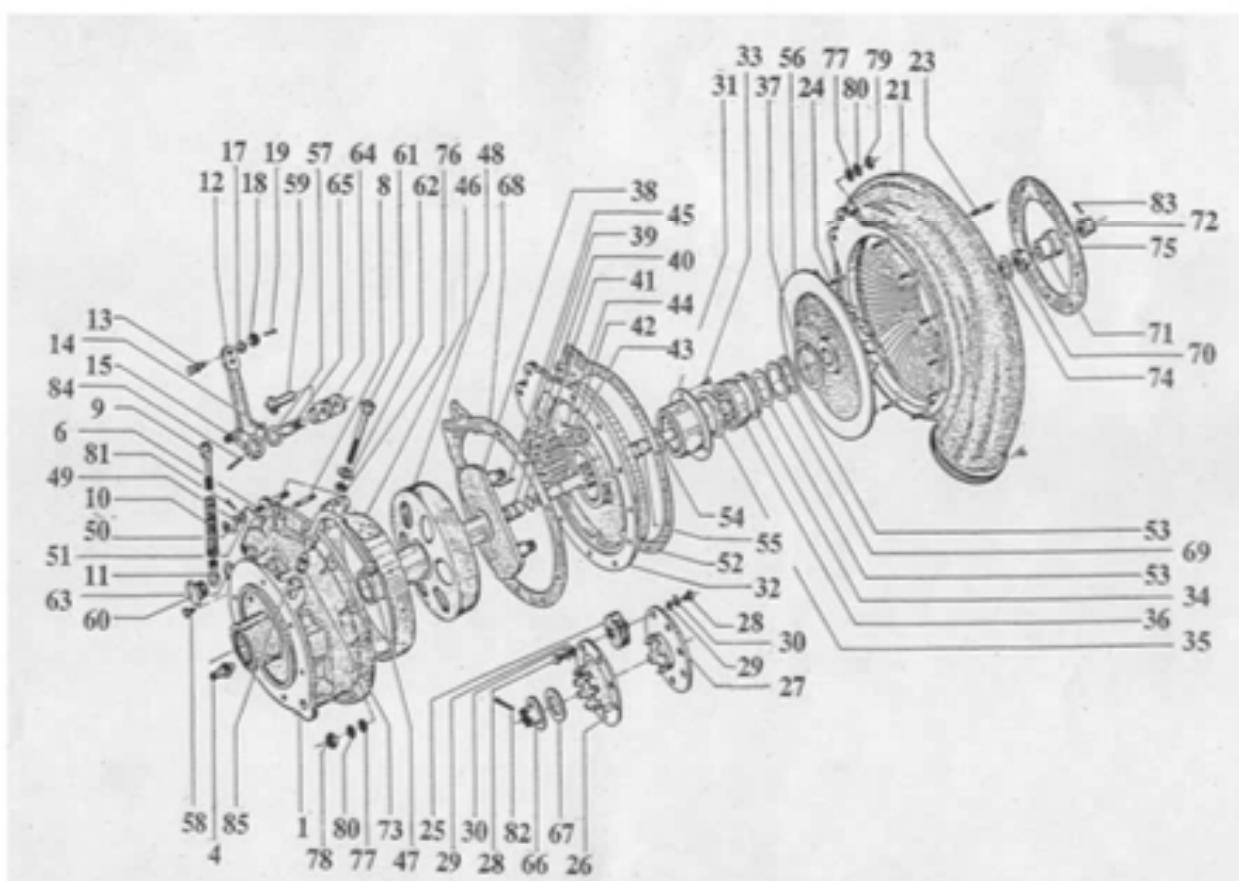
$$L_{MAF-me} = L - |L_{comp-real}|$$



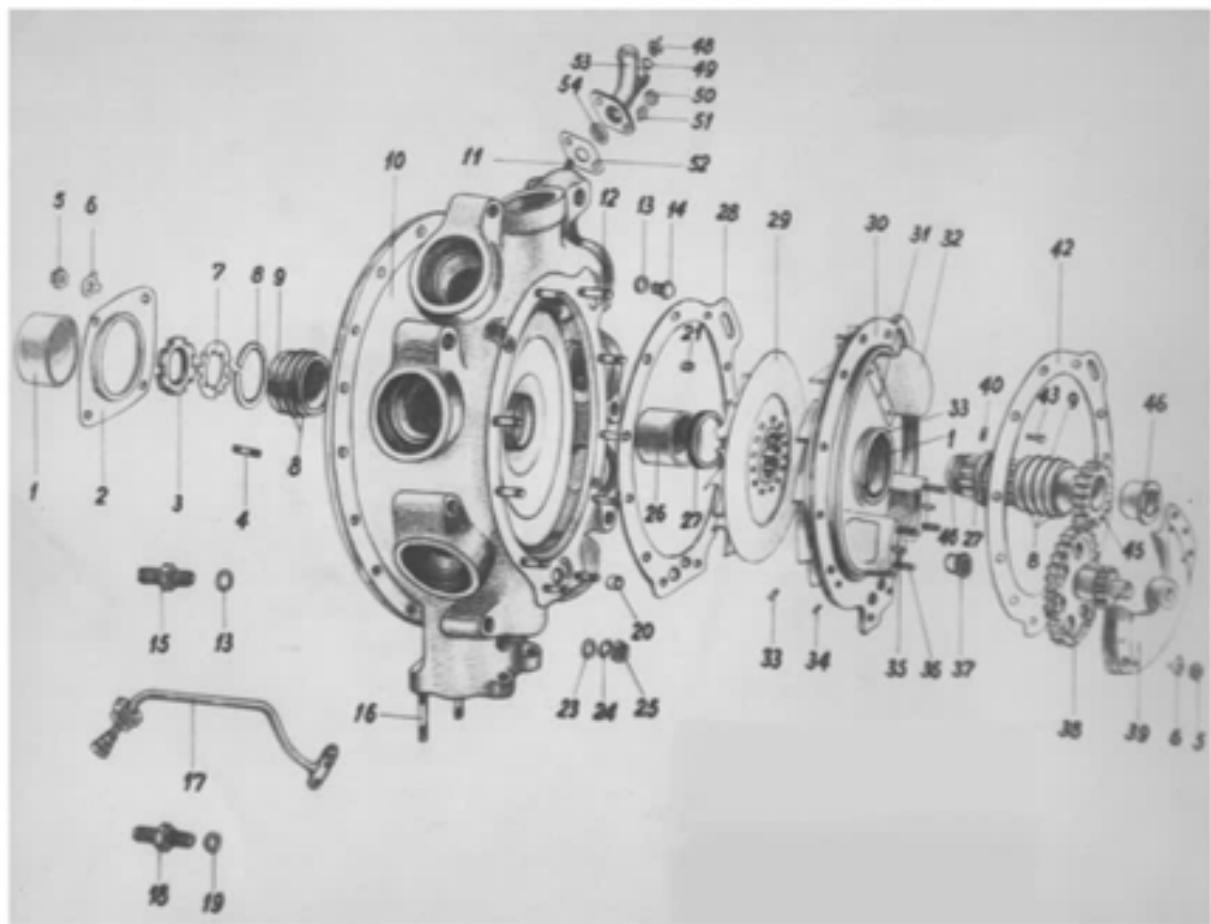
**SCHEMA INSTALATIEI DE SUPRAALIMENTARE CU COMPRESOR ANTRENAT MECANIC**



**COMPRESORUL SI MULTIPLICATORUL DE SUPRAALIMENTARE ALE MOTORULUI M337 (AVION ZLIN142)**



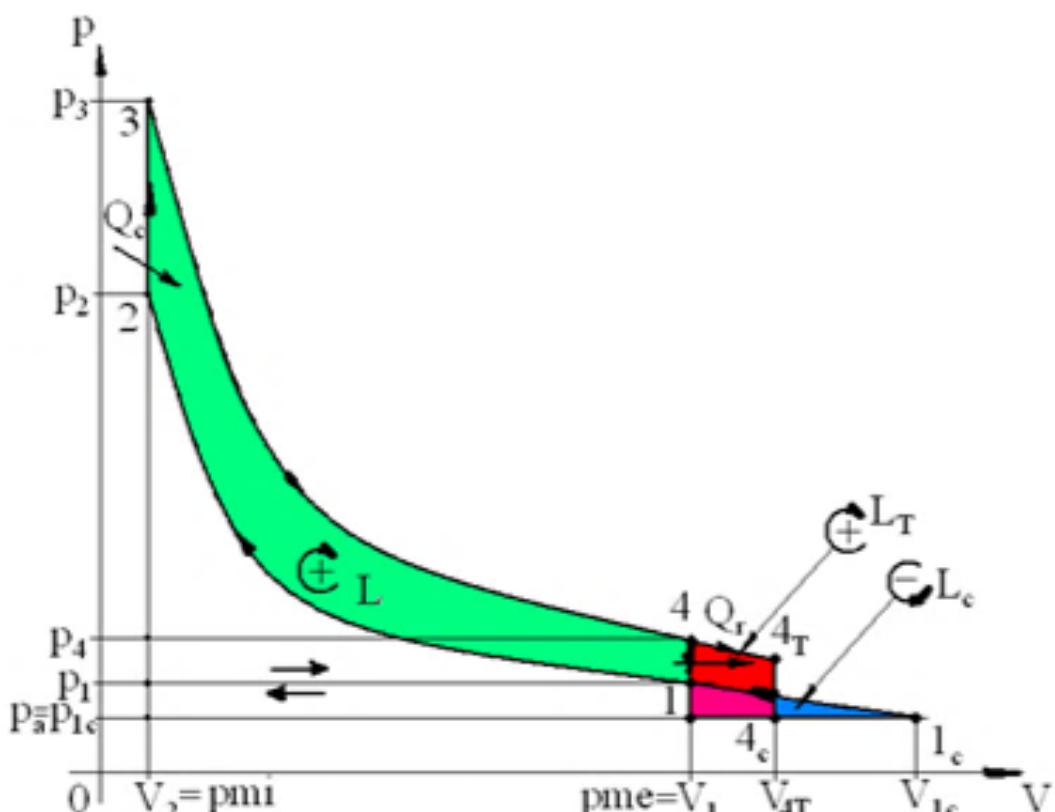
**COMPRESORUL SI MULTIPLICATORUL DE SUPRALIMENTARE ALE MOTORULUI AI14RA (AVION PZL104 WILGA)**



### 2.3.2. MAS4t - MAF<sub>TC</sub>

In cazul supraalimentarii cu grup turbo-compresor, o parte din energia gazelor evacuate este preluata de un etaj de turbina (de regula centripeta) si cu ajutorul unei clapete-supapa (clapeta by-pass) se aduce o parte din debitul gazelor evacuate in turbina. Turbina antreneaza un compresor (de regula centrifugal), a carui turatie de lucru (ce determina raportul de comprimare  $\pi_c$ ) este reglata de clapeta-supapa, ce limiteaza turatia grupului turbo-compresor la o valoare maxima, corespunzatoare unui raport de comprimare al aerului inainte de intrarea in motor, proiectat.

In cazul motorului supraalimentat cu grup turbo-compresor, o parte din energia cedata sursei reci ( $Q_c$ ) este preluata de turbina care antreneaza un compresor ce o transforma in lucru mecanic de comprimare,  $L_{comp}$ , al aerului, cu raportul de comprimare  $\pi_c = p_2/p_1$ . Aceasta ( $L_{comp}$ ) are aceeasi expresie ca la varianta MAS4t-MAF<sub>mc</sub>:



In acest caz, avem:

$$L_{turb} = L_{comp}$$

Daca  $\eta_{comp}$  este randamentul termodinamic al compresorului si respectiv,  $\eta_{turb}$  al turbinei si similar,  $\eta_{mech}$  randamentul mecanic al grupului turbo-compresor, atunci bilantul energetic al grupului turbo-compresor va fi:

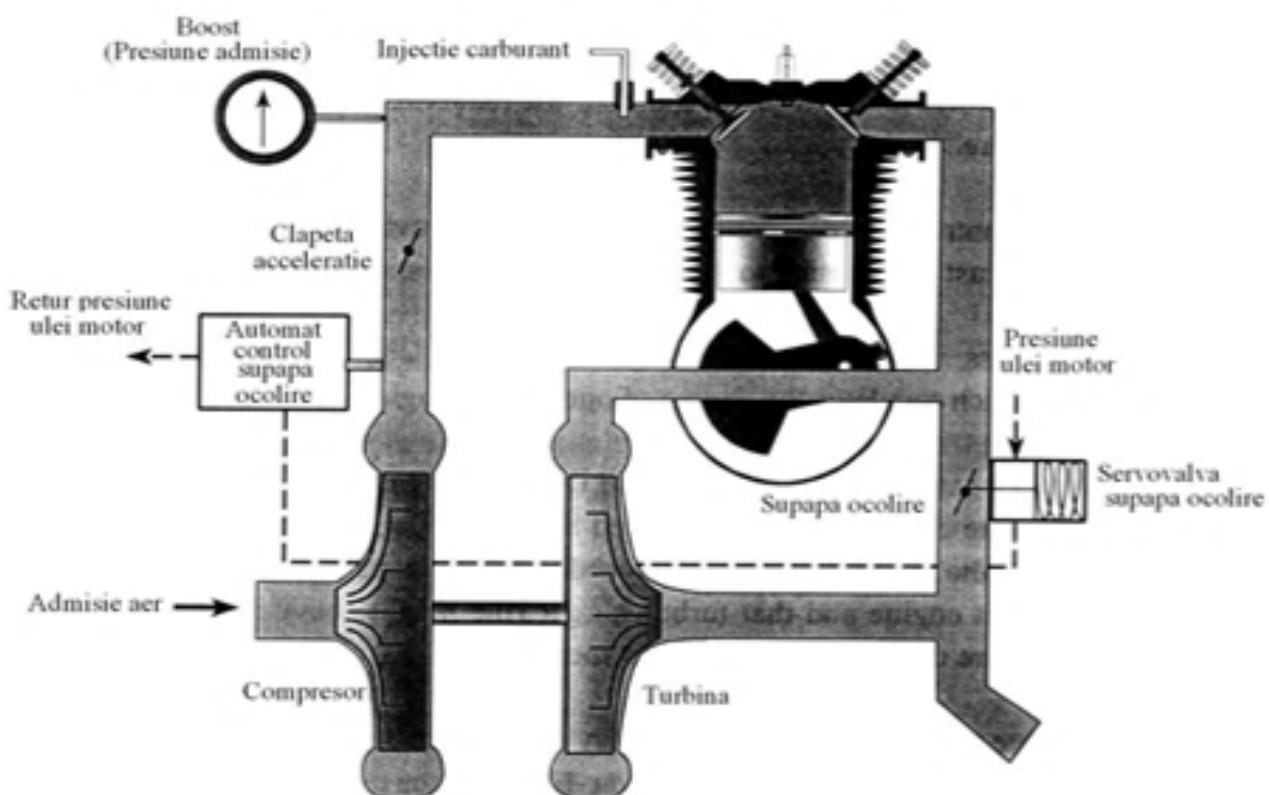
$$\eta_{turb} \cdot \eta_{mech} \cdot L_{turb} = L_{comp} / \eta_{comp}$$

In cazul supraalimentarii cu grup turbo-compresor, motorul nu pierde lucru mecanic pentru comprimarea aerului, acesta fiind recuperat din caldura cedata sursei reci (energia gazelor arse la ieșirea din motor), iar presiunea de aspiratie a aerului in motor este cea corespunzatoare ieșirii din compresor.

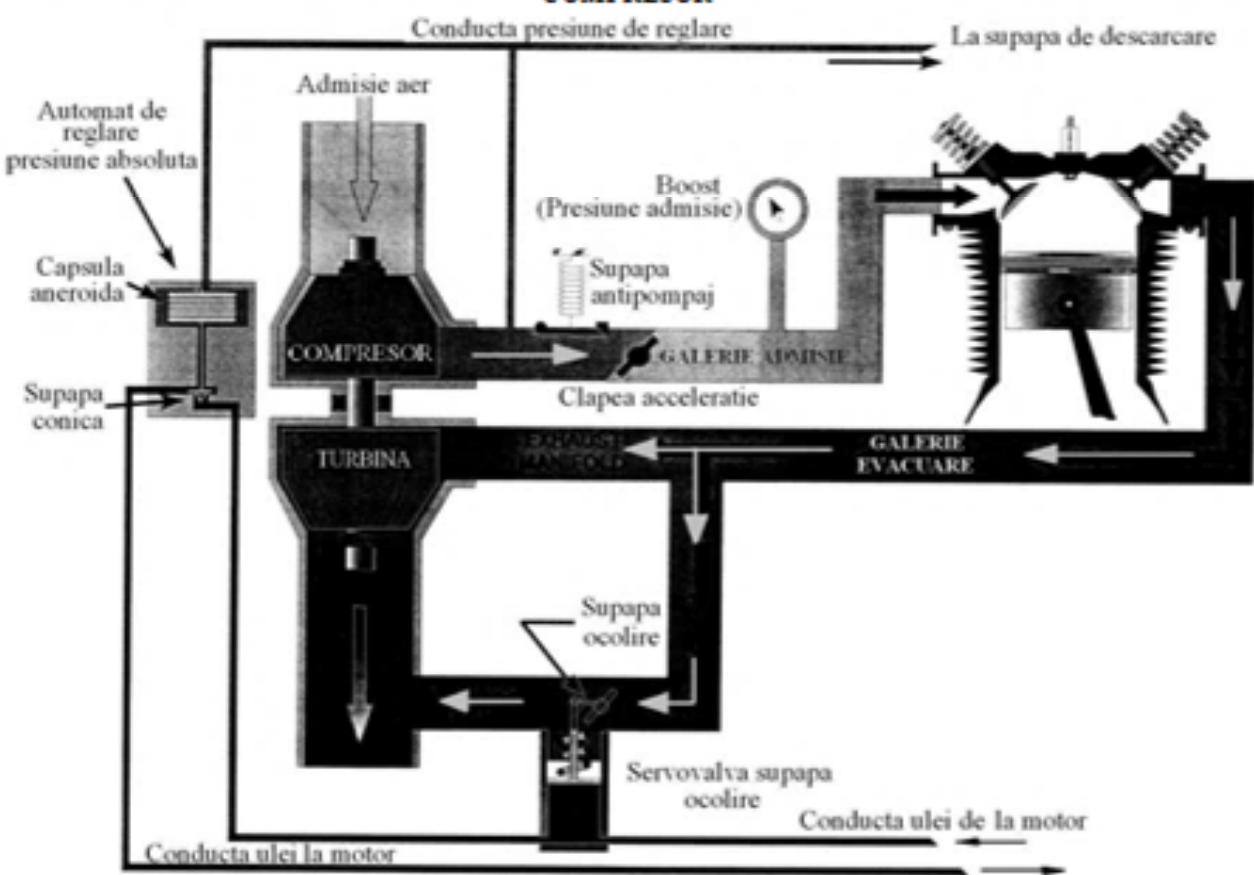
deci, in cazul MAS4t-MAF<sub>TC</sub> avem:

$$L_{MAF-TC} = L, \text{ cu } p_1 = p_2 \cdot \pi_c$$

**SCHEMA UNEI INSTALATII DE SUPRALIMENTARE CU GRUP TURBO-COMPRESOR SI INJECTIE DE BENZINA**



**SCHEMA DE COMANDA SI REGLAJ A INSTALATIEI DE SUPRALIMENTARE CU GRUP TURBO-COMPRESOR**



## **2.4. CICLUL REAL al motorului cu aprindere prin scanteie, in 4 timpi (MAS-4t)**

Față de ciclul ideal, la ciclul real se iau în considerație urmatoarele aspecte:

- evoluțiile de comprimare și de destindere nu sunt adiabatice ci sunt politropice (spre izoterme, mai apropiate de adiabatice);

- gazul de lucru își schimbă proprietățile fizice ( $c_p$ ,  $c_v$ , R și k sau n au valori ce depind de temperatură) și compoziția chimică în timpul arderii;

- nu se pot neglija pierderile prin frecare, acestea se caracterizează printr-o pierdere de căldură care se disipa;

- se iau în considerare puterile consumate de agregatele și sistemele motorului, precum și căldura cedată instalației de racire a motorului;

- supapele de admisie / evacuare nu se deschid / inchid instantaneu, existând intervale de timp de deschidere / închidere. Acestea se deschid cu avans la deschidere, respectiv cu întârziere la închidere. Amestecul proaspăt și gazele arse întâmpină rezistență atunci când circulă în galerii sau când trec prin fanta dintre tulerul supapei și chiulasă. În galerile de admisie și evacuare, amestecul carburant depășește limita compresibilității (depășește 500 km/h). La deschiderea supapei de evacuare, evacuarea se efectuează în regim supersonic, apare undă de soc (presiunea la finele destinderii fiind 6-7 bari), de unde rezultă zgomotul motorului;

- arderea combustibilului nu se face instantaneu ci într-o perioadă de timp determinată de viteza de ardere. Inițierea arderii prin scânteie electrică de înaltă tensiune se face înainte ca pistonul să ajungă în PMI cu un interval de timp respectiv cu un unghi de rotație al arborelui cotit numit avans la aprindere. Arderea inițiată de scânteie avansează sub formă de front de flacără și tinde să cuprindă tot volumul cilindrului. La o ardere normală, cu deflagrație (front subsonic), frontul de flacără are o viteză de 20-40 m/s. La o ardere anormală, frontul de flacără poate arde cu detonatie (front supersonic), caz în care viteza inițială de 200-300 m/s poate ajunge, prin reflectarea undelor de soc în interiorul motorului, la 2000-3000 m/s. Fenomenul de ardere supersonică, sau detonatie, este un fenomen periculos în funcționarea motorului și, datorită undelor de soc formate în interiorul său, acesta se poate distruge (spargeri de piston, ruperi de prezoane, spargeri de cilindru sau chiulase). Detonatia apare în cazul autoaprinderii amestecului carburant în fața frontului de flacără către finele propagării acestuia în camera de ardere. Caracteristice sunt zgomotele produse de detonatie ("batai"), datorate vibratiei motorului cauzata de undele de soc din interiorul său.

Simptomele detonatiei, în afara zgomotelor caracteristice, mai sunt și scaderea puterii motorului, creșterea consumului specific de carburant și supraîncalzirea motorului.

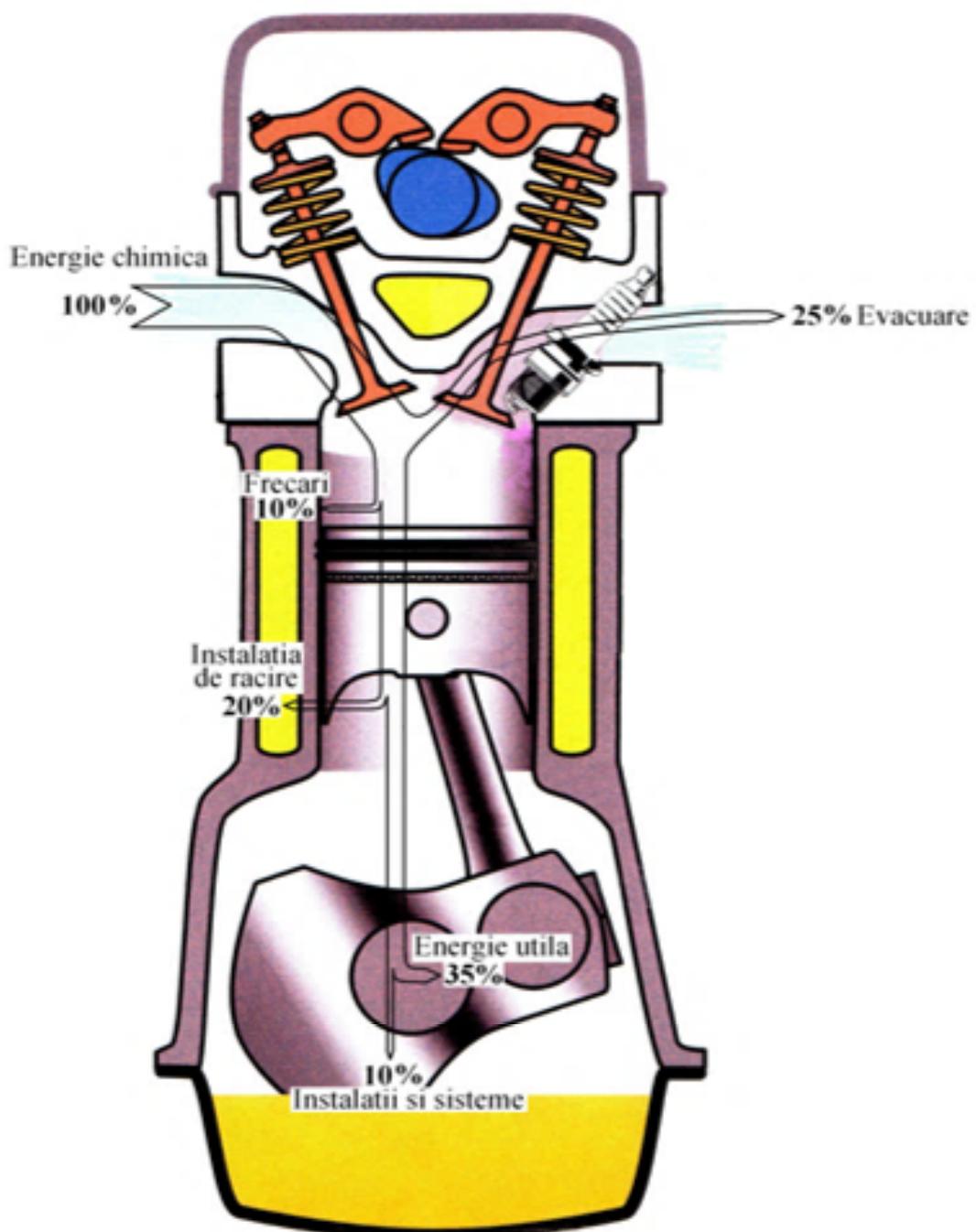
Apariția fenomenului de detonatie este favorizată de următorii factori:

- creșterea raportului de comprimare volumetrică  $\epsilon$ ;
- scaderea cifrei octanice a benzinei CO;
- dozajul sărac (sau excesul de aer λ supraunitar);
- presiunea mare la admisie (mai ales în cazul supraalimentării);
- temperatura mare a aerului la admisie;
- sarcini mari la turatii reduse;
- avansul mare la apindere.

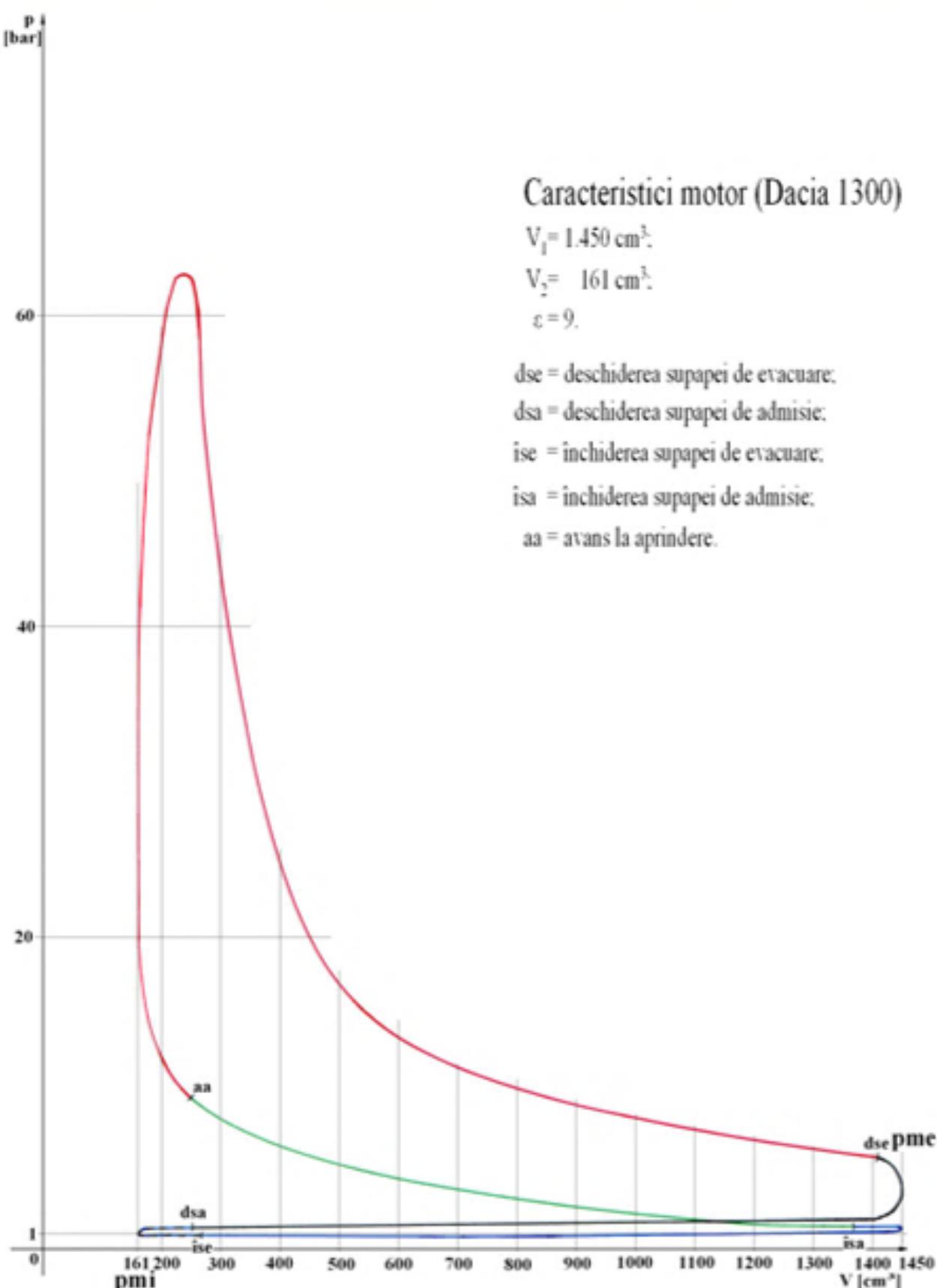
Din punct de vedere al rezistenței la detonatie, benzinele se clasifică după cifra octanică (CO). Cifra octanică a unei benzine reprezintă procentul de izooctan în amestecul cu normal-heptan (hidrocarburi componente ale benzinelor) care are aceeași rezistență la detonatie ca benzina data, în funcție de raportul de compresie. Pentru masurarea cifrei octanice se folosesc două metode, și anume metoda Research (COR) și metoda Motor (COM). În timp, în benzina, procentul de izooctan (de fapt CO) tinde să scade, deoarece izooctanul se transformă de la sine, în timp, în normal-heptan.

Pentru marirea rezistenței la detonatie a benzinelor, acestea se aditivează cu tetraetil de plumb.

#### 2.4.1. BILANȚUL ENERGETIC PENTRU MAS4t PENTRU CICLU REAL



#### 2.4.2. CICLUL REAL AL MAS4t-MAN



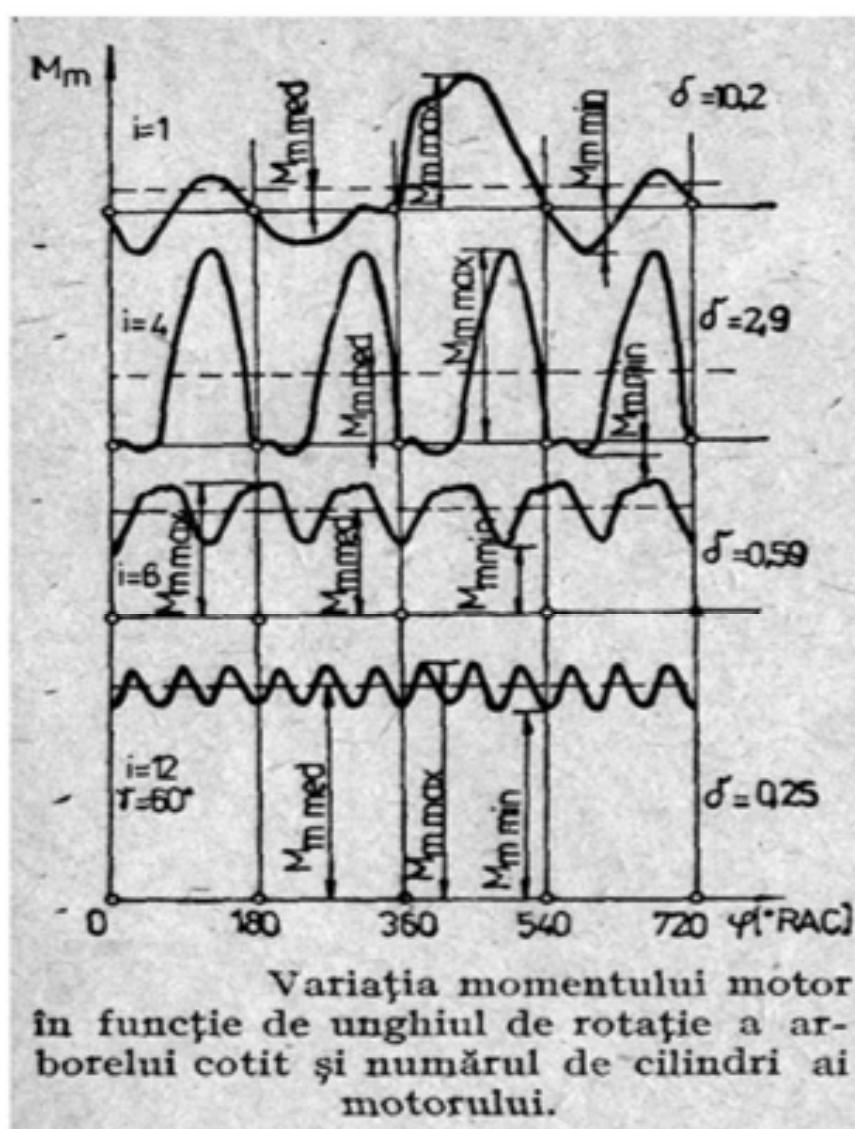
O primă condiție de care se ține cont la proiectarea motorului cu piston este aceea ca flacără să aibă timpul necesar să cuprindă tot volumul cilindrului. În aviație se folosesc simultan două bujii din considerente de ardere și pentru mărirea probabilității ca amestecul carburant să fie aprins.

În general, la motoarele cu o singură bujie există o probabilitate ca ciclii motori să fie fără ardere (timpul III).

Procentul ciclilor motori cu ardere se numește acoperire ciclică (în aviație acoperirea ciclică este de aprox. 93 %).

Un motiv pentru care motorul se construiește multi-cilindru este acela de a putea avea puteri mai mari, prin mărirea capacitatii cilindrice, fără a mări diametrul cilindrului. Un alt motiv pentru care se construiește motorul multi-cilindru este furnizarea momentului motor cat mai uniform.

**DIAGRAMA DE VARIATIE A MOMENTULUI MOTOR PENTRU UN CICLU MOTOR ( $720^\circ$  RAC) PENTRU  
MOTOARE CU  $i=1,4,6$  SI 12 CILINDRI (delta este dispersia momentului pe ciclu,  
adica  $(M_{max} - M_{min})/M_{med}$ )**

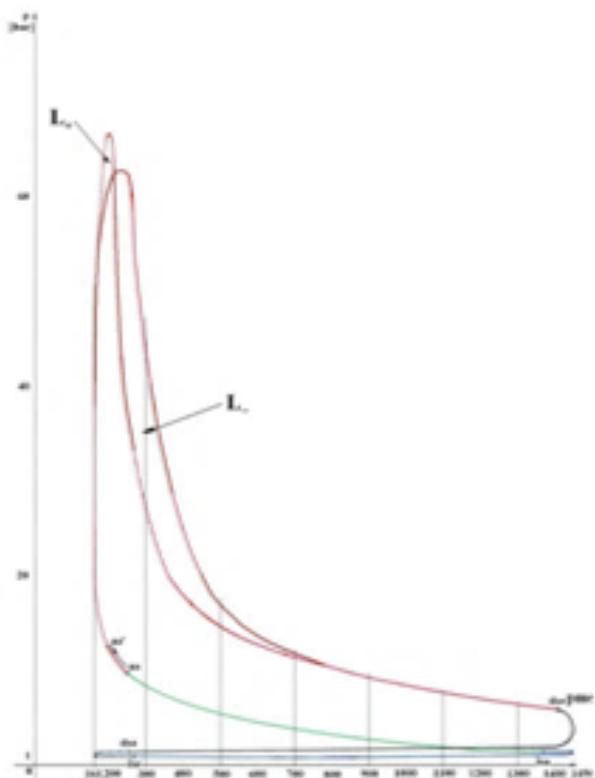


Zona de suprapunere în care ambele supape (SA, SE) sunt deschise se numește baleaj.

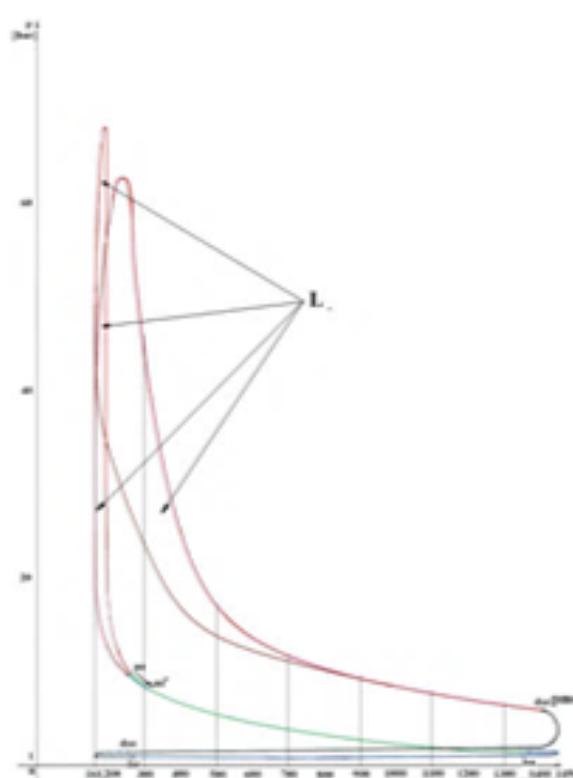
#### *Observație!*

Valorile avansurilor și întârzierilor la deschiderea sau închiderea supapei de admisie și evacuare precum și avansul la aprindere se stabilesc din considerente energetice.

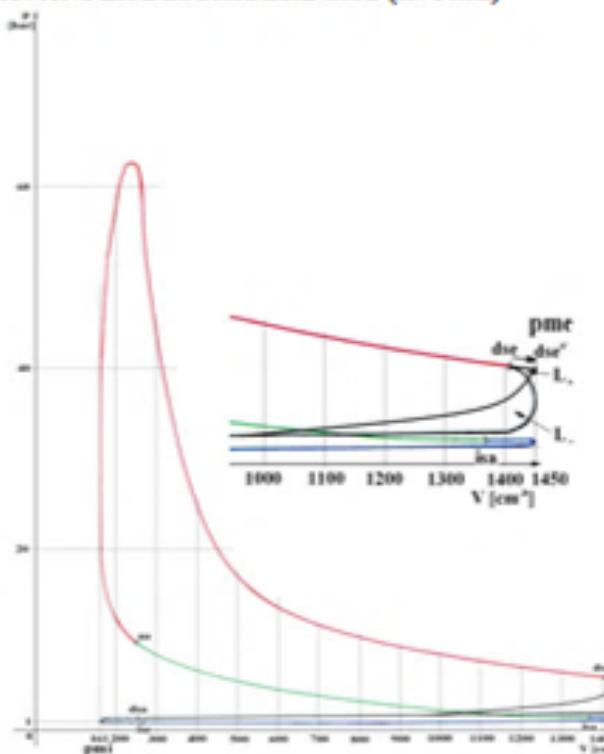
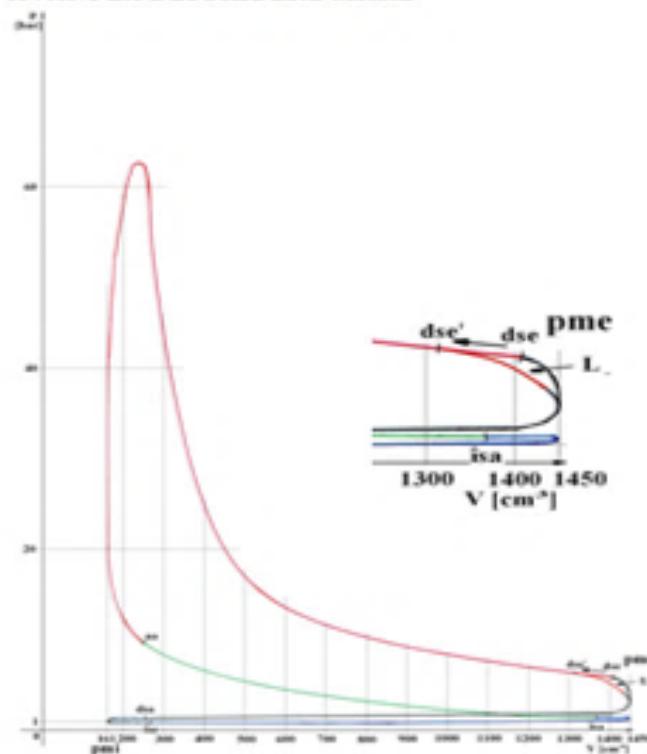
### VARIATIA LUCRULUI MECANIC UTIL IN FUNCTIE DE VALOAREA AVANSULUI LA APRINDERE SCADEREA AVANSULUI LA APRINDERE CRESTEREA AVANSULUI LA APRINDERE



**VARIATIA LUCRULUI MECANIC UTIL IN FUNCTIE DE AVANSUL LA DESCHIDEREA SUPAPEI DE EVACUARE**  
**AVANS LA DESCHIDERE MARE**



**AVANS LA DESCHIDERE MIC (IN PME)**



### **3. SISTEMELE MOTORULUI CU PISTON**

Pentru a funcționa, motorul cu piston are nevoie de 5 sisteme obligatorii:

1. Sistemul de ungere;
2. Sistemul de răcire;
3. Sistemul de distribuție;
4. Sistemul de aprindere;
5. Sistemul de carburație.

Suplimentar (și pentru aviație) sunt necesare și următoarele sisteme auxiliare:

- Sistemul de pornire (electric, pneumatic, inertial, pirotehnic);
- Sistemul antiincendiar (extintor, traductoare de temperatură, senzori de flacara, injectoare cu spumă);
- Rezonatoare (eșapamente) de evacuare sau de admisie;
- Sisteme de reglare automată (SRA).



### 3.1. Sistemul de ungere.

Sistemul de ungere are rolul de a aduce lubrifiantul (uleiul) în zona în care există piese în mișcare relativă, preîntâmpinând contactul direct între piese, care ar presupune degajarea de energie prin frecare, care conduce la incalzire, dislocări de material și temperaturi excesive (ceea ce ar putea provoca chiar topirea pieselor aflate în mișcare relativă).

Zonele în care piesele se află în mișcare relativă se numesc lagăre.

Clasificarea lagărelor:

- după natura mișcării relative a pieselor în contact:
  - lagăre de rotație (fusuri palier, fusuri de bielă, fusuri de arbore cu came);
  - lagăre de translație (pistonul în cilindru, coada supapei în ghidul de supapa);
  - lagăre de rototranslație (contactul camă - tachet sau cama - culbutor);
- după natura contactului pieselor în mișcare:
  - lagăre plane (lagărul bielei);
  - lagăre liniare (lagărul camă-culbutor);
  - lagăre punctiforme (rulmentul cu bile);
- după modul de evitare a contactului dintre piese:
  - lagăre cu alunecare (lagărul bielei);
  - lagăre cu rostogolire (rulmenți);
- după modul de plasare a lubrifiantului între piesele în mișcare:
  - lagăre hidrostatiche (HS) – lubrifiantul se aduce sub presiune în zona pieselor, iar evitarea contactului este realizată prin presiunea creată de o pompă de ulei;
  - lagăre hidrodinamice (HD) – lubrifiantul este doar adus în zona mișcării relative dintre piese și contactul dintre piese este evitat datorită efectului hidrodinamic de portanță creat în stratul limită al lubrifiantului, dintre piesele în mișcare relativă.

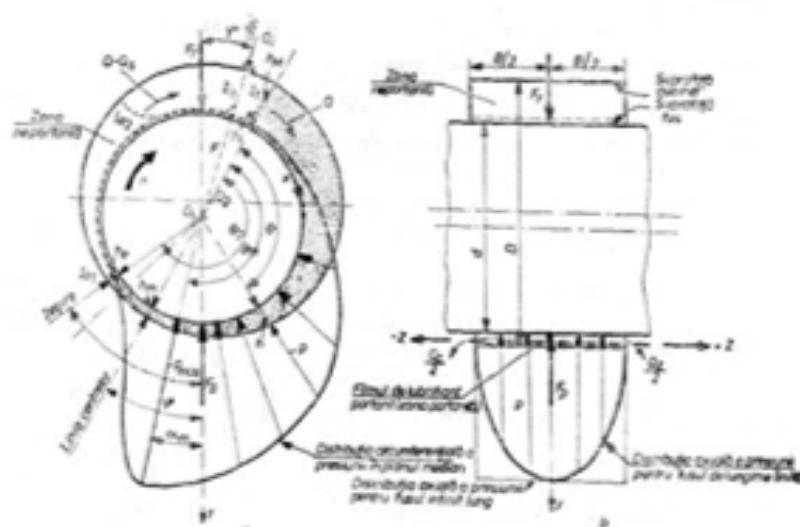
Cu preponderență, în motorul cu piston întâlnim lagare cu alunecare, cu ungere hidrodinamica (HD), respectiv toate tipurile, din punct de vedere a naturii mișcării relative a pieselor în contact și, mai rar, lagare cu rostogolire (rulmenți) sau hidrostatiche (HS).

Jocul unui lagăr reprezintă diferența între dimensiunea (diametrul sau grosimea) piesei cuprinse (numita "alezaj") și a piesei cuprinzătoare (numita "arbore" sau pentru lagăr cilindric, fus).

Jocul normal într-un lagăr HD este:

|                                      |           |
|--------------------------------------|-----------|
| - initial (piese noi)                | 0,0001xD; |
| - normal în funcționare (după rodaj) | 0,0002xD; |
| - maxim (înainte de reparatie)       | 0,0004xD, |

unde D este diametrul sau grosimea "arborelui".



Parametri funcționali ai unui lagăr radial HD de lungime finită și cu înțepător complet (180°): a — distribuția de presiune în plan radial; b — distribuția axială de presiune.

Presiunea care genereaza forta de sustentatie in lagar, ce duce la evitarea contactului direct intre piesele in miscare relativa, distribuita radial si axial ca in figura de mai sus, este de natura dinamica, si rezulta din distributia de viteze (variatia vitezelor) in stratul limita de lubrifiant.

Daca forta de sustentatie nu are o valoare suficienta, piesele in miscare relativa intră in contact direct, ce ceea ce duce, prin disiparea de energie rezultata prin frcare, la incalzirea excesiva a pieselor la suprafata de contact, care poate provoca distrugerea acestora prin dislocatia de material si chiar prin topirea materialului din care este fabricat lagarul.

In mod curent, arborele (fusul) este confectionat dintr-un material mai dur si cu o buna rezistenta la frcare (fonte, in special aliate sau cu grafit lamelar, oteluri tratate superficial prin cementare urmate de o calire superficiala sau acoperiri dure cum ar fi cromajele dure).

Alezajul (cuzinetul) este confectionat dintr-un material stratificat, avand in zona contactului cu arborele o depunere de material moale cu o buna rezistenta la frcare (aliaje de staniu, bronzuri cu plumb, etc.). Cuzinetul este o piesa demontabila de mici dimensiuni, cu un pret mic.

In cazul distrugerii lagarului prin frcare sau dupa expirarea timpului de functionare intre reparatiile capitale, respectiv cand jocul in lagar a depasit valoarea maxima, fusul se reprelucreaza (prin rectificare) la o cota inferioara (de obicei mai mica cu 0,25 mm) si se inlocuiesc cuzinetii cu un set pentru urmatoarea cota de reparatie (in mod curent, exista 3 sau 4 cote de reparatie pentru un lagar).

Presiunea maxima in lagar, deci si forta in lagar, este direct proportionala cu viscozitatea lubrifiantului, cu turatia, deci, respectiv, cu viteza relativa intre piesele in miscare si invers proportionala cu valoarea jocului in lagar. Odata cu cresterea temperaturii uleiului, viscozitatea acestuia scade.

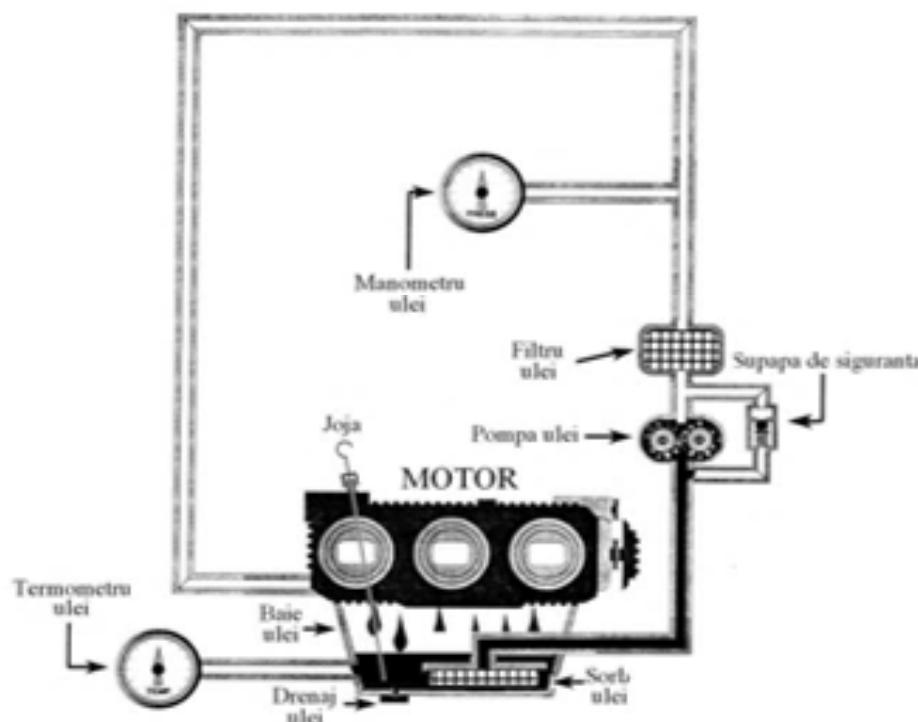
Uleiul este adus in lagăr intr-o zonă unde presiunea este nulă (la fusul palier, de exemplu, uleiul este adus pe sus).

#### Circuite de ungere.

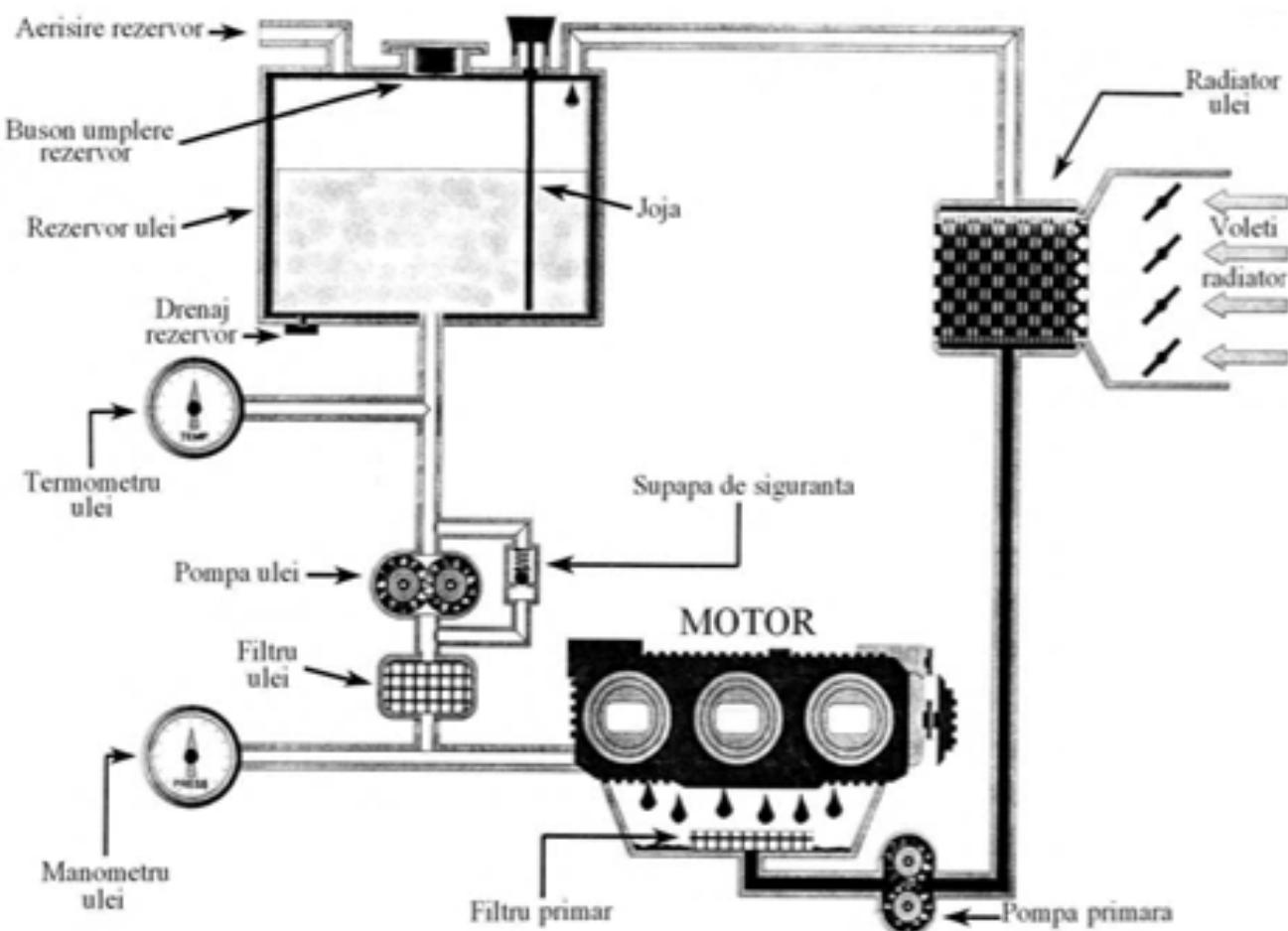
Circuitele de ungere ale MAS-4t sunt de două tipuri:

- cu carter UMED – la care lubrifiantul este păstrat in motor in baia de ulei;
- cu carter USCAT – la care lubrifiantul este păstrat intr-un rezervor exterior motorului.

#### UNGERE CU SISTEM CU CARTE UMED

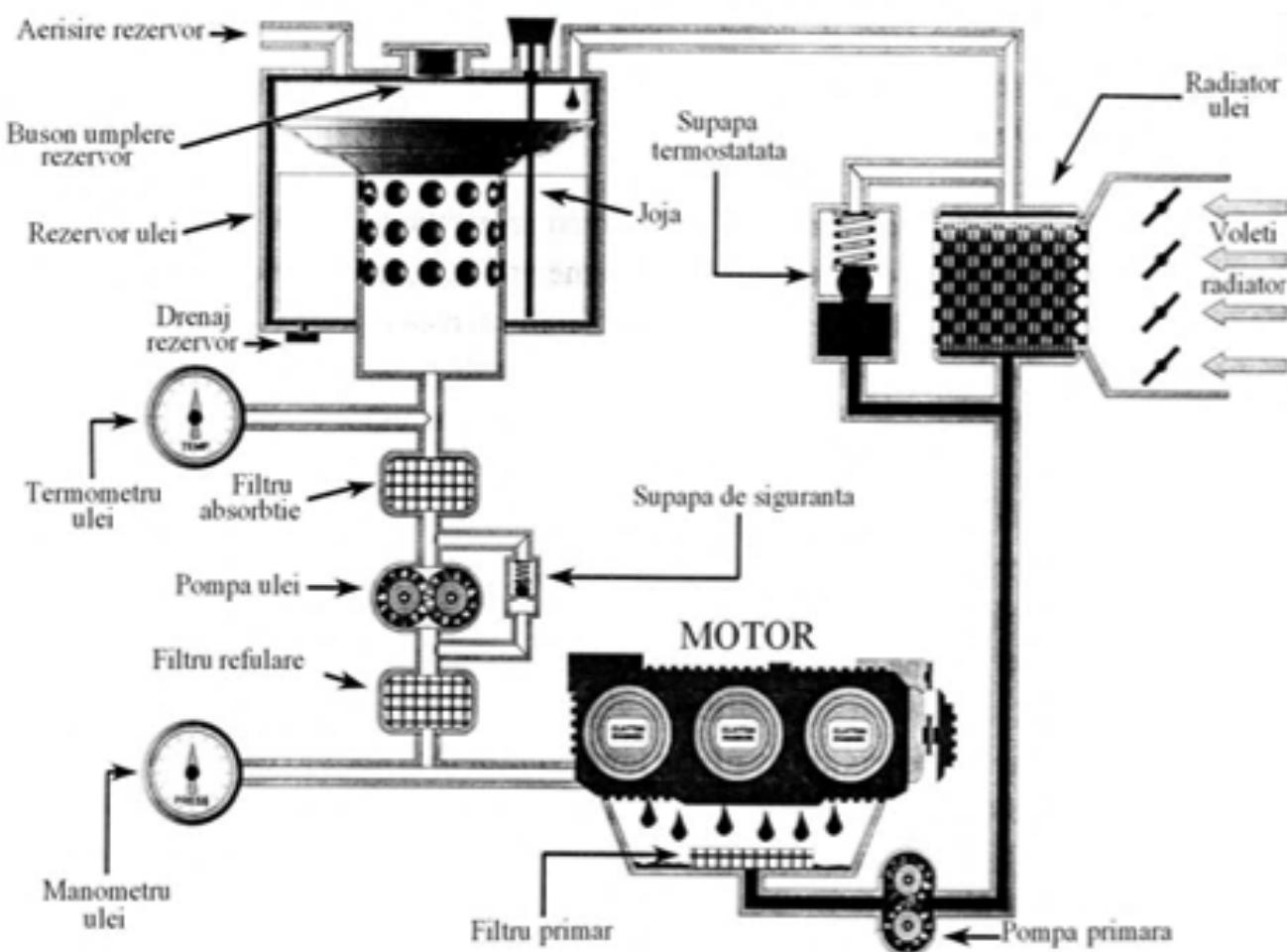


### UNGERE CU SISTEM CU CARTER USCAT



La motoarele cu carter umed, segmentii se ung cu ceară de ulei, rezultată din barbotarea de către arborele cotit a uleiului aflat în baia de ulei. La motoarele cu carter uscat, uleiul este pulverizat în spatele pistoanelor cu ajutorul unor pulverizatoare (conducțe cu diametrul mic).

### SCHEMA SISTEMULUI DE ALIMENTARE CU CARTER USCAT PENTRU AVIATIE



In componenta sistemului de ungere intra si pompele de ulei.

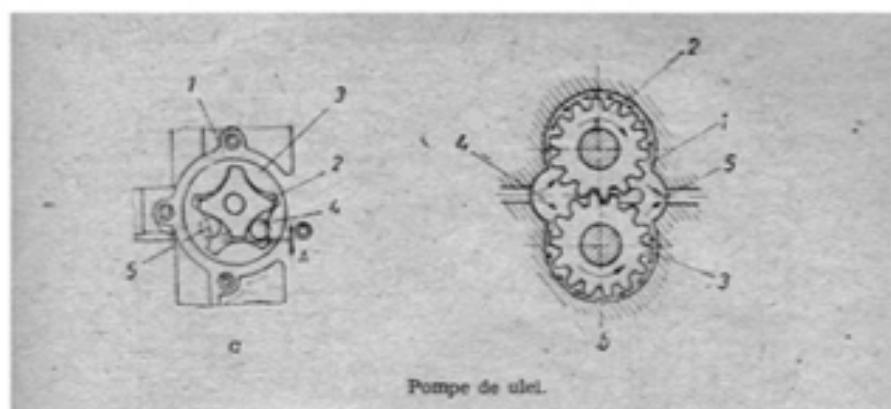
Acestea pot fi:

- cu angrenaj exterior;
- cu angrenaj interior;
- cu palete.

Pompele de ulei pot avea un etaj sau două etaje în serie (în cascadă).

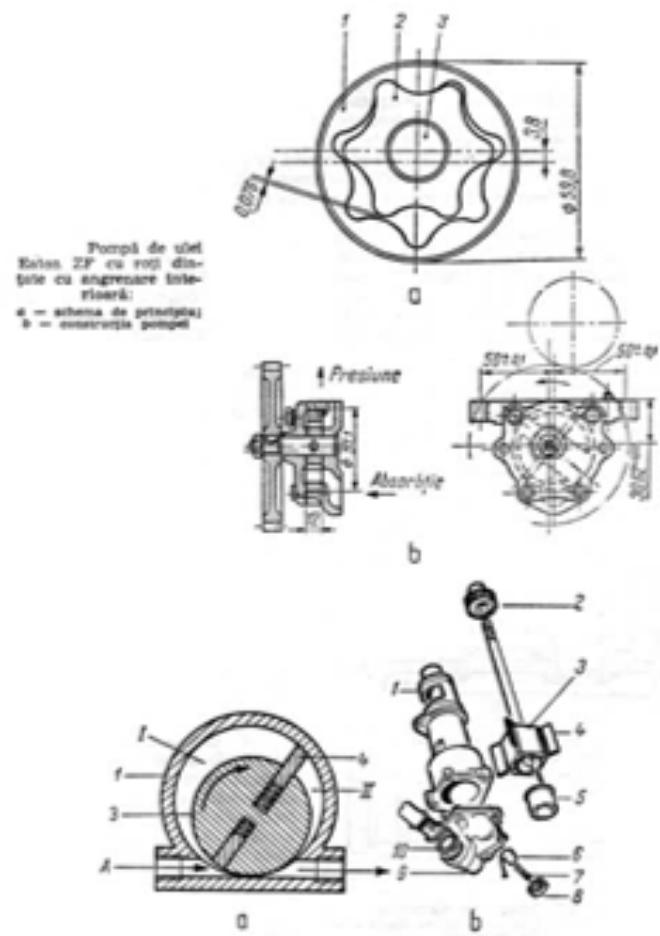


## SISTEME DE ANGRENAJE PENTRU POMPE DE ULEI

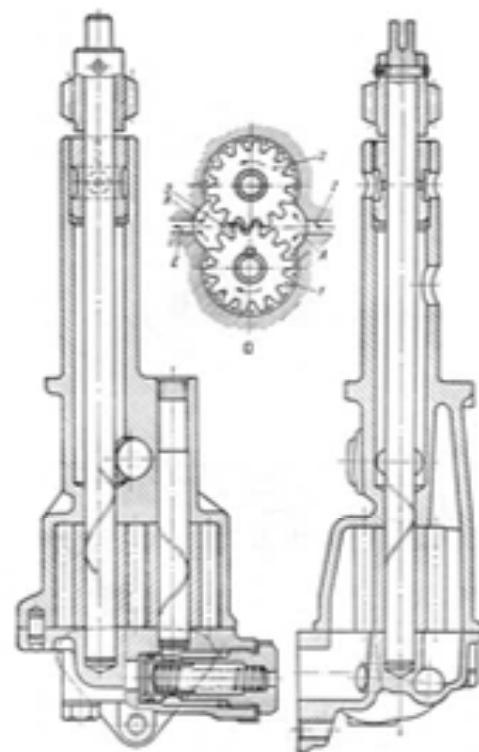


**TOLERANTE PENTRU ROTI CU ANGRENAJ INTERIOR  
POMPA DE ULEI CU PALETE**

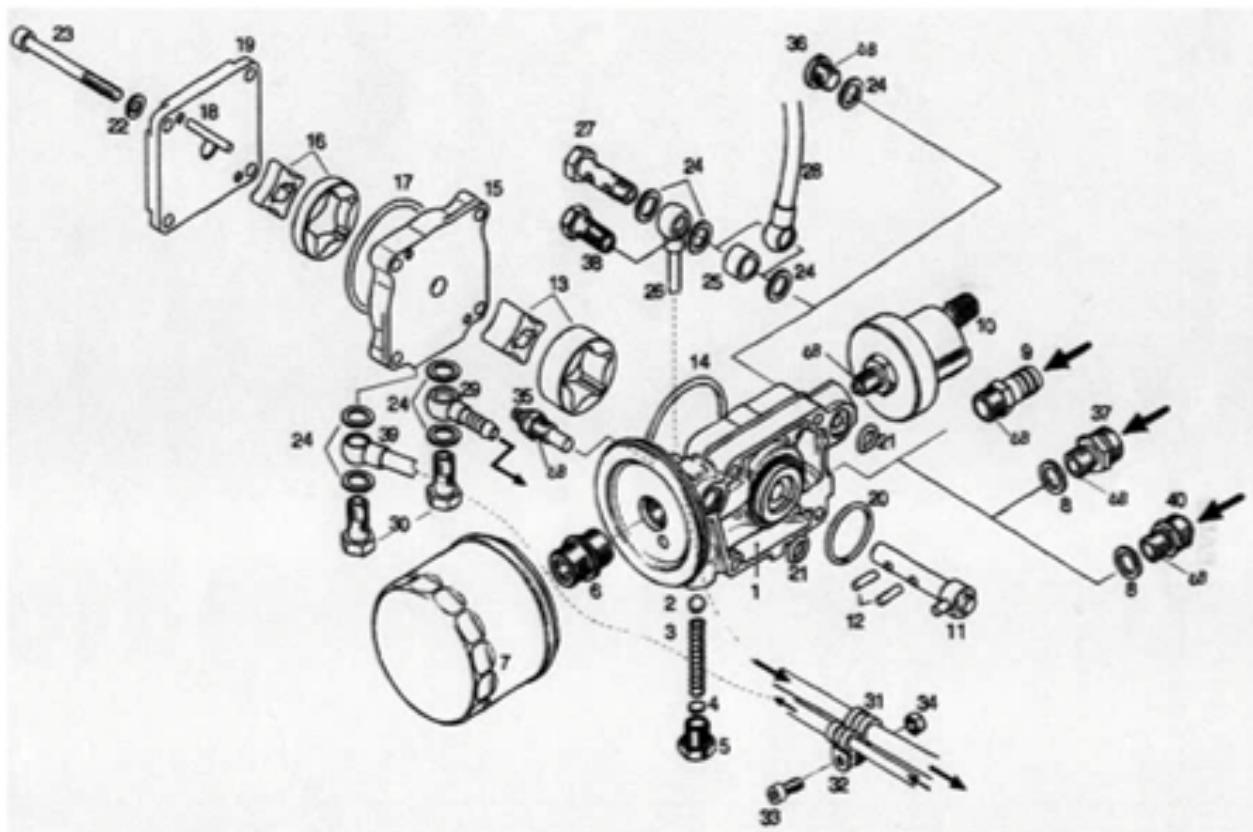
**ANSAMBLU POMPA DE ULEI  
CU ANGRENAJ EXTERIOR**



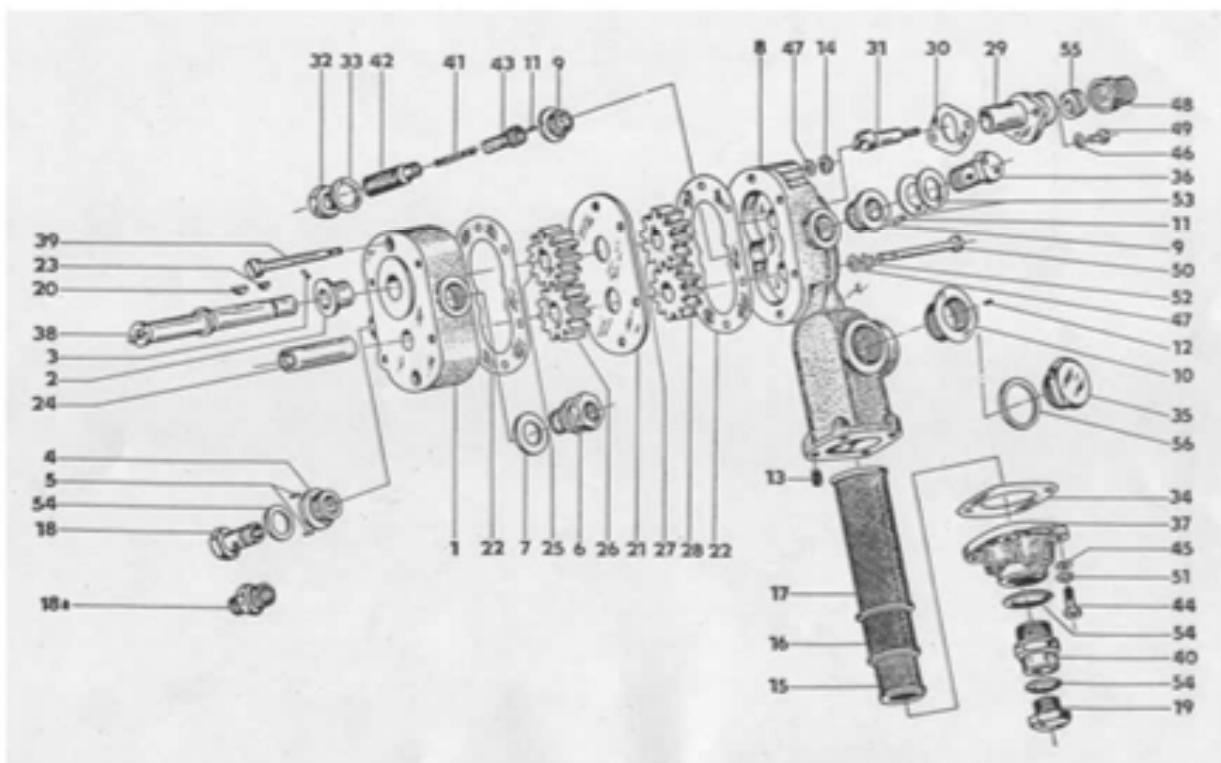
*Pompa de ulei cu palete:*  
a - schema de principiu; b - construcție pompei; 1 - corpul pompei;  
2 - piston de aspirare; 3 - ax cu rotație inversoare; 4 - palete;  
5 - brâul; 6 - suportul de aspirare; 7 - arcuri susținătoare; 8 - răpar;  
9 - capătul interior; 10 - garnitură



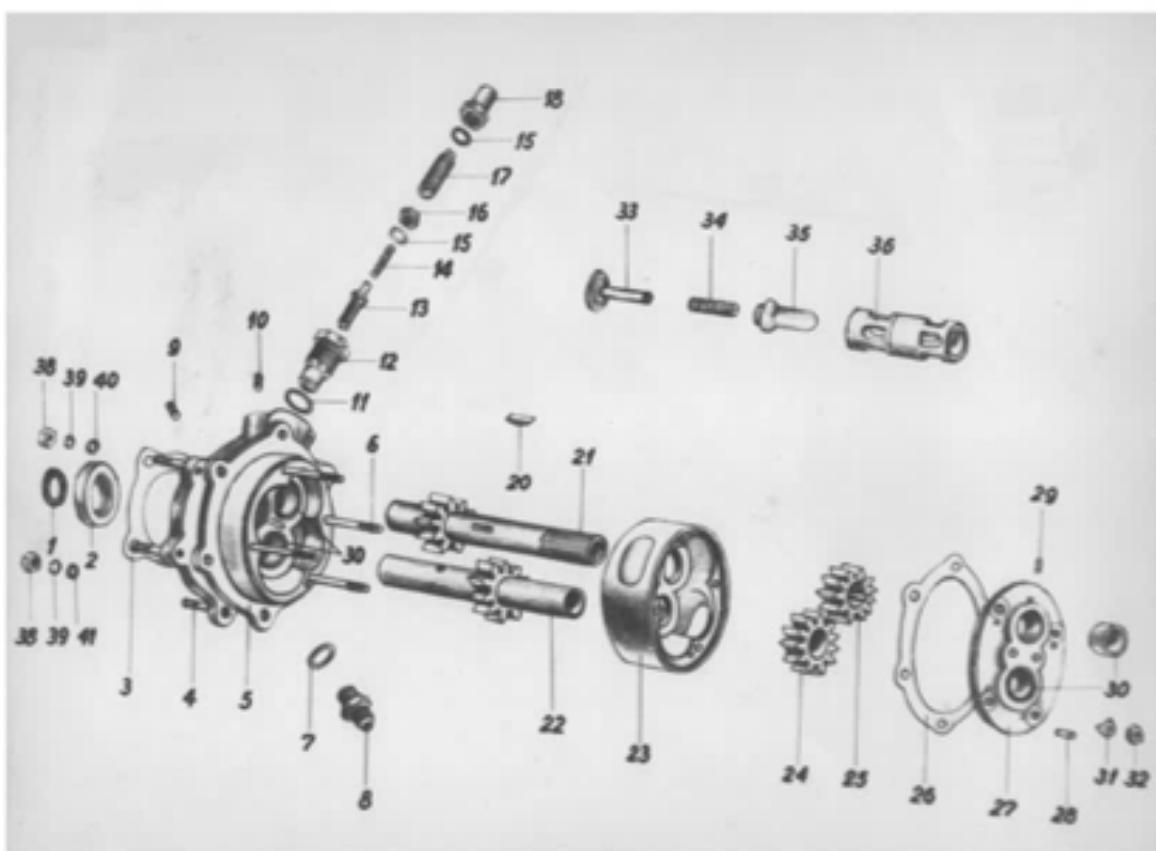
POMPA DE ULEI A MOTORULUI ROTAX 912 (AVION IAR46)



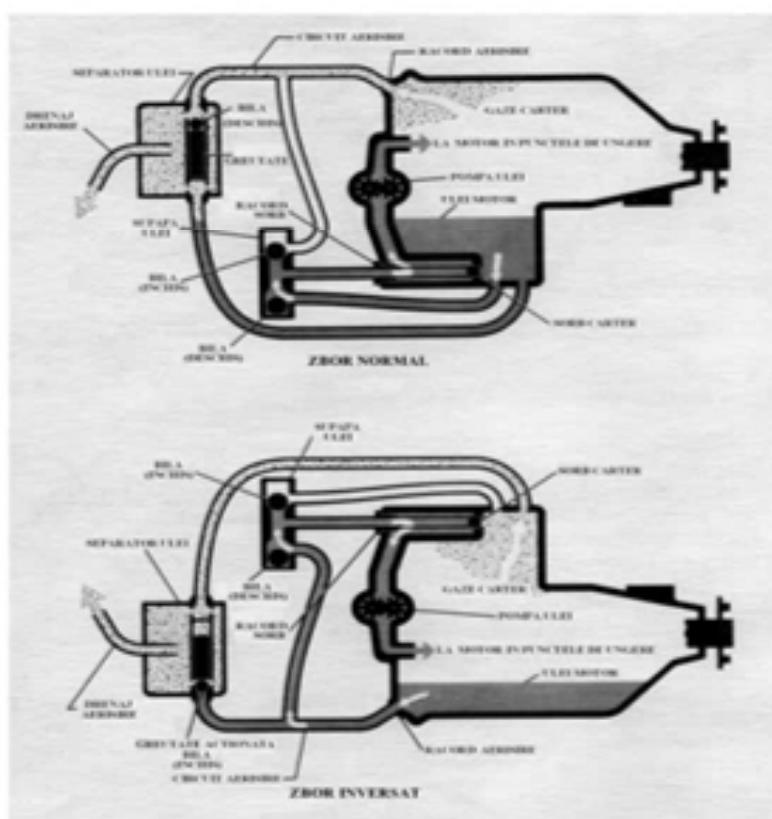
POMPA DE ULEI A MOTOARELOR M137/M337 (AVIOANE ZLIN 726/526/142)



POMPA DE ULEI A MOTORULUI AI14RA (AVION PZL104 WILGA)



SCHEMA SISTEMULUI DE UNGERE PENTRU AVIOANELE DE ACROBATIE



### 3.2. Sistemul de răcire.

Sistemul de răcire are rolul funcțional de a păstra temperatura motorului sub o limită maximă, la care lubrifiantul asigură ușoarea în parametri normali.

Odată cu creșterea temperaturii, vâscozitatea uleiului scade. Peste o anumită temperatură, uleiul nu mai poate asigura presiunea hidrodinamică pentru evitarea contactului dintre piese și motorul se grivează.

Sistemele de răcire sunt cu:

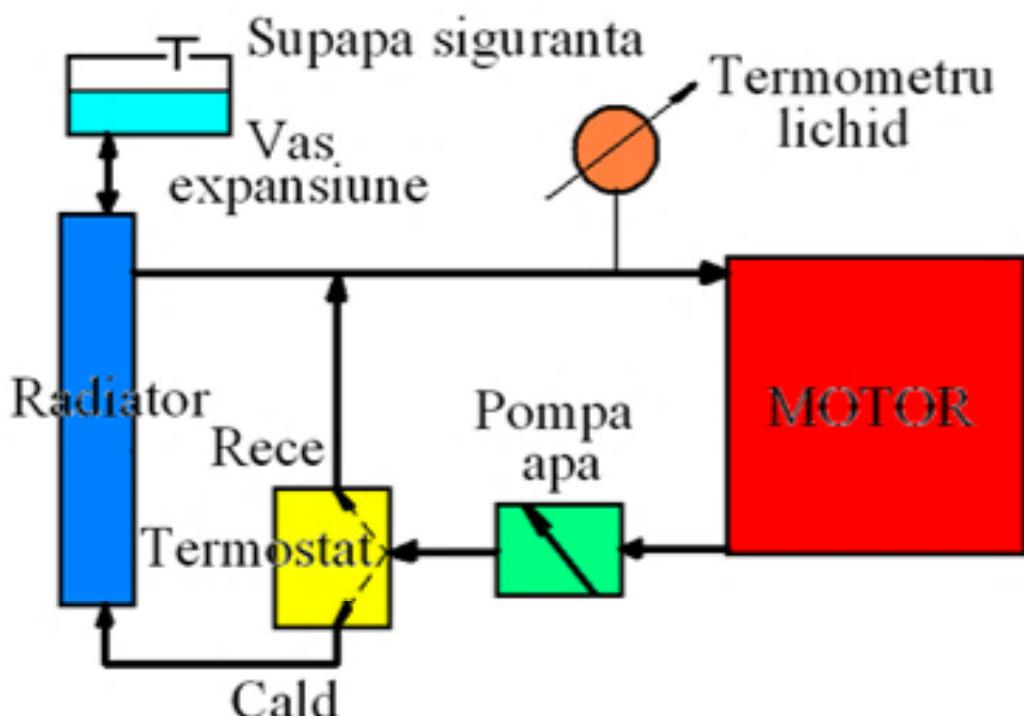
- lichid;
- aer;
- mixt (atât cu lichid cât și cu aer).

#### Racirea cu lichid

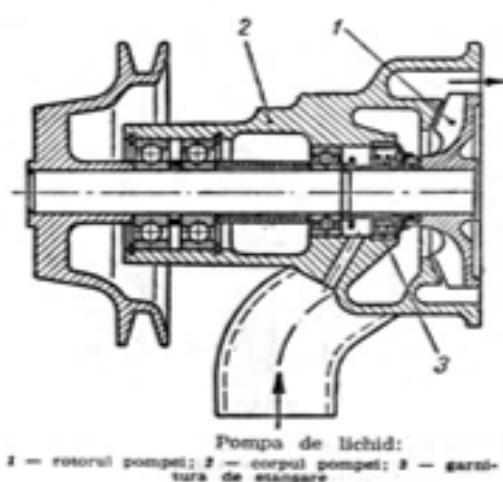
Circuitele de racire cu lichid pot fi:

- cu instalatie presurizată;
- cu instalatie la presiunea atmosferică.

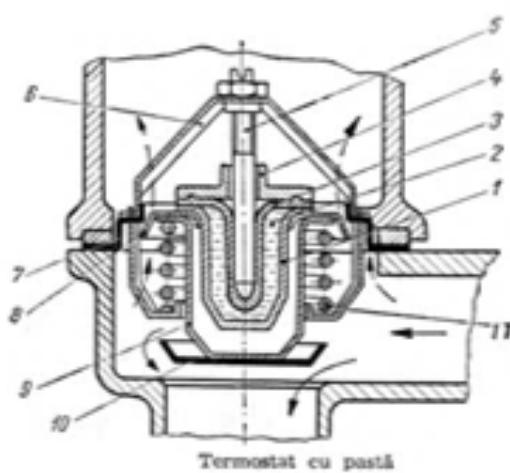
SCHEMA INSTALATIEI DE RACIRE CU LICHID, PRESURIZATA



### POMPA DE APA

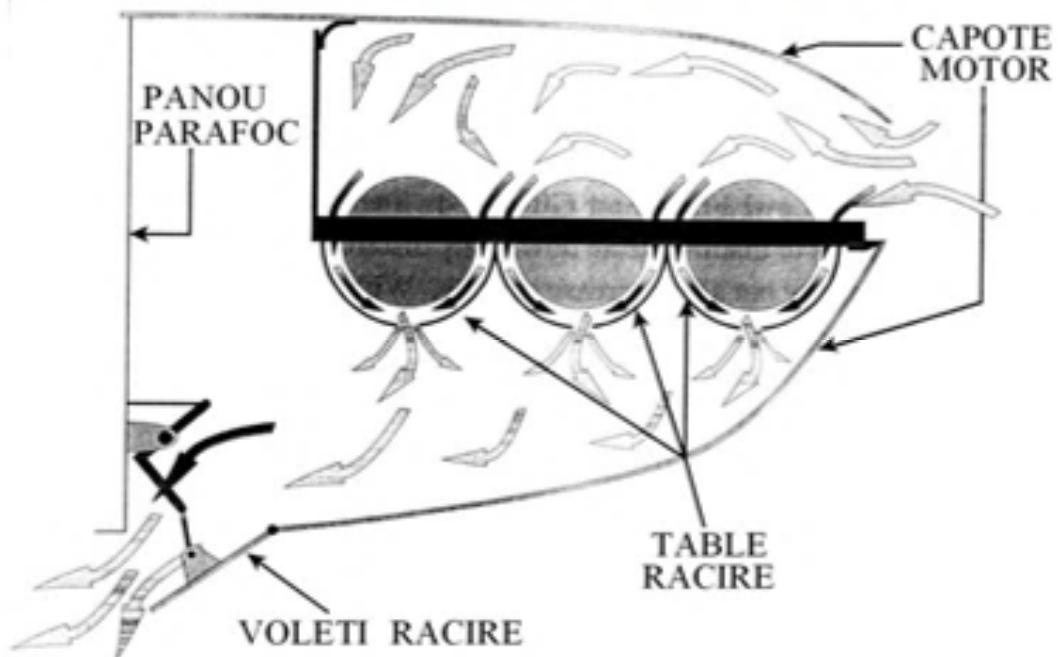


### TERMOSTAT



Răcirea cu aer se face cu ajutorul unui sistem de aripiere, plasate atât pe cilindru / cilindrii cât și pe chiulase / chiulase. Dimensiunea aripioarelor este în funcție de mărimea piesei și de temperatura piesei, deci de necesarul de disipare a căldurii din zona. Aerul este adus în zona aripioarelor de racire, prin capota motorului, printr-un sistem reglabil (manual sau automat) de voleți de capotă, unde este dirijat și dozat cu ajutorul unor table de dirijare.

### CIRCULATIA AERULUI LA SISTEMUL DE RACIRE CU AER



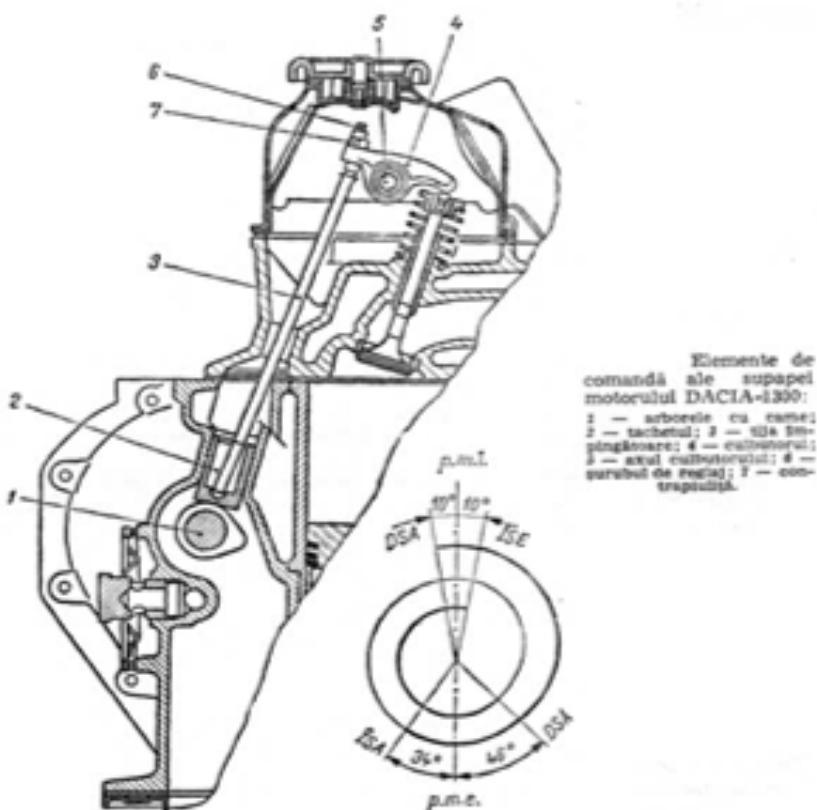
Controlul temperaturii motorului (chiulasei) se face cu un sistem de indicatoare de temperatură – termometre de chiulashă.

Funcționarea defectuoasă sau menținerea motorului la o temperatură scăzută, conduce la mărirea consumului de combustibil. Funcționarea la o temperatură mai mare (pană aproape de limita maximă normală) duce la o funcționare economică.

### 3.3. Sistemul de distribuție.

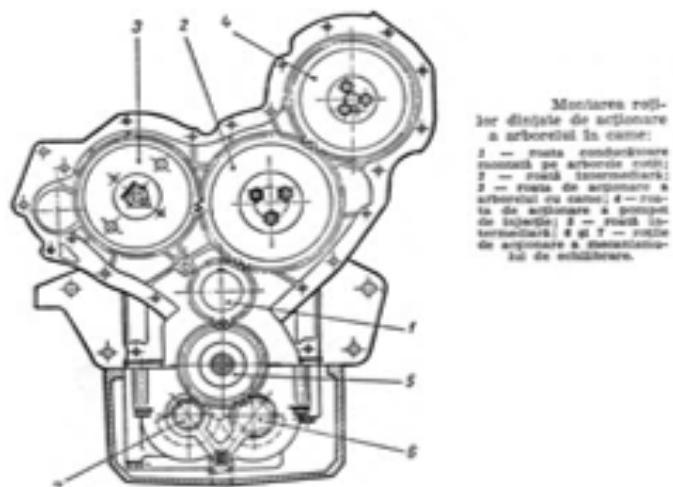
Sistemul de distribuție are rolul de a realiza timpuri MAS4t și de a realiza avansurile și întâzierile supapelelor, precum și inițierea la momentul potrivit a arderii prin generarea scânteii electrice.

#### SISTEMUL SI DIAGRAMA DE DISTRIBUTIE



La toate motoarele în 4 timpi, arborele ("axa") cu came are jumătate din turatia arborelui cotit, acestea fiind cuplate mecanic. Pentru cuplare se folosesc angrenaje cu roți dințate (folosite în aviație – cele mai fiabile), lanț cu roți de lanț sau curea dintată cu roți de curesă.

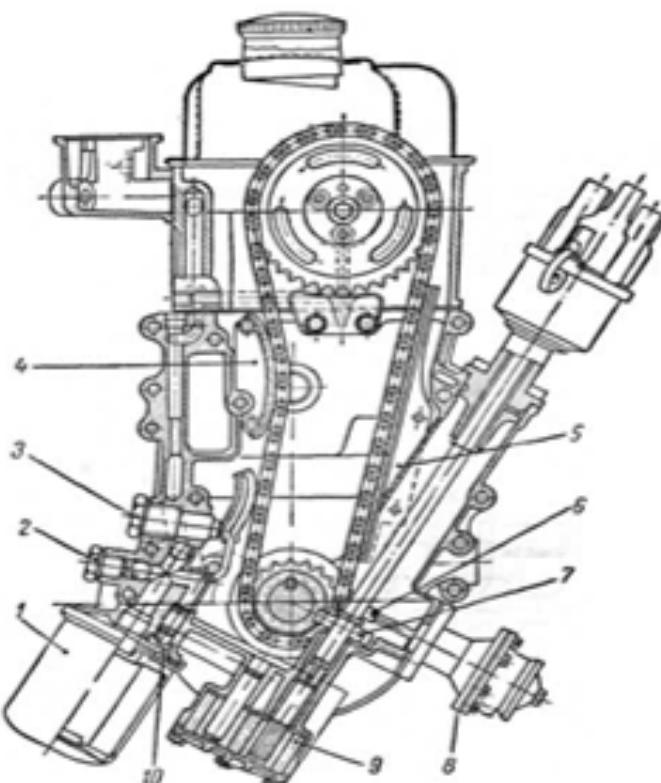
#### SISTEM DE DISTRIBUTIE CU ROTI DINTATE



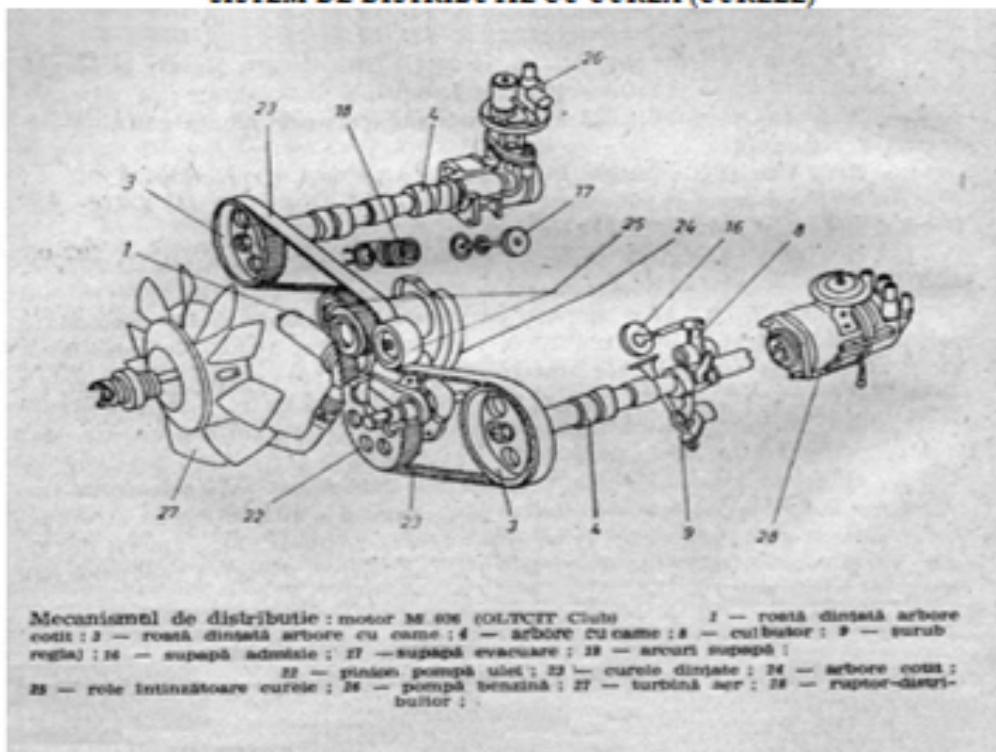
## SISTEM DE DISTRIBUȚIE CU LANT

**Antrenarea cu lanț a arborelui cu carne plasat pe chiulashi:**

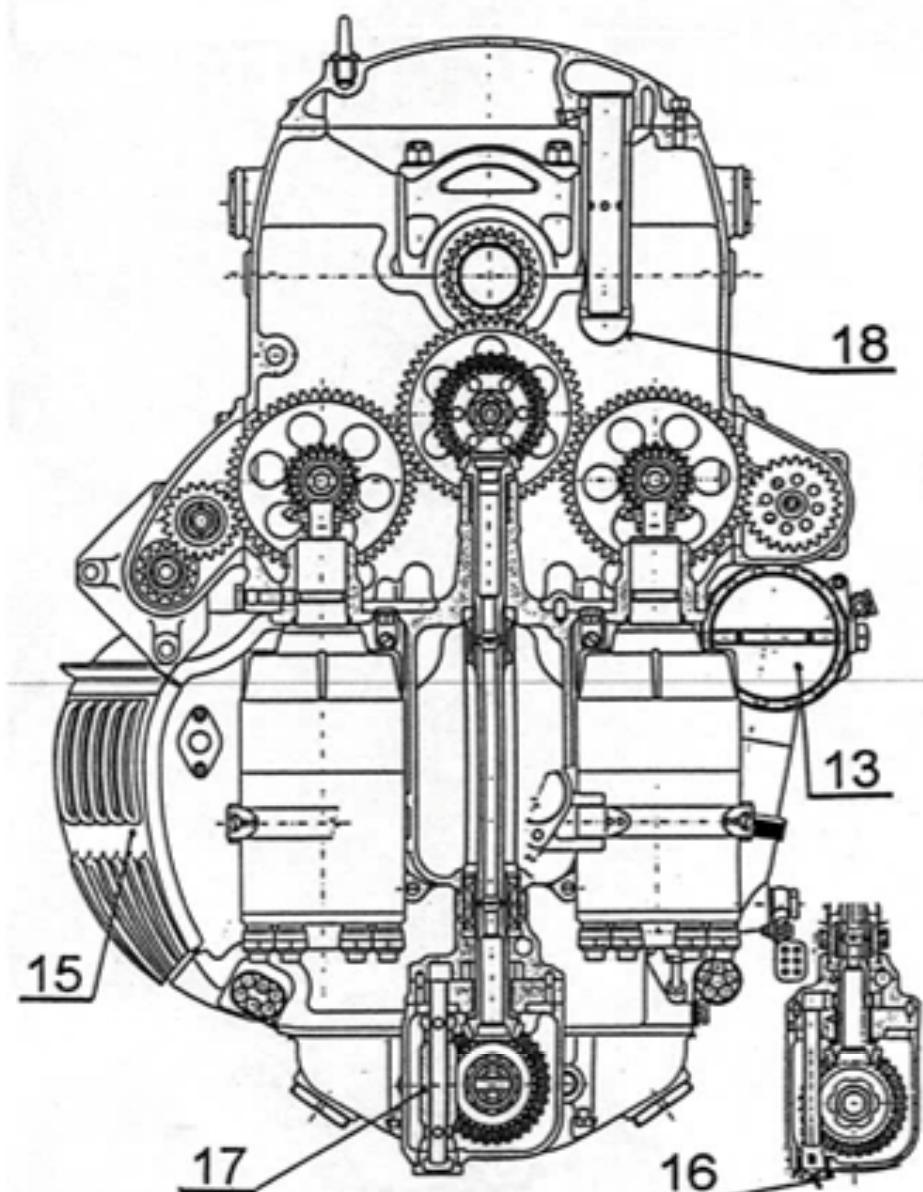
**I** — filtrul de ulei; **2** — buzon; **3** — dispozitivul de întindere a lanțului; **4** și **5** — sabotii de ghidare; **6** — excentricul pompei de benzina; **7** — pinionul distributiorului; **8** — pompa de benzina; **9** — pompa de ulei; **10** — supapă de suranță.



#### SISTEM DE DISTRIBUȚIE CU CUREA (CURELE)



DISTRIBUTIA CU ROTI DINTATE DREpte SI CONICE A MOTOARELOR M137/337 (AVIOANE ZLIN  
526/726/142)

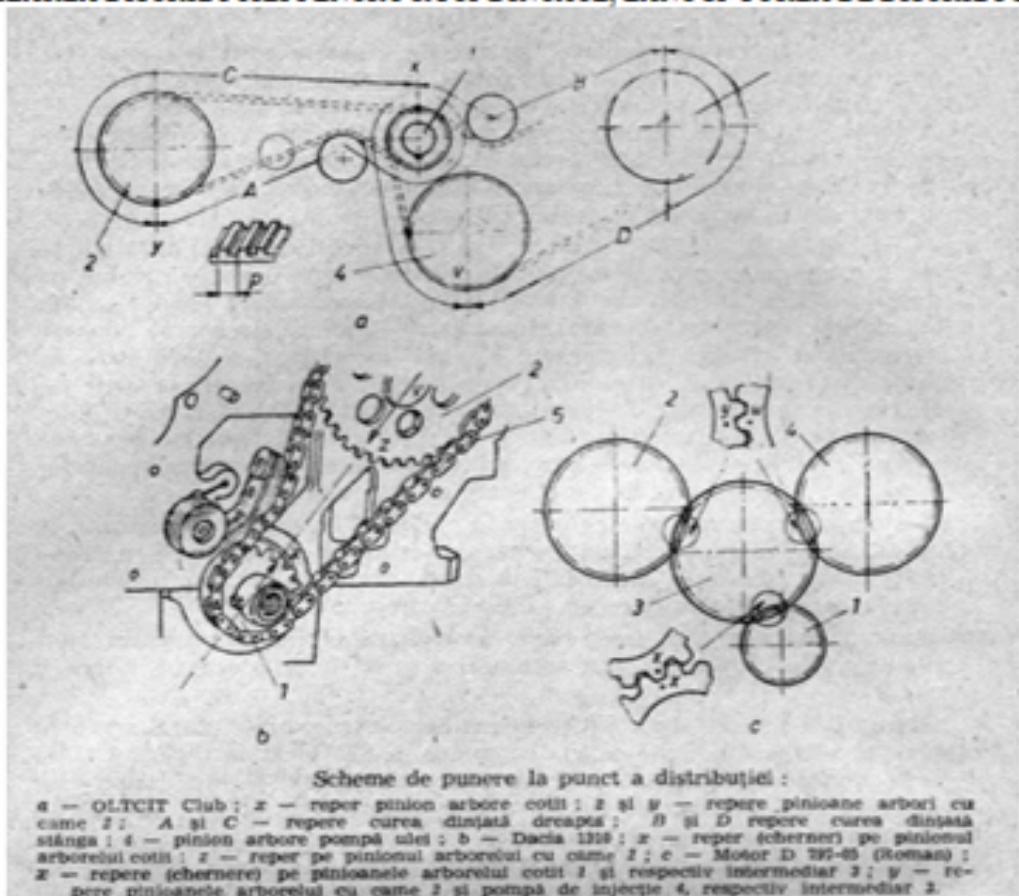


Motor M 337A/AK sectiune distributie



Elementele în mișcare ale sistemului de distribuție (rotile), trebuie aduse într-o poziție inițială, pentru a corela timpii și unghiurile motorului. Această operație de corelare se numește punerea la punct a distribuției ("calare" a distribuției).

#### CALAREA DISTRIBUTIEI PENTRU ROTI DINTATE, LANT SI CUREA DE DISTRIBUTIE



La motoarele multi-cilindru, principiul de bază în realizarea ciclului MAS-4t, este egalitatea intervalului de timp între scânteile successive. Intervalul de timp se poate afla cu formula:  $720^\circ : \text{nr. cilindri}$  (in grade de rotație arbore cotit sau RAC).

Având în vedere necesitatea construirii MAS-4t în varianta multi-cilindru, vor rezulta mai multe variante constructive, după cum urmează:

- motor cu cilindri în linie: - normal, inversat sau culcat;
- motor cu cilindri boxer;
- motor cu cilindri în stea: - simplă sau dublă decalată;
- motor cu cilindri în V sau W.

La stabilirea ordinii de aprindere a motorului multi-cilindru, principiul de bază este neaprinderea succesivă a 2 cilindri alăturați (dacă se poate), pentru o distribuție cat mai uniformă a încărcării termice a motorului.

Exemplu:

- 1-3-4-2-1 (4 cil. in linie);
- 1-3-5-2-4-1 (5 cil. in linie,  $144^\circ$  RAC intre scânteile succeseive);
- 1-5-3-4-2-6-1 (6 cil. in V,  $120^\circ$  intre sirurile de cate 3 cilindri).

Considerații funcționale relativ la varianta constructivă, din punct de vedere al:

- rezistenței la înaintare:*
  - avantajos
  - dezavantajos
- răcirii:*
  - avantajos
  - dezavantajos
- echilibrajului:*
  - motorul în linie;
  - motorul în stea;
  - motorul în linie;
  - motorul în stea;

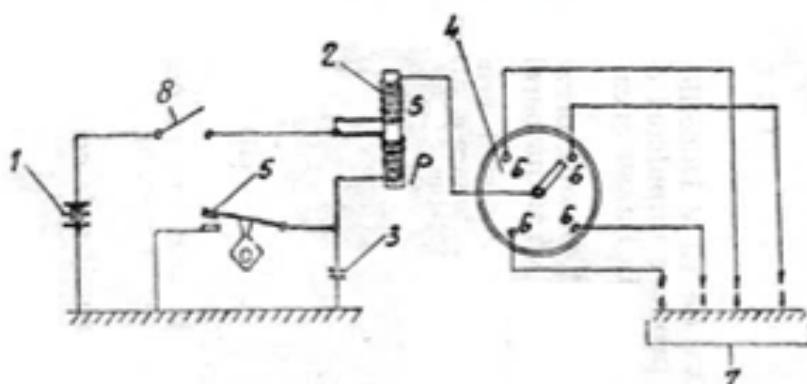
- avantajos
- dezavantajos
- motorul boxer;
- motorul in linie;



### 3.4. Sistemul de aprindere.

Sistemul de aprindere are rolul funcțional de a genera un curent electric de înaltă tensiune, necesar descărcării electrice ce aprinde amestecul carburant și de a-l furniza la momentul corespunzător avansului la aprindere optim.

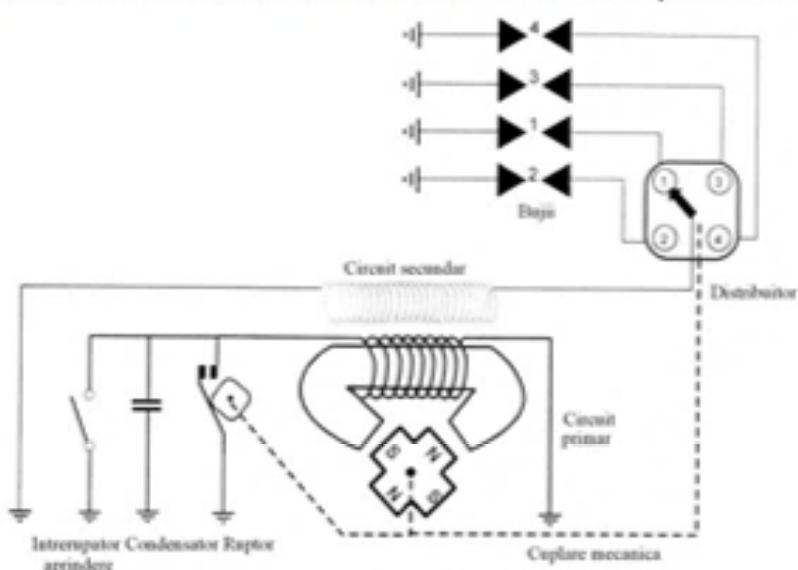
**SCHEMA UNEI INSTALATII DE APRINDERE CLASICE (CU ALTERNATOR SI BATERIE DE ACUMULATORI)**



Circuit de aprindere:

1 — acumulator; 2 — bobină de inducție; 3 — condensator; 4 — distribuitor; 5 — ruptor; 6 — plăturile distribuitorului; 7 — bujii; 8 — contacte pornire; s — înșurătură secundară; p — înșurătură primară.

**SCHEMA INSTALATIEI DE APRINDERE PENTRU AVIATIE (CU MAGNETOU - UN CIRCUIT)**

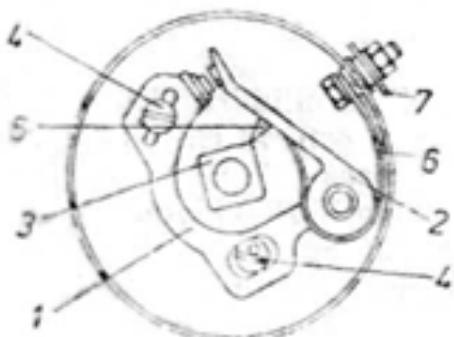


Principiul de funcționare a instalatiei clasice de aprindere, constă în ruperea unui contact electric la capetele unui condensator, la care tensiunea dintre armături tinde la  $\infty$  (are o valoare foarte mare).

Odată cu ruperea contactului (de către un intrerupător cu contactele platinat sau argintate pentru a evita scanteia la desfacerea sau refacerea contactului electric sau "perierea" contactului, numit și "platina"), la bornele condensatorului apare un impuls de tensiune, care este amplificat de un transformator ridicator – bobină de inducție – care generează în circuitul secundar o tensiune electrică de 6000–12000 V, tensiune ce produce o descărcare electrică în bujie.

Cama ruptorului este solitară sau sincronă cu arborele ("axa") cu came. Funcție de poziția camei, ruperea contactului, respectiv, descarcarea de înaltă tensiune din bujie, se produce la momentul corespunzător avansului la aprindere.

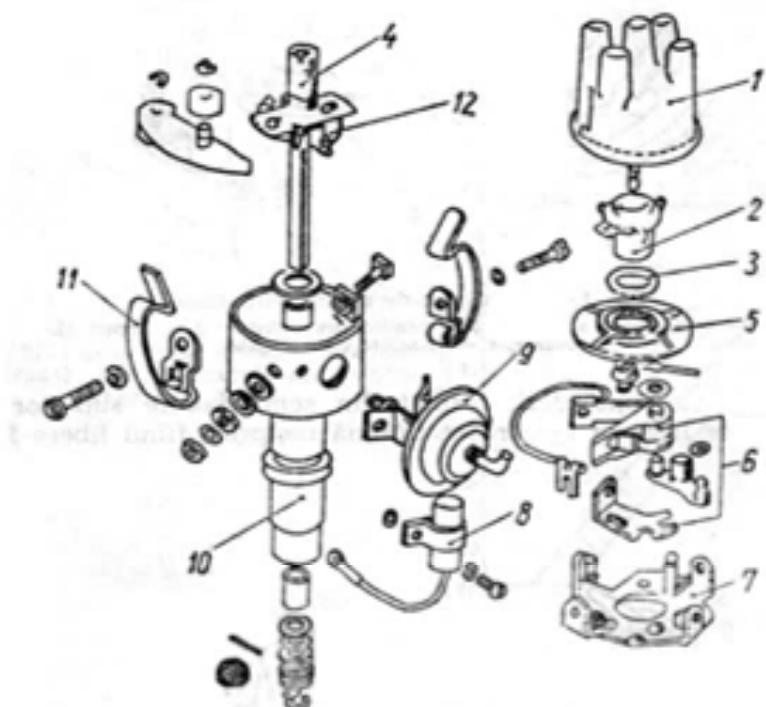
### ANSAMBLU RUPTOR ("PLATINA") CU CAMA



#### Ruptor:

1 — contact fix; 2 — contact mobil; 3 — cama ruptorului; 4 — găuri ovalizate pentru fixarea distanței dintre contacte; 5 — pinten; 6 — arcul lamei al contactului mobil; 7 — rondele izolante.

### ANSAMBLU RUPTOR-DISTRIBUITOR CU AVANSURI CENTRIFUGAL SI VACUUMATICE

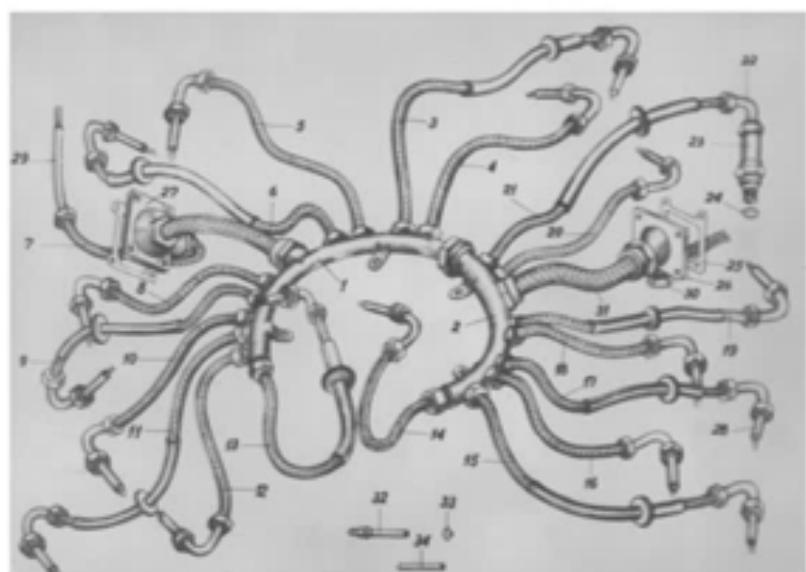


#### Ansamblurile și piesele ruptor-distribitorului:

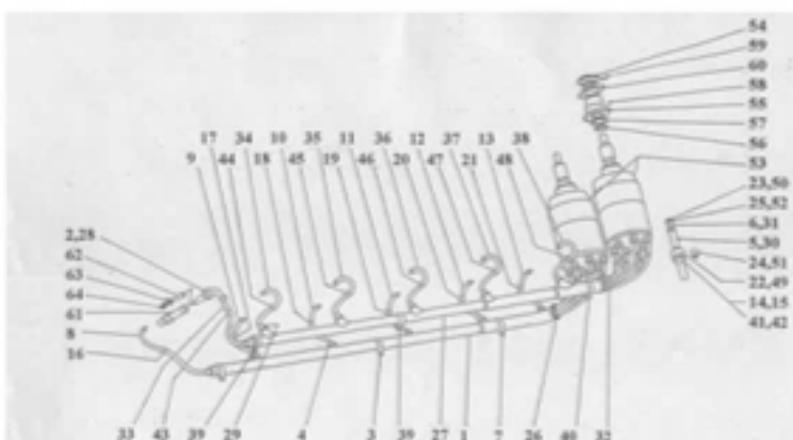
1 — capac; 2 — distributior; 3 — plăie; 4 — cama; 5 — rondeală;  
6 — ruptor cu contacte platinatate; 7 — piatou; 8 — condensator;  
9 — avans vacumatic; 10 — corp; 11, 12 — clemă.



### FISE DE BUJII SI BUJIE PENTRU MOTORUL AI14RA (AVION PZL104 WILGA)



### FISE DE BUJII, BUJIE SI MAGNETOURI PT. MOTOARELE M137/337 (AVIOANE ZLIN 726/526/142)



#### *Observație!*

- În aviație se folosește magnetoul, pentru că această mașină electrică generează tensiunea și curentul nominal de la primele trepte, fară să aibă nevoie de amorsare și de sursa exterioară de energie (alternatorul ajunge la tensiunea nominală după câteva secunde, respectiv după timpul de amorsare).
- La motoarele de aviație, circuitul electric de aprindere este complet separat de circuitul electric al aeronavei.
- Motorul de aviație are două sisteme de aprindere autonome.

Motorul de avion are două bujii pe cilindru (această masură este luată pentru că aprinderea este un sistem cu fiabilitate redusă), și pentru:

- a putea mări diametrul cilindrului;
- a mări siguranța în funcționare;
- evitarea detonației – prin formarea a două fronturi de flacără ce pleacă din direcții opuse și se sting în mijlocul camerei de ardere;
- creșterea acoperirii ciclice a motorului;
- posibilitate rapidă de verificare a funcționării aprinderii în ansamblu.

"Platina" + rotorul distribuitorului + capacul distribuitorului formează ansamblul ruptor-distribuitor.

În cadrul ruptorului, cama are atâtaea muchii căpă cilindri are motorul. În general, la motorul cu mai mult de 6 cilindri, se folosesc două lame suprapuse și decalate între ele, montate pe axul distribuitorului și două "platine".

Când cama sau pintenul ruptorului se uzează, se modifică atât distanța dintre "platine", cât și avansul la aprindere.



**Unghiul (raportul) Dwell** reprezintă unghiul cat contactul ruptorului este inchis sau raportul dintre unghiul cat contactul ruptorului este deschis și unghiul între două sprinderi succese. Acesta este determinat de distanța între contactele "platinei" deschise (care trebuie să fie între 0,4 și 0,8 mm, specifică fiecarui tip de motor).

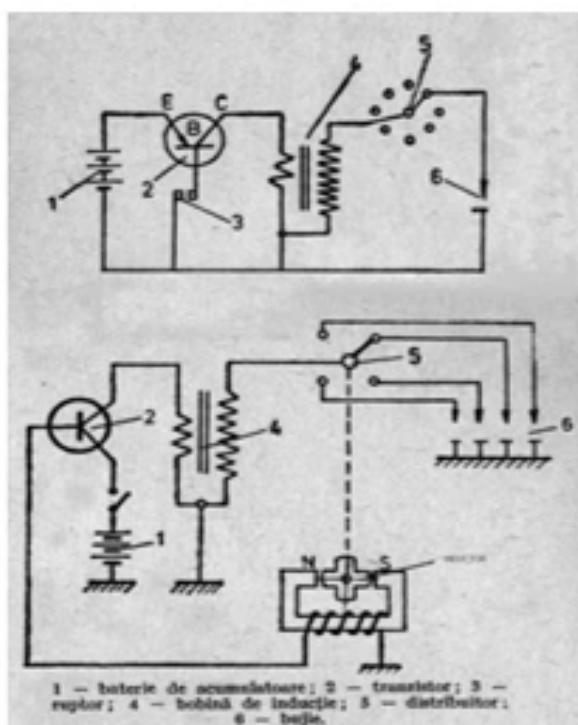
Pentru fiecare tip de motor există posibilitatea de a regla avansul initial sau static (cu motorul oprit). Din rațiuni funktionale, avansul la aprindere se modifică cu turatia motorului (avansul crește cu creșterea turatiei motorului) și cu sarcina (avansul scade la accelerarea motorului). Există dispozitive automate ce regleză avansul în funcție de turatie și de sarcina motorului (avansul centrifugal și avansul vacuumatic).

Distribuitorul creează cuplarea electrică între circuitul de înaltă tensiune din bobina de inductie la bujie prin intermediul unor conductoare de înaltă tensiune numite fise de bujie, totodată având și rolul de a distribui scânteia cilindrului care urmează să aprindă amestecul.

Bujia produce o descărcare electrică între un electrod central, conectat la plotul distribuitorului și masă. Distanța dintre electrozi este proprie fiecărui motor sau instalatie de aprindere (0,4 – 1,0 mm). O distanță prea mică produce o scântenie fără putere, ce nu aprinde amestecul carburant (scânteie "rece"), iar o distanță prea mare micsorează probabilitatea de producere a scânteii electrice, micsorând acoperirea ciclica.

Condițiile de descărcare electrică din interiorul cilindrului, în apropierea momentului inițierii arderii, sunt mai defavorabile decât în condițiile atmosferei normale.

La motoarele moderne cu aprindere prin scânteie, se urmărește eliminarea ruptorului ("platinei"), deoarece este piesa cu cea mai mică fiabilitate din sistem, prin micsorarea curentului prin "platina" sau prin înlocuirea sa cu alt dispozitiv (inductiv, capacativ sau optic).



#### Sisteme moderne de sprindere:

1. Aprindere cu inducție;
2. Aprindere cu calculator de scânteie – la acest sistem există un cititor de poziție "0" al arborelui cotit al motorului, scânteia fiind generată de un circuit electronic ce divizează cu jumătate din numărul de cilindri, timpul între 2 ture succese (care este jumătate din timpul unui ciclu motor);
3. Aprindere integrată – se citește doar poziția "0" a arborelui cotit al motorului, nu mai există bobină, ruptor-distribuitor, fise electrice sau alte piese (eventual în mișcare), scânteia fiind produsă de un semnal electric amplificat la înaltă tensiune de un circuit electronic, marind, astfel, fiabilitatea sistemului.

În aviație, fără de auto, tot sistemul de înaltă tensiune este deparazitat pentru a nu bruia instalațiile speciale ale avionului, cum ar fi instalațiile de radio, radiolocare, radionavigație etc.

### 3.5. Sistemul de carburație.

Sistemul de carburație are rolul funcțional de a vaporiza benzina în aer, de a doza amestecul (raportul) benzina/aer și de a regla cantitatea de amestec aer-benzina ce intră în motor.

Prințipal, sistemele de carburație sunt de două feluri:

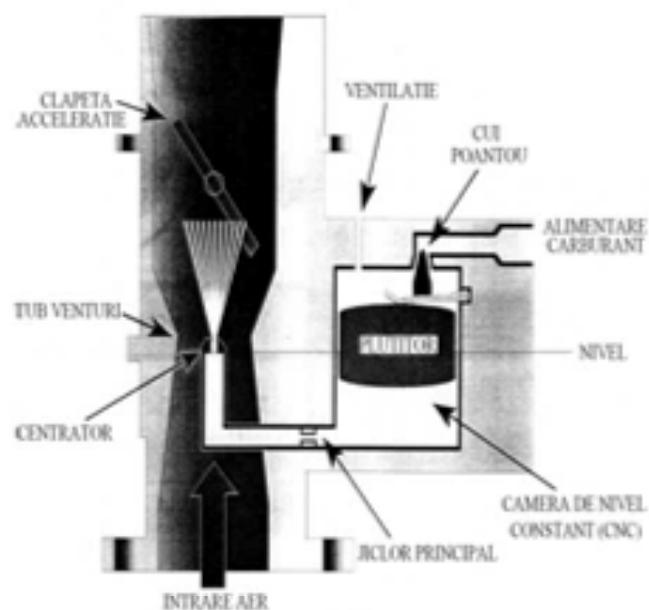
1. Sistem de carburație cu carburator;
2. Sistem de carburație cu injecție.

#### 3.5.1 Sistemul de carburație cu carburator.

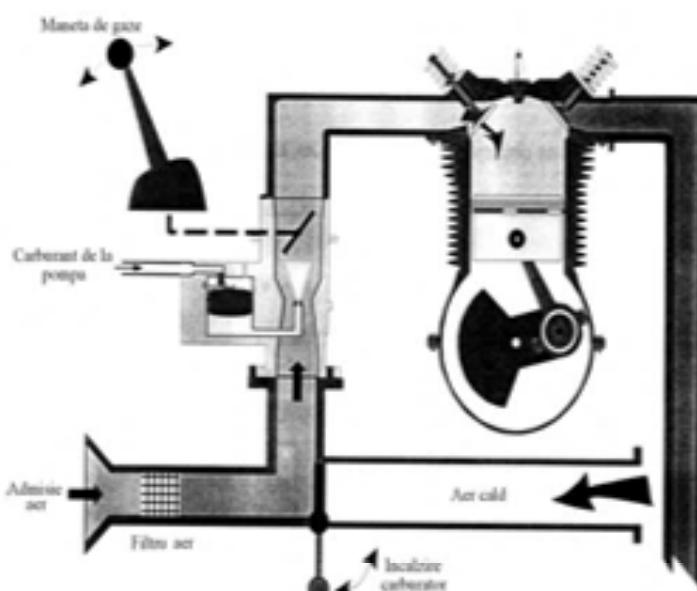
Carburatorul este un dispozitiv al motorului care realizează dozarea și vaporizarea benzinei în aer, prin aspirarea vacumatică a acesteia, precum și reglarea cantitatii de amestec ce intră în motor, cu ajutorul unei clapete de acceleratie.

Cantitatea de benzină vaporizată în aer se numește **dozaj** și este funcție de nivelul din camera de nivel constant. Dozajul se poate exprima și ca coeficient de exces de aer  $\lambda$  (dozajul este  $1/(0 \cdot \text{min}L)$  în kg benzina / kg aer). Pentru a funcționa, MAS4t trebuie să aibă  $\lambda$  în anumite limite (între 0,7 și 1,3). Pentru siguranță în funcționare, respectiv pentru evitarea detonării, în aviație  $\lambda=0,85$ .

CARBURATOR ELEMENTAR



INSTALATIE DE ALIMENTARE CU CARBURATOR



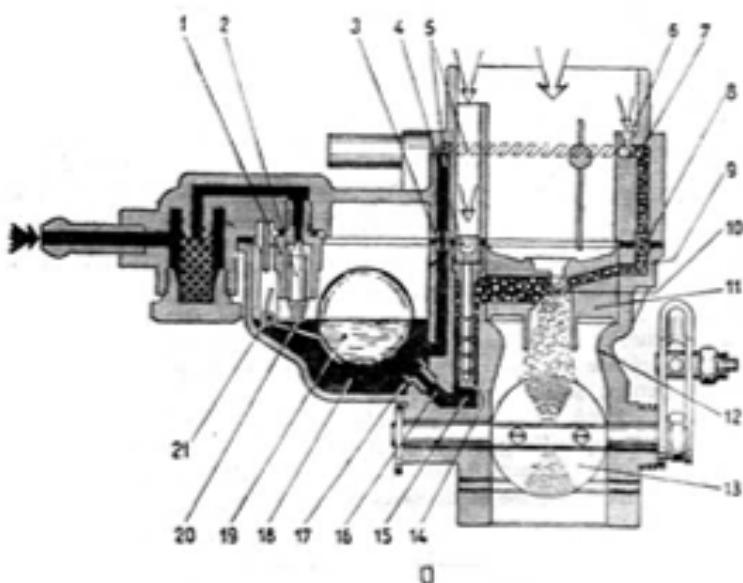
Datorita existentei unui ajutaj convergent-divergent (tub Venturi) în zona în care se absoarbe benzina în galeria de evacuare și, în plus, din cauza vaporizării benzinei, care este un proces ce absoarbe căldura, în această zonă, temperatura este mai mică cu 5°-7°, ceea ce poate duce la depunerea ghetii, respectiv la fenomenul de givraj în carburator. Acest fenomen are ca prim efect imbogătirea amestecului.

Fenomenul este periculos, deoarece poate duce la oprirea motorului prin încercare și, de aceea, în această zonă carburatorul este incalzit.

Jiclorul este un orificiu de dimensiuni mici (sub 1mm), prin care viteza, respectiv debitul de fluid (benzina + aer, benzina sau aer) este funcție de diferența de presiune de la cele două capete ale sale, de lungimea orificiului și de calitatea prelucrării acestuia (rugozitate, sanfrenari).

Benzina este aspirată prin puțul de benzină, datorită depresiunii create și debitul este reglat prin jiclorul principal de benzina.

În general, carburatorul se adaptează mai puțin bine la regimuri intermediare, dozajul fiind funcție de turăția motorului. Pentru a ține constant dozajul la diverse turății, se echipăză carburatorul cu sisteme suplimentare.



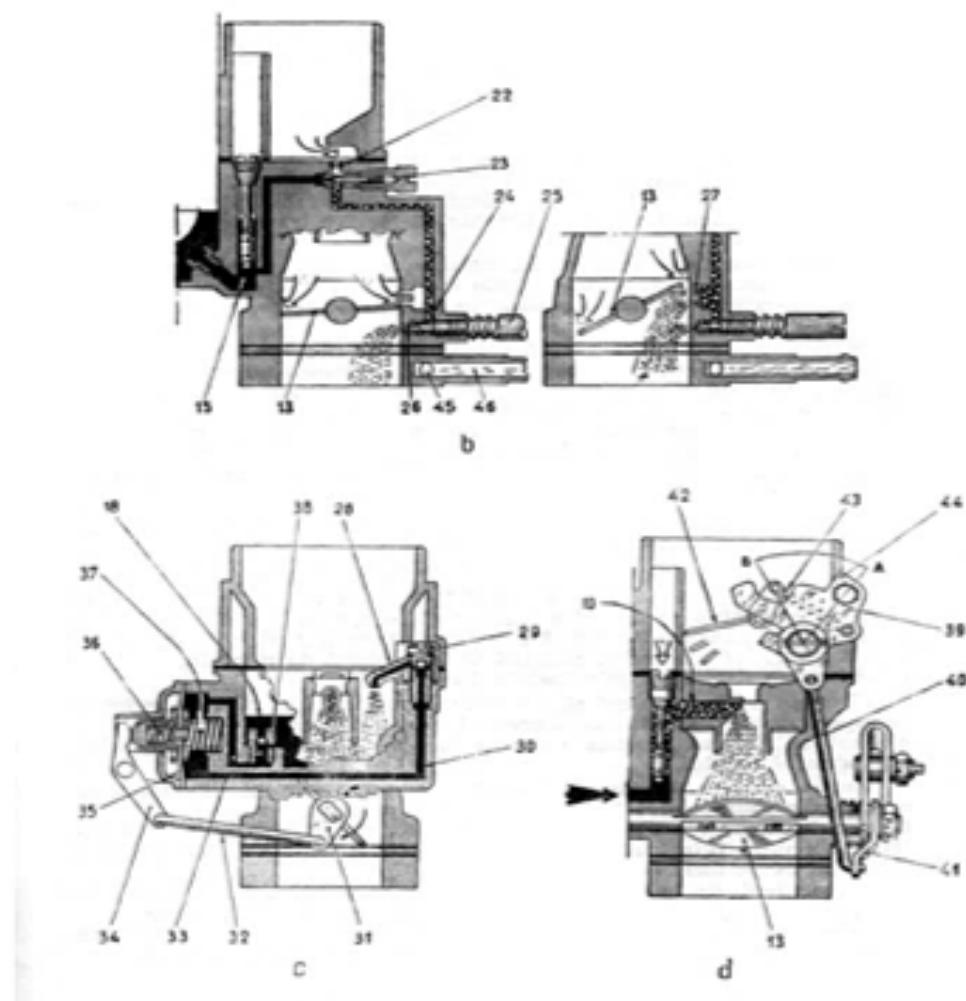
Carburatorul 32 IRM:

a — funcționarea sistemului principal de dozare și a sistemului de îmbogățire; b — funcționarea sistemului de mers în gol și de progresivă; c — funcționarea pompelor de accelerare;  
d — funcționarea dispozitivului de pornire.

#### Sistemele suplimentare de bază ale carburatorului:

1. Sistemul de pornire;
2. Sistemul de ralanti;
3. Sistemul de repriză;
4. Sistemul economizor;
5. Sistemul de regim maximal;
6. Sistemul de corecție a dozajului – corector comandat / altimetric, în aviație.

Intrucat, la carburatoare, dozajul depinde de regimul motor (turata motorului, sarcina motorului), pentru a păstra dozajul în valori normale, se folosește un dispozitiv emulsor (tub emulsor), care, pe lângă modularea debitului de benzina prin franare, face și o barbotare a benzinei, deci o diluare a aerului în benzina, care usurează vaporizarea acesteia.



#### *Sistemul de pornire.*

La pornire, deoarece nu există flux de aer pe galeria de admisie, carburatorul trebuie să furnizeze initial un amestec carburant cu un dozaj foarte bogat, cu  $\lambda \approx 0,3 - 0,5$  (sub limita de funcționare normală a motorului). Îmbogătirea se face cu o clapetă ce micsorează debitul de aer ce intra în motor (clapeta de soc), rezultând un amestec foarte bogat. Clapeta de soc poate fi comandată manual sau automat, în funcție de temperatură motorului. După pornire, clapeta de soc trebuie deschisă imediat.

#### *Sistemul de ralanti.*

Acest sistem asigură turatarea de repaos a motorului sau de ralanti. Pentru aceasta, există un circuit de aer ce ocolește clapeta obturătorului, iar debitul de aer se reglează cu un jiclor reglabil sau cu un dispozitiv automat care reglează debitul de aer corespunzător unei anumite turatii a motorului (turatarea de ralanti), atunci când clapeta obturătorului este complet închisă. La motorul de avion, avem un ralanti la sol și un ralanti în zbor.

#### *Observatie!*

Regimul de ralanti este un regim de funcționare anormală a motorului. Dozajul fiind foarte bogat, motorul se poate calamina. Benzina care pătrunde în motor, neînțând din lipsă de aer, se depune sub forma de carbon neredus (calamina) pe piesele interioare ale camerei de ardere a motorului (supape, chiulasă, bujii). Depunerea de calamina pe bujie duce la închiderea circuitului electric și dispariția scânteii electrice.

În cazul calaminării motorului, carburile dispuse pe piesele interioare, la un anumit regim termic, se aprind și generează fronturi de flacără secundare sau aprinderea înaintea generării scânteii electrice, fenomen numit autoaprindere.

Calamina se autocurăță la regim motor mare și temperatură constantă (regim constant) sau prin frână de motor (auto) sau funcționare în autorotatie (avion).

### *Sistemul de rezerva.*

În cazul în care motorul trece de la o turăție mai mică la o turăție mai mare, din cauza inertiei mai mici, debitul de aer crește mai repede decât debitul de benzina, iar amestecul tinde să se raraceasca (mai puțină benzina în aer). Din acest motiv se imbogățește amestecul la accelerarea motorului, pulverizând în apropierea centratorului carburatorului o cantitate suplimentară de benzina, care se realizează cu o pompă suplimentară sau "de sprijin".

Pompele "de sprijin" se montează pe levierul accelerării și acționează doar la accelerare.

### **3.5.2. Sistemul de carburare cu injectie de benzina.**

La sistemele de carburare cu injectie de benzina, amestecul carburant se face prin pulverizarea forțată a benzinei în camera de ardere (injectie de benzina în camera de ardere, care se face prin pulverizarea benzinei la presiuni mari de 50 – 200 bar, direct în interiorul motorului), sau injectia în galeria de admisie (într-un singur punct cu un injector principal – injectie monopunct; sau cu cate un injector pentru fiecare cilindru, în galeria de admisie, în apropierea sau în poarta supapei de admisie – injectie multipunct; în ambele variante, presiunea de injectie este mică, și anume de 2 – 8 bar).

Cantitatea de benzina injectata este functie de debitul de aer aspirat de motor și putem avea două scheme, și anume:

- schema "în buclă deschisă", în care poziția obturatorului comandă cantitatea de benzina injectată;
- schema cu "feed-back", în care se masoară cu ajutorul unui debitmetru aerul ce intră în motor.

Injectoarele de benzina pot fi necomandate sau comandate electric.

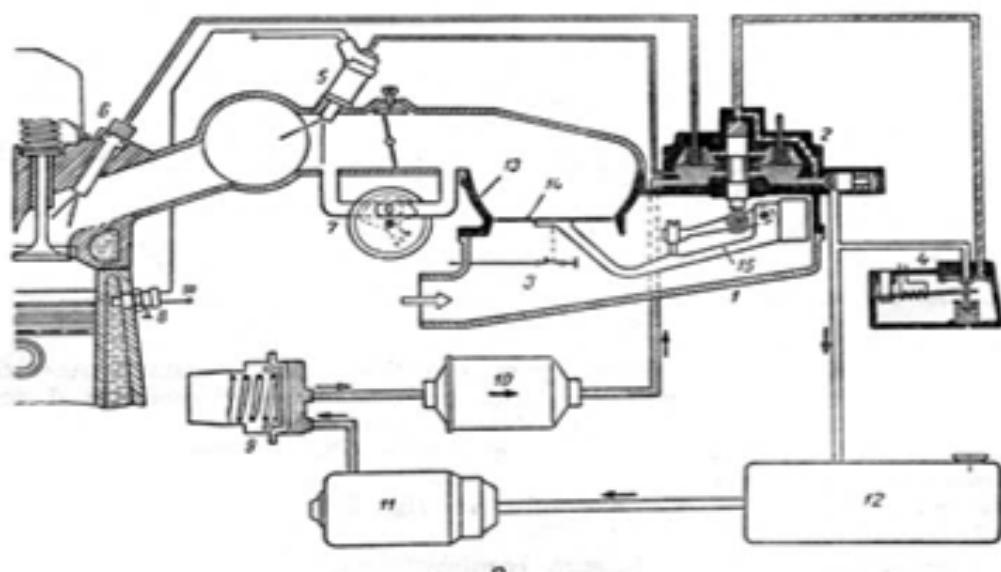
Injectoarele necomandate injectează continuu benzina, debitul de benzina fiind în funcție de presiunea de injectie care este reglată de un regulator de debit de benzina. Injectoarele trebuie să deschidă peste o anumită valoare a presiunii de injectie (2-3 bar), și trebuie să pulverizeze benzina în picaturi cat mai fine.

Injectoarele comandate electromagnetic, au aceeași presiune de injectie, dar injectia nu se face continuu, ci acestea injectează doar un interval de timp (la sistemele mai noi doar în perioada deschiderii supapei de admisie în dreptul careia sunt montate), debitul de benzina fiind în funcție de durata intervalului de timp cat injectorul este deschis, interval comandat și stabilit de un calculator de injectie.

Schema de injectie "în buclă deschisă" este mai puțin adaptabilă la perturbările, la regimuri tranzitorii și la variația sarcinii furnizate de motor fata de schema cu "feed-back", care masoară debitul efectiv de aer ce intră în motor, precum și variațiile în timp ale acestuia, determinând, astfel, debitul de benzina necesar mult mai precis pentru fiecare regim în parte.

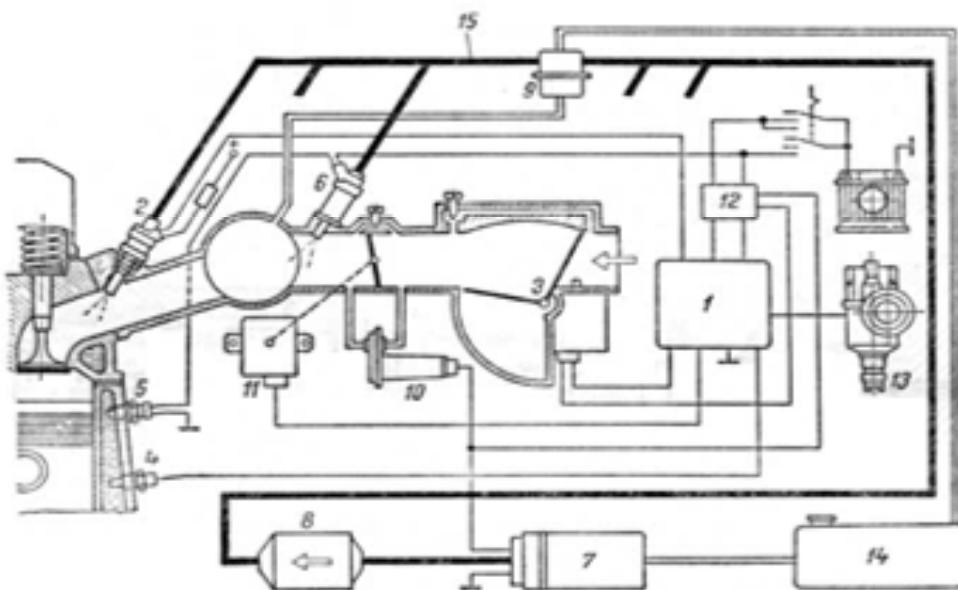
Sistemele de injectie de benzina se adaptează mai bine la funcționarea motorului la diverse regimuri, au o siguranță mai mare relativ la detonare și nu produc fenomenul de givraj.

SCHEME DE PRINCIPIU PENTRU SISTEME DE INJECTIE DE BENZINA



Construcția principială a sistemului de injectie de benzina K-Jetronic

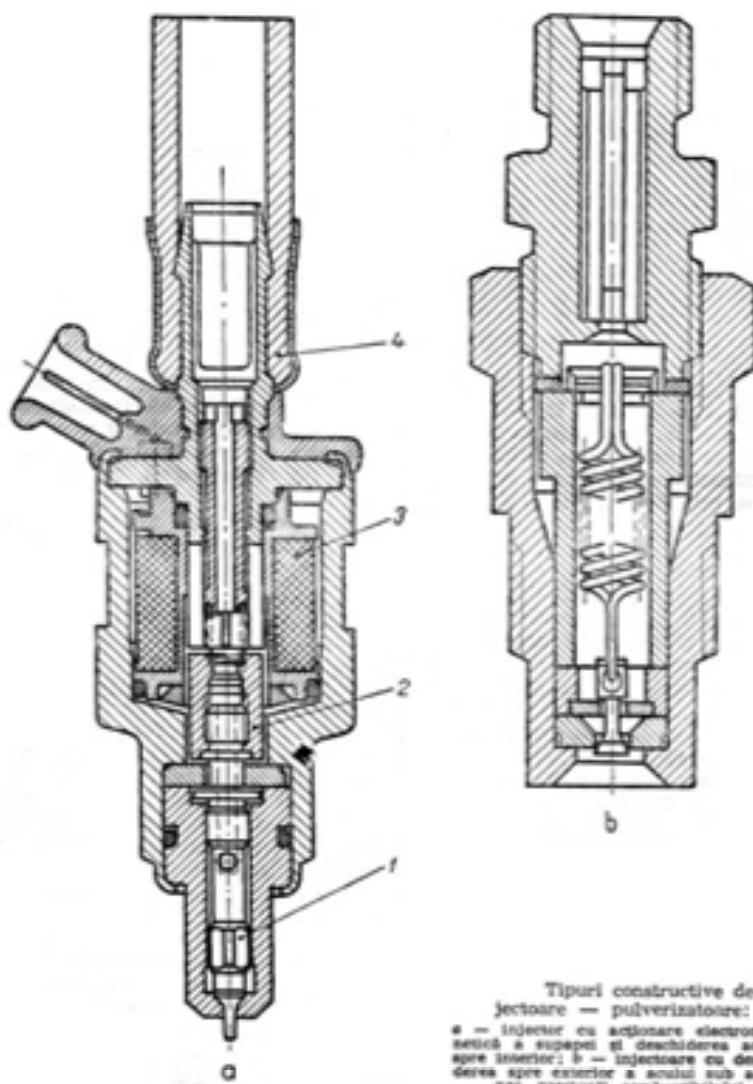
1-Corp debitmetru aer; 2-Regulator debit benzina; 3-Cititor pozitie clapeta aer; 4-Supapa electrica de imbogatire pt. pomire la rece; 5-Injector de pomire; 6-Injector necomandan; 7-Regulator de aer ralanti; 8-Senzor temperatura; 9-Acumulator presiune; 10-Filtru benzina; 11-Pompa benzina; 12-Rezervor benzina; 13-Ajutaj debitmetru aer; 14-Clapeta debitmetru; 15-Tija reglaj



Construcția principială a sistemului de injectie de benzina L-Jetronic.

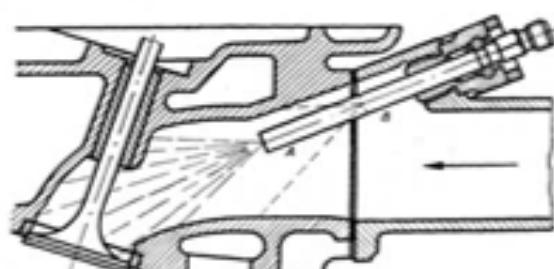
1-Calculator injectie; 2-Injector comandan; 3-Debitmetru aer; 4,5-Senzori temperatura; 6-Injector pomire; 7-Pompa benzina; 8-Filtru benzina; 9-Supapa aerisire; 10-Regulator aer ralanti; 11-Cititor pozitie obturator; 12-Releu pompa benzina; 13-Ruptor-distribuitor; 14-Rezervor benzina.

## INJECTOARE DE BENZINA COMANDAT ELECTRIC SI NECOMANDAT

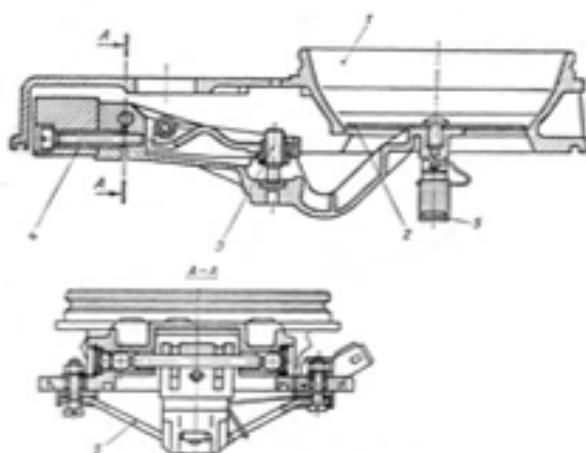


Tipuri constructive de injectoare — pulverizatoare:  
a — injectoare cu acționare electromagnetică a reșapei și deschiderea acvalui spre interior; b — injectoare cu deschiderea acvalui sub acțiunea presiunii combustibilului.

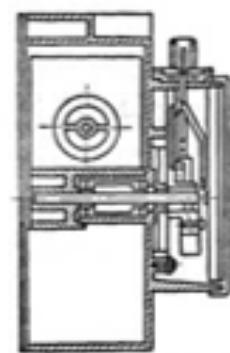
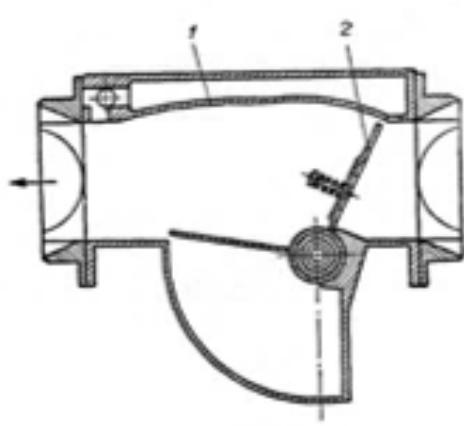
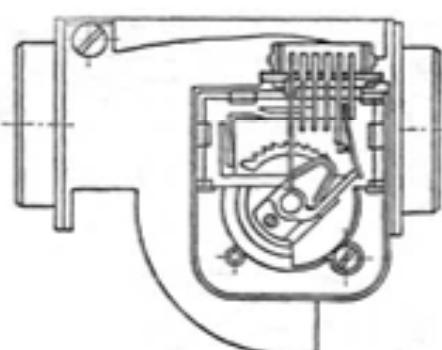
DEBITMETRE DE AER FOLOSITE LA SISTEMELE DE INJECTIE CU FEED-BACK



Positia de montaj a injectoarei la curaj injectiei in portul supapei (A, B variante ale aditivului de amplasare a dusei)



Debitmetru de aer al instalatiei K-Jetronic



Debitmetru  
de aer al instalatiei  
L-Jetronic

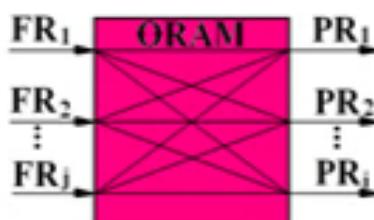


### 3.6. SISTEME DE REGLARE AUTOMATA (SRA)

Sistemele de reglare automata au ca scop eliberarea persoanei ce exploateaza motorul (sofer, pilot etc.) de anumite sarcini sau comenzi ce trebuie date motorului pentru ca acesta sa functioneze in siguranta sau la parametrii proiectati. In acest caz, anumite comenzi sau reglaje in functionare ale motorului (interne sau externe) vor fi lasate in seama unor dispozitive de automatizare (DA), sau regulatoare automate (RA).

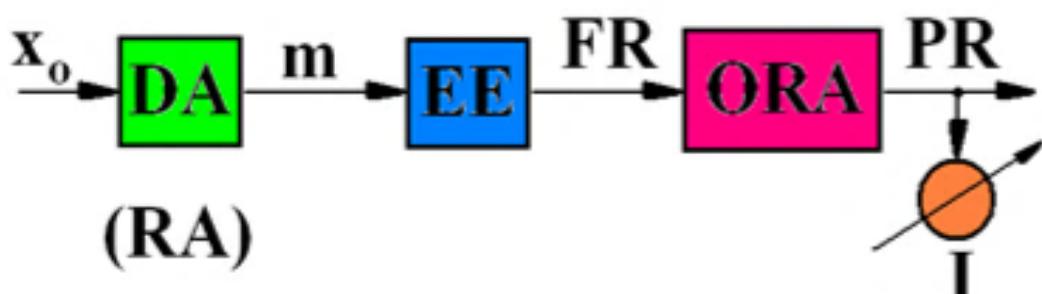
Ca destinatie, SRA pot fi:

- limitative: - care pastreaza un parametru reglat (PR) al motorului in limita / limitele superioara sau/si inferioara;
- maximale: - care aduc un anumit parametru reglat (PR) la o valoare maxima posibila in conditiile date;
- optimale: - care aduc un anumit parametru reglat (PR) la o valoare optima in conditiile date;
- de proces: - pentru anumite reglaje interne (cum ar fi avansul la aprindere, turatia minima de salanti etc.).



Dupa numarul factorilor de reglare (FR) si al parametrilor reglati (PR), SRA pot fi:

- monovariabile (1 FR, 1 PR);
- multivariabile ( $j$  FR,  $i$  PR interdependenti, SRA pentru obiect la reglarii automate multivariabil - ORAM).



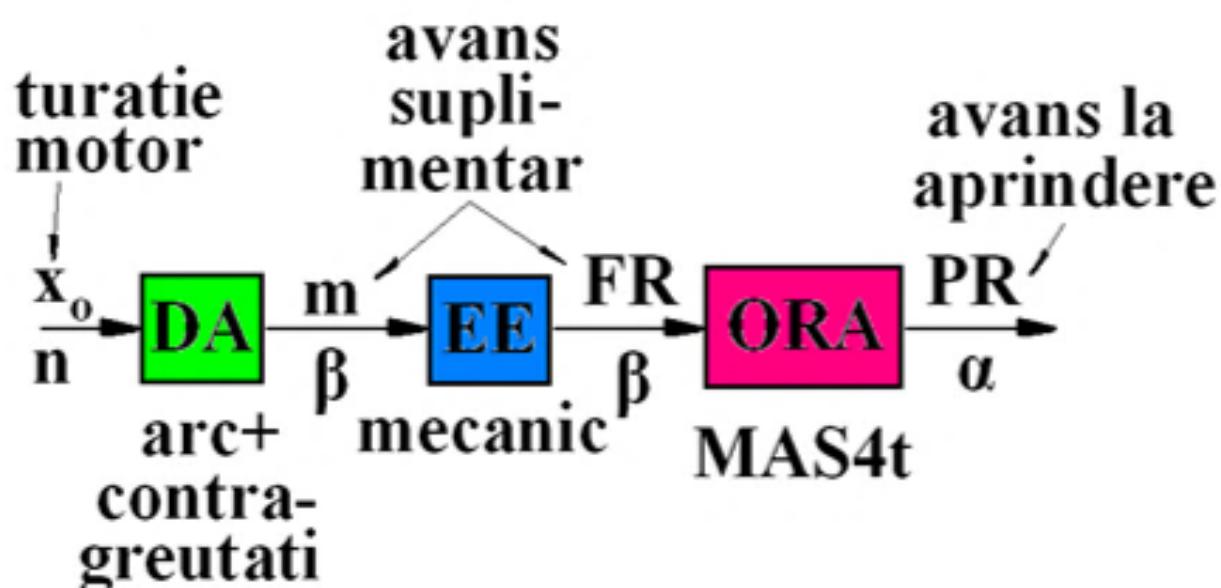
Schema de baza a unui SRA cuprinde:

- urmatoarele marimi:
  - $x_o$  - marime programata de la o maneta / programator;
  - marime citita de un senzor / dispozitiv de masurare;

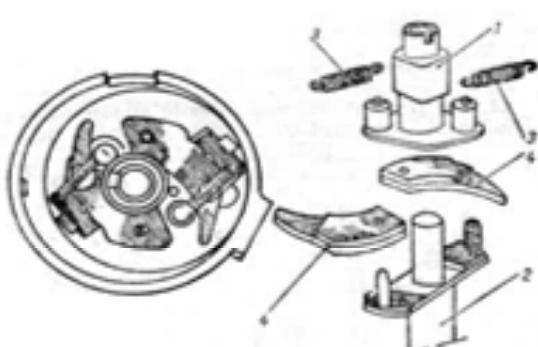
- m - marime modulata;
  - FR - factor de reglare, marime ce determina functionarea ORA;
  - PR - parametru reglat, marime rezultata pentru valoarea FR stabilita de DA (RA);
- urmatoarele entitati:
- ORA - obiectul reglarii automate (in cazul nostru, MAS4t);
  - DA - dispozitiv de automatizare, care genereaza / calculeaza o marime modulata m in functie de o marime programata  $x_0$  si de destinatia propusa pentru SRA;
    - sau
    - RA - este un DA in care marimea modulata m depinde de marimea programata  $x_0$ , dar si de derivatele si integralele de orice ordin ale acesteia in timp (t), (respectiv functie de  $d^n x_0(t)/dt^n$  si de  $\int^n x_0(t) dt^n$ , pentru orice numere naturale nenule n si m).
  - EE - element de executie, care poate fi:
    - mecanic;
    - hidraulic;
    - electric;
    - pneumatic;
    - vacuumatic.
  - I - indicator al PR realizat (optional).

Ca exemplificare, se prezinta schema "deschisa" si dispozitivul de automatizare de reglaj intern a avansului la aprindere in functie de turatia motorului (avans centrifugal):

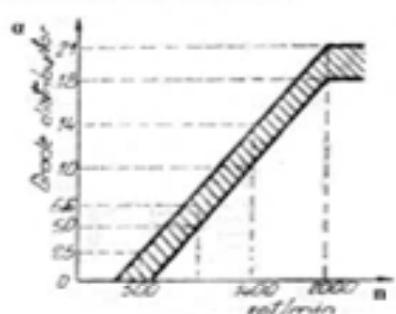
SCHEMA BLOC A SRA "DESCHIS"



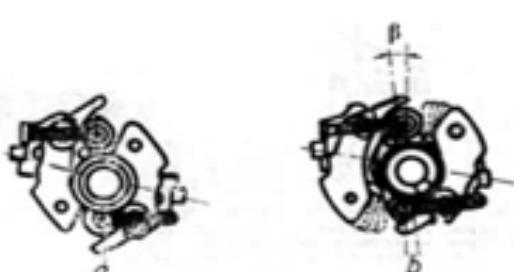
SCHEMA MECANISMULUI DE AVANS CENTRIFUGAL



Regulator de avans centrifugal:  
1 - semiarbor superior; 2 - semiarbor inferior; 3 - arcuri eliptice; 4 - masoane centrifugale.

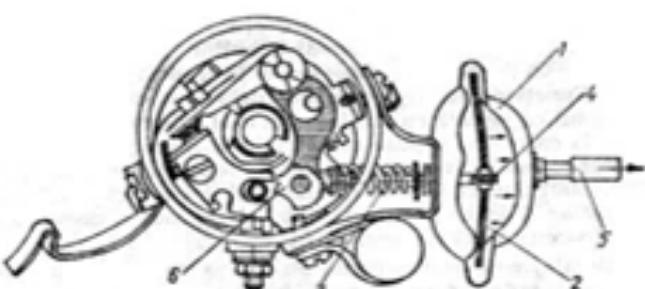


Curba caracteristica de avans centrifugal al rupatorului distributior IEPSS tip 3230.



Modul de functionare a regulatorului de avans centrifugal:  
a - pozitie de repaus; b - pozitie de functionare; A - decalaj unghiular si planovici.

Similar, există un dispozitiv de automatizare pentru avansul vacuumatic:



Regulator de avans vacuumatic:

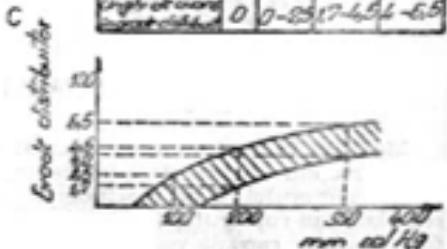
1 — capătă exterioră a membrană; 2 — membrană; 3 — arc; 4 — rulaj;  
5 — conductă din material plastic; 6 — sector dințat pentru reglarea avans-  
ului.

Fazele de funcționare a avans-  
ului vacuumatic în funcție de poziția clă-  
petei de admisie a carburatorului:

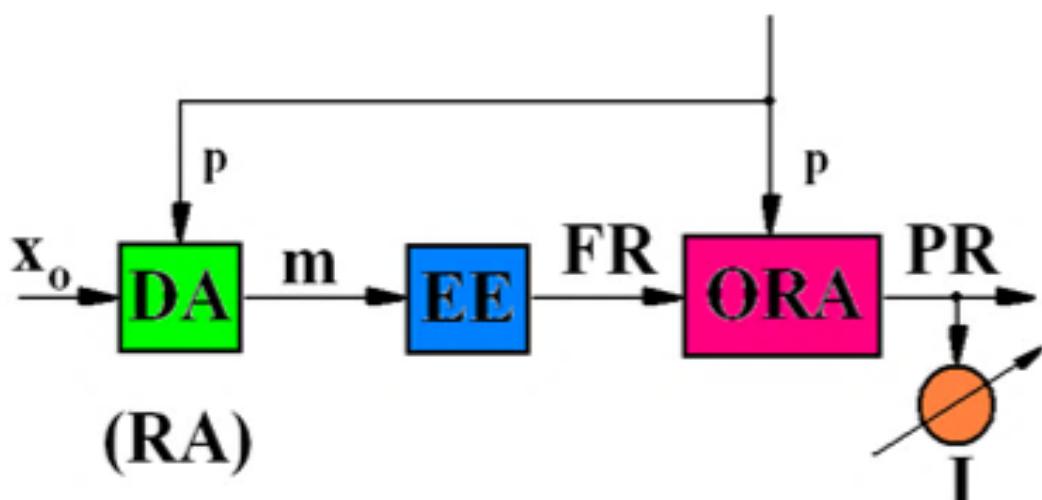
- a — poziția avansului vacuumatic maxim;
- b — poziția avansului vacuumatic în scădere;
- c — poziția avansului vacuumatic minim;
- 1 — axul rupeșterului distributior;
- 2 — conector plătinat;
- 3 — membrana capătă vacuumatic;
- 4 — clăpetă de admisie a carburatorului.

Curba caracteristică a  
avansului vacuumatic.

| Sprijinirea<br>mm col.Hg  | 0 | 100  | 200   | 350 |
|---------------------------|---|------|-------|-----|
| Avans extins<br>mm col.Hg | 0 | 0-25 | 17-65 | 65  |

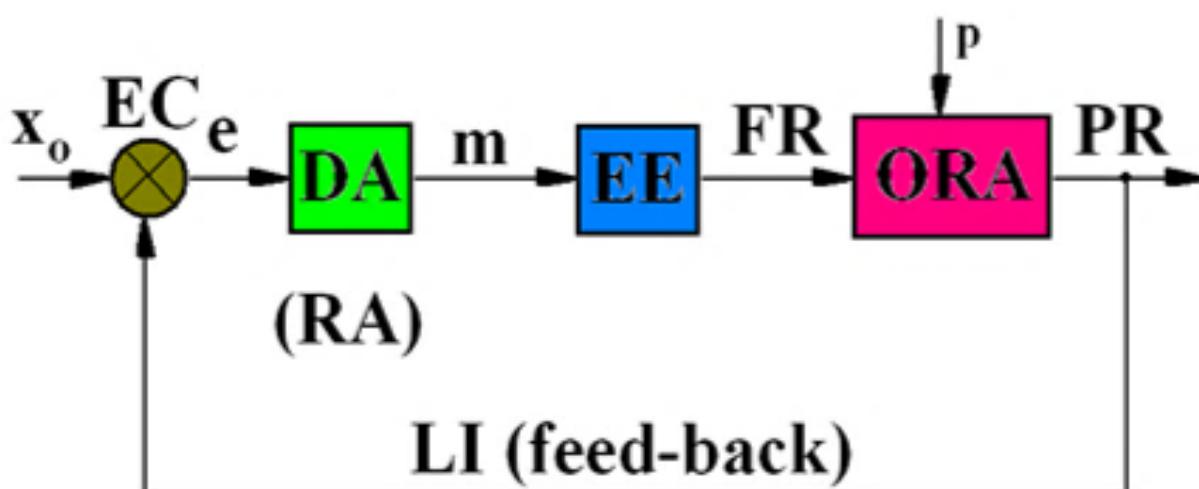


In afara de schema de baza prezentata anterior, numita si "deschisa" si fara perturbatii, mai putem avea si urmatoarele scheme:



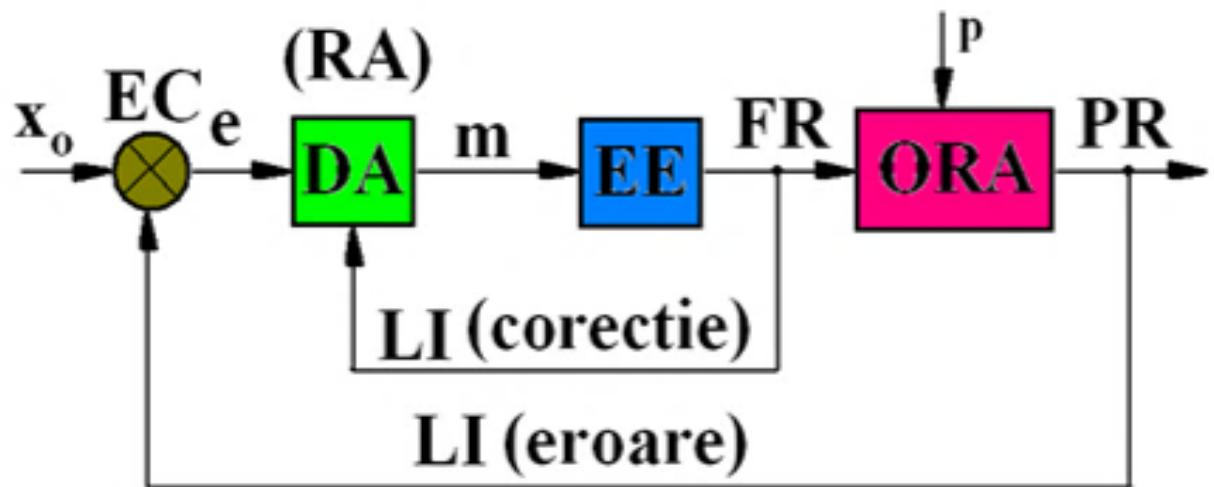
- Schema "deschisa" si cu perturbatii  $p$ , care pot fi:

- perturbatii additive (care influenteaza PR dar nu influenteaza functionarea ORA: ex.  $PR=n$ ,  $p=v$ );
- perturbatii parametrice (care influenteaza atat PR cat si functionarea ORA: ex.  $PR=n$ ,  $p=p_n$ ).



- Schema cu feed-back (cu legatura inversa LI, in care PR este comparat de un element de comparatie EC cu valoarea programata  $x_0$ , EC generand o eroare sau diferență  $e$ ) si cu perturbatii  $p$ :



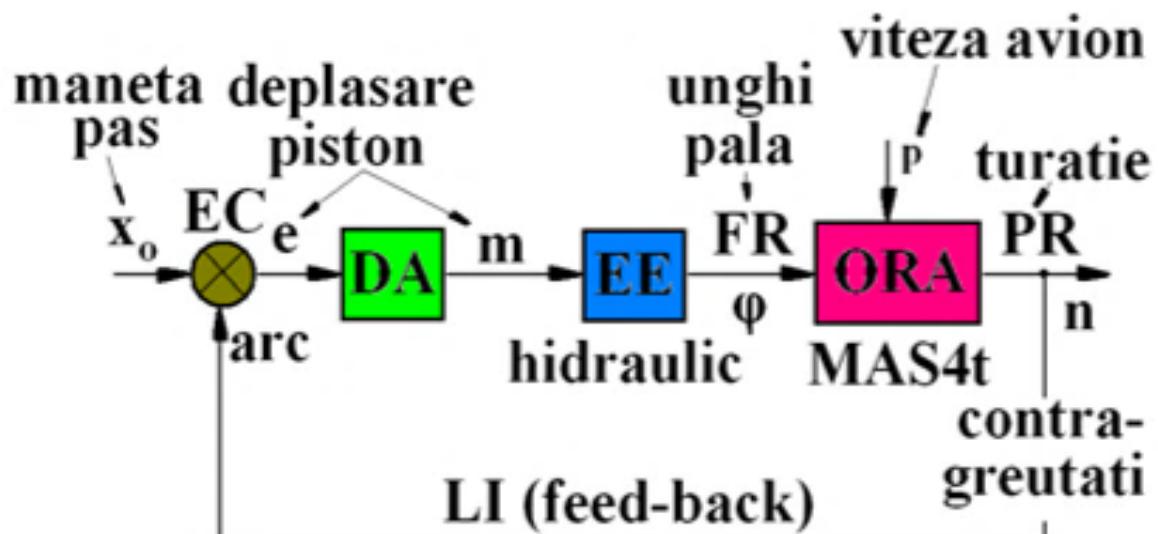


- Schema cu dublu feed-back (cu legatura inversa (LI) de corectie si de eroare) si cu perturbatie p.

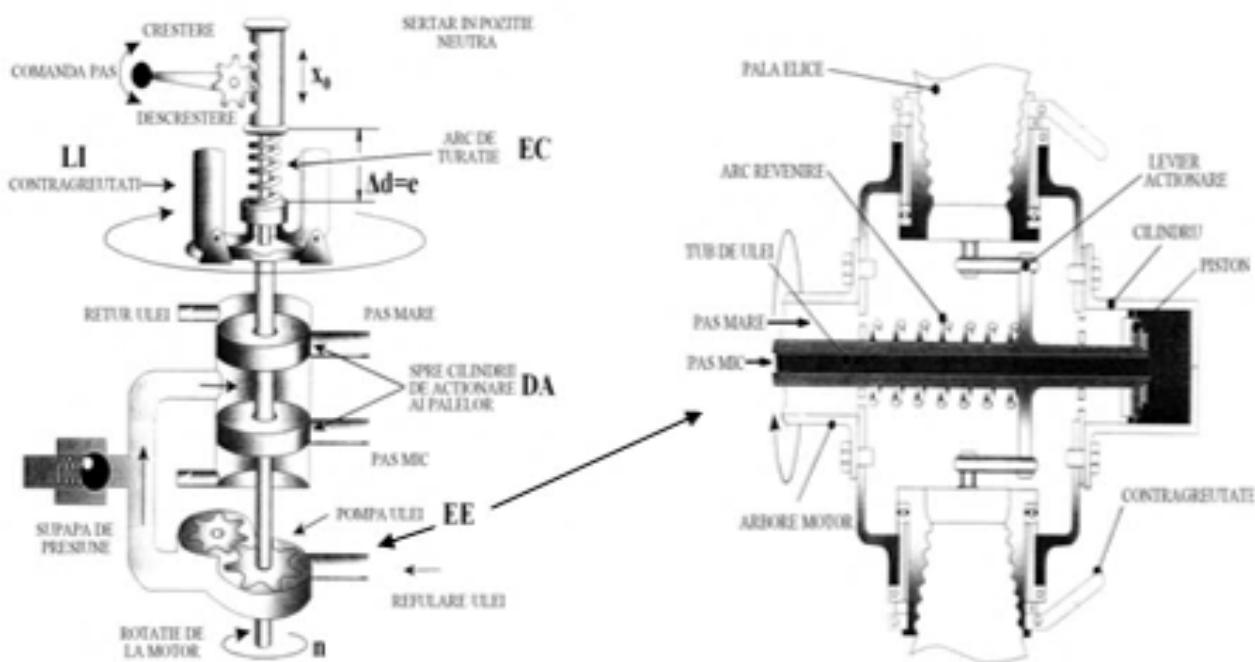


Ca exemplificare, se prezinta un dispozitiv de reglare automata (DA) a turatiei motorului dupa legea "turatie constanta", folosit frecvent in aviatie.

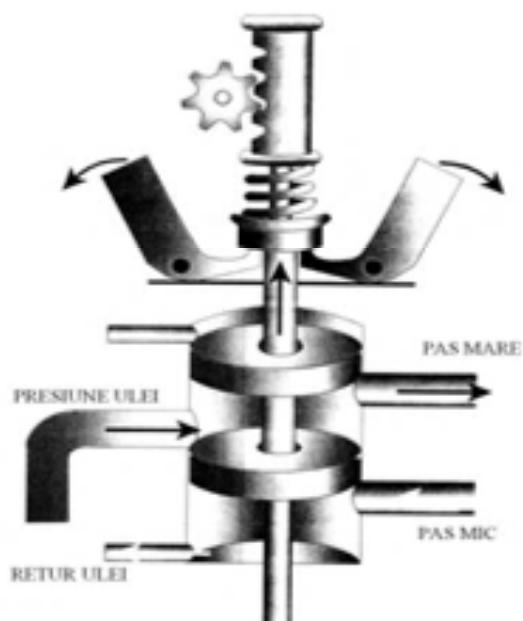
SCHEMA BLOC A SISTEMULUI



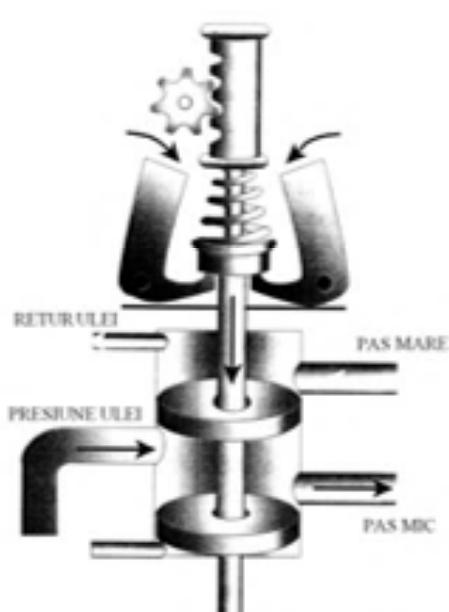
## SCHEMA DE CONSTRUCTIE A SRA



## FUNCTIONAREA SRA



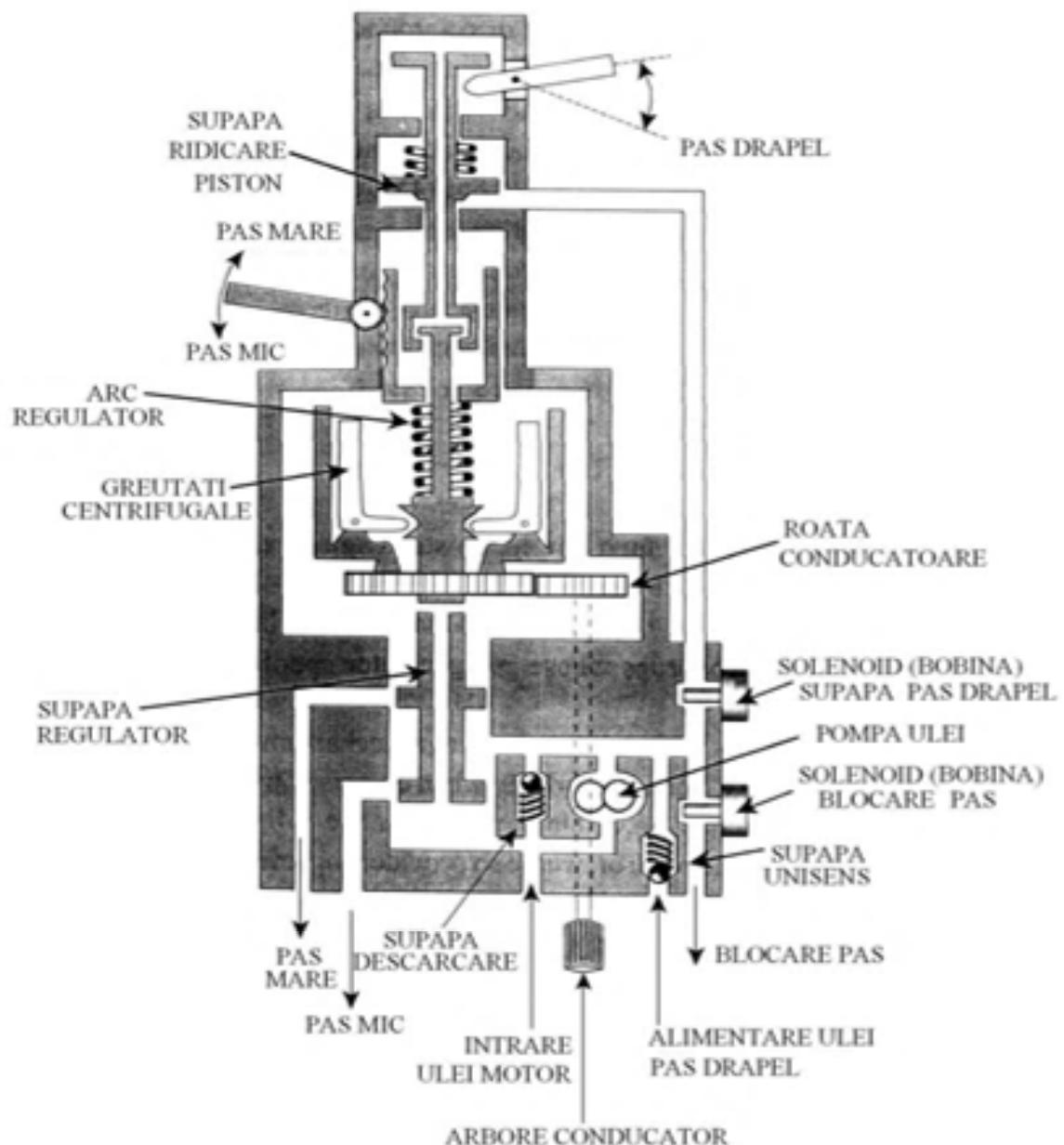
CRESTERE TURATIE



DESCRESTERE TURATIE



SCHEMA DE DETALIU A SRA CU SISTEM DE "PAS DRAPEL"



## CUPRINS

|   |         |
|---|---------|
| Cuvant inainte  | pag. 2  |
| Sa ne aducem aminte   | pag. 3  |
| <b>1. MOTOARE</b>   | pag. 4  |
| 1.1. CLASIFICAREA MOTOARELOR  | pag. 4  |
| 1.2. Motorul cu aprindere prin scanteie, in 4 timpi, cu admisie naturala        | pag. 5  |
| 1.2.1. Descriere sumara MAS4t-MAN   | pag. 5  |
| 1.2.2. Ciclul de functionare al MAS4t-MAN                                       | pag. 6  |
| 1.2.3. Descrierea detaliata MAS4t-MAN   | pag. 7  |
| 1.2.3.1. Blocul motor (carter / bloc-carter)                                    | pag. 11 |
| 1.2.3.2. Chiulasa   | pag. 13 |
| 1.2.3.3. Arborele cotit (vilbrochen)  | pag. 16 |
| 1.2.3.4. Pistonul   | pag. 18 |
| 1.2.3.5. Biela  | pag. 21 |
| 1.2.3.6. Camasa cilindrului   | pag. 22 |
| 1.2.3.7. Ansamblul distributiei   | pag. 22 |
| <b>2. ELEMENTE DE TERMODINAMICA</b>   | pag. 26 |
| 2.1. TERMODINAMICA GAZELOR  | pag. 26 |
| 2.1.1. Relatii diferențiale de calcul   | pag. 28 |
| 2.1.2. Evolutii particulare   | pag. 30 |
| 2.1.3. Variatia parametrilor energetici   | pag. 32 |
| 2.1.4. Termodinamica arderii  | pag. 33 |
| 2.1.4.1. Arderea combustibilului definit prin formula chimică                   | pag. 33 |
| 2.1.4.2. Arderea combustibilului definit prin participația masica               | pag. 34 |
| 2.2. CICLUL IDEAL MAS4t-MAN   | pag. 35 |
| 2.3. CRESTERA PUTERII MAS4t   | pag. 38 |
| 2.3.1. MAS4t-MAF <sub>mc</sub>  | pag. 39 |
| 2.3.2. MAS4t-MAF <sub>rc</sub>  | pag. 42 |
| 2.4. Ciclul real al MAS4t-MAN   | pag. 44 |
| 2.4.1. Bilantul energetic al MAS4t-MAN pentru ciclul real                       | pag. 45 |
| 2.4.2. Ciclul real al MAS4t-MAN   | pag. 46 |
| <b>3. SISTEMELE MOTORULUI CU PISTON, CU APRINDERE PRIN SCANTEIE, IN 4 TIMPI</b> | pag. 49 |
| 3.1. SISTEMUL DE UNGERE   | pag. 50 |
| 3.2. SISTEMUL DE RACIRE   | pag. 57 |
| 3.3. SISTEMUL DE DISTRIBUTIE  | pag. 59 |
| 3.4. SISTEMUL DE APRINDERE  | pag. 64 |
| 3.5. SISTEMUL DE CARBURATIE   | pag. 68 |
| 3.5.1. Sistemul de carburatie cu carburator                                     | pag. 68 |
| 3.5.2. Sistemul de carburatie cu injectie de benzina                            | pag. 71 |
| 3.6. SISTEME DE REGLARE AUTOMATA (SRA)  | pag. 75 |

## BIBLIOGRAFIE

1. Agenda automobilului, Vol. 1+2: Vaiteanu, D.; Stoleru, M.; Campean, N.; Zamfirescu, E.
2. Automobil de la A la Z, dictionar.
3. Catalog ilustrat de piese de schimb, motor AI 14 RA.
4. Catalog ilustrat de piese de schimb, motoare Walter M137 / M337.
5. Catalog ilustrat de piese de schimb, motor Rotax 912.
6. Curs Jeppesen – Oxford, Sisteme de propulsie.
7. Manual de zbor avion EXTRA 300L.
8. Motoare pentru automobile si tractoare, Vol. 1+2: Abaitancei, D.; Hasegan, C.; Stoica, I.; Claponi, D.; Cihodaru, L.
9. Motoare pentru autovehicule: Popa, B.; Bataga, N.; Cazila, A.
10. Note de curs sisteme de automatizare pentru aviatie: Buruiana, M.
11. Organe de masini: Pavelescu, D.; Radulescu, G.; Gaftianu, M.; Crudu, I.; Gheorghiu, N.
12. Termodinamica tehnica, Culegere de probleme: Pimsner, V.; Vasilescu, C.A.; Petcovici, A.