

# Supraalimentarea motoarelor pentru autovehicule rutiere

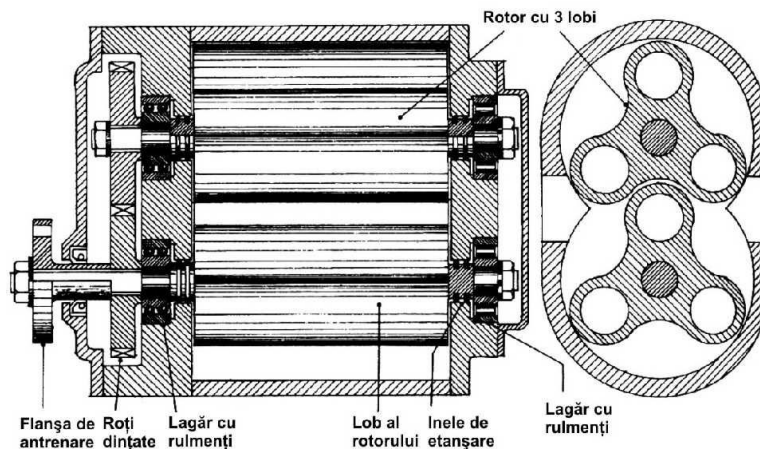
### 11.1. Tipuri de supraalimentare. Clasificări. Caracteristici

Puterea motorului de automobil este proporțională cu consumul orar de aer. Sporirea consumului de aer, la un motor în patru timpi se obține la aceeași turație și cilindree, cel mai rațional, prin mărirea densității aerului, adică a fluidului proaspăt. Acest lucru se realizează, în mod curent, cu o **suflantă** care comprimă aerul de la presiunea inițială de admisie  $p_0$ , la presiunea  $p_s$ . Aerul este comprimat la presiuni de 0,12 ,..., 0,32 MPa [1, 17].

Principial există două tipuri de suflante și anume:

- suflante **volumice** sau de **dislocare**, care la rândul lor pot fi cu *piston*, sau *rotative*, acestea din urmă având un rotor profilat, cum este cazul suflantei **Roots** sau al suflantelor **Sprintex**;
- suflante **dinamice**, bazate pe modificarea impulsului aerului și care, la rândul lor, pot fi de tip *axial* sau, în special la motoarele de automobile, de tip *centrifugal*.

Suflantele cu rotor profilat de tip **Roots**, a căror construcție este prezentată în **fig. 11.1.**, conțin 2 sau chiar 3 rotoare profilate, care se rotesc într-o carcasă. Ele sunt acționate pe cale mecanică, debitul de aer fiind dependent numai de turație nu și de sarcina motorului [19].

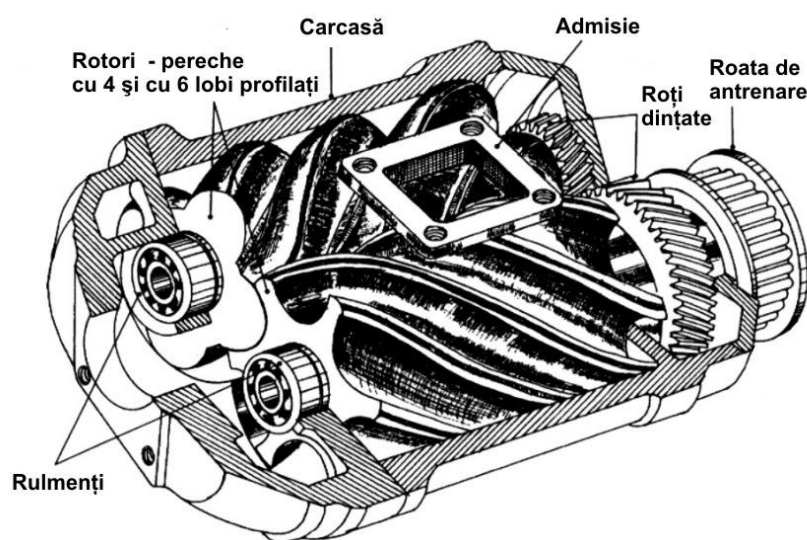


**Fig. 11.1** Construcția suflantei volumice cu rotor profilat **Roots**

Suflantele **Sprintex** au două rotoare profilate sub formă de șurub elicoidal, cel conducător având **6** lobi, pe când cel condus are **4** lobi. Arhitectura acestei suflante este vizibilă în **fig. 11.2**.

Suflanta centrifugă este însă cea mai răspândită la motoarele de autovehicule, oferind dimensiuni reduse ca urmare a turațiilor mari la care lucrează, adică 40000,...,100000 [rpm]. Ea este alcătuită din câteva elemente tipice, precum *rotorul cu palete*, *difuzorul*, prevăzut, de asemenea, cu palete, *racordul de intrare a aerului* și *colectorul*, numit și *melcul de ieșire*. Într-o astfel de suflantă, comprimarea se produce în două etape. Astfel, o primă etapă are loc în rotor, sub acțiunea forțelor centrifuge, în timp ce a doua etapă se desfășoară în stator, adică în difuzor, prin transformarea energiei cinetice a curentului de gaze în lucru mecanic de comprimare.

La aceste suflante diametrul rotorului este o dimensiune fundamentală. Astfel, pentru suflante compacte, cu gabarit mic, trebuie mărită turația suflantei. La un diametru mare de rotor, inerția este mare și în regim de accelerare, din cauza acestei inerții, suflanta răspunde cu întârziere [19].



**Fig. 11.2** Construcția suflantei volumice cu rotor profilat **Sprintex**

Din punct de vedere al antrenării sunt posibile trei soluții, descrise în continuare.

**O primă soluție** o reprezintă **antrenarea mecanică**, care se face de la arborele motorului. Antrenarea se face, de regulă, printr-un angrenaj cu raport de transmisie de 10 - 12, procedeul numindu-se în acest caz și **supraalimentare mecanică**.

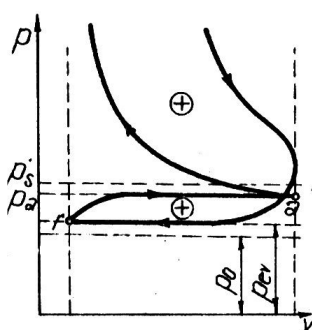
**Cea de a doua soluție** o constituie antrenarea prin **intermediul unei turbine cu gaze**, procedeul purtând numele de **turbo-supraalimentare**.

A treia soluție o reprezintă antrenarea *mixtă*, întâlnită însă mult mai rar la motoarele de automobile.

Turbo-supraalimentarea se realizează cu un **grup turbo-suflantă**, compus dintr-o **suflantă centrifugă** și o **turbină** care prelucrează o parte din energia gazelor de evacuare. Suflanta și turbina sunt fixate pe un ax comun. Deși între suflantă și motor nu există o legătură mecanică, agregatul este autoreglabil. Astfel, la variația turației și a sarcinii motorului se modifică debitul și temperatura gazelor de ardere, deci și regimul de funcționare al turbo-suflantei.

Pentru obținerea unui grad ridicat de supraalimentare există două posibilități, și anume:

- creșterea căderii de presiune în turbină, adică mărirea presiunii  $p_t$  înaintea ei prin deschiderea mai devreme a supapei de evacuare, adică printr-un avans mai mare la evacuare;
- creșterea temperaturii gazelor la intrarea în turbină,  $T_t$ , caz care se limitează însă din cauza temperaturii materialului de paletă la 780 ,..., 850 K. La depășirea acestei limite, gazele de evacuare se diluează cu aer proaspăt.



**Fig. 11.3** Diagrama de pompaj a motorului supraalimentat

Diagramele de pompaj a motorului supraalimentat evidențiază că presiunea  $p_a$  în timpul umplerii este superioară presiunii de evacuare  $p_{ev}$ , aria diagramei de pompaj fiind pozitivă. În această situație, lucrul mecanic al diagramei de pompaj se adună la cel al buclei superioare. Avansul la deschiderea supapei de admisie în cazul acestor motoare este, de asemenea, mai mare, tocmai pentru a oferi secțiune maximă gazelor. În același timp, întârzierea la închiderea supapei de admisie se mărește corespunzător, fenomenul inerțional fiind mai accentuat odată cu creșterea valorii presiunii  $p_s$ . Întârzierea la închiderea supapei de evacuare se mărește și ea în mod corespunzător (**fig. 11.3**).

Amplasarea grupului de supraalimentare, în special la motoarele mari, trebuie să țină seama de considerente de gabarit [17, 45].

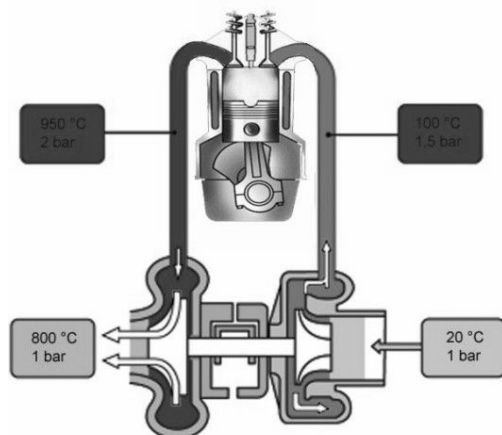
## 11.2. Turbo-supraalimentarea

Turbo-supraalimentarea utilizează energia gazelor de evacuare, care în mod normal reprezintă o energie pierdută. Debitul de gaze evacuat, antrenează turbina, care la rândul său antrenează compresorul, montat pe un ax comun cu aceasta (**fig. 11.4**).

Prin procedeul de supraalimentare, presiunea în colectorul de admisie ajunge, în mod curent, la valori ce depășesc cu cca. 0,09 – 0,13 MPa presiunea

atmosferică. Astfel umplerea cilindrilor este îmbunătățită, randamentul volumetric ajungând la valori mult mai mari. Creșterea cantității de aer este însoțită de creșterea dozei de combustibil injectat, ceea ce are ca rezultat mărirea puterii motorului cu până la 40%, comparativ cu un motor admisie normală, având aceeași capacitate cilindrică.

Principalele avantaje ale supraalimentării sunt grupate în continuare astfel:



**Fig. 11.4** Schema bloc a turbo-supraalimentării

▪ *Reducerea consumului de combustibil*

Comparativ cu un motor aspirat normal de aceeași putere vom avea o reducere a consumului de combustibil deoarece se recuperează energia gazelor de evacuare. Totodată motoarele supraalimentate au o cilindree mai redusă comparativ cu cele aspirate, de aceeași putere, ceea ce înseamnă pierderi prin frecare mai reduse.

▪ *Reducerea raportului putere / greutate motor*

Acest raport este superior celui care caracterizează motoarele aspirate.

▪ *Puterea motorului nu este afectată de altitudine*

Odată cu creșterea altitudinii, la motoarele aspirate, puterea este afectată prin reducerea randamentului volumetric al umplerii. La motoarele turbo-supraalimentate refacerea puterii este posibilă datorită modificării regimului de lucru al turbinei.

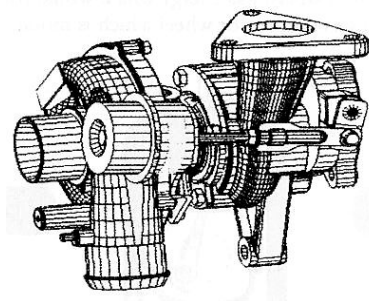
Componentele agregatului de supraalimentare sunt prezentate și descrise în continuare.

### 11.2.1. Compresorul

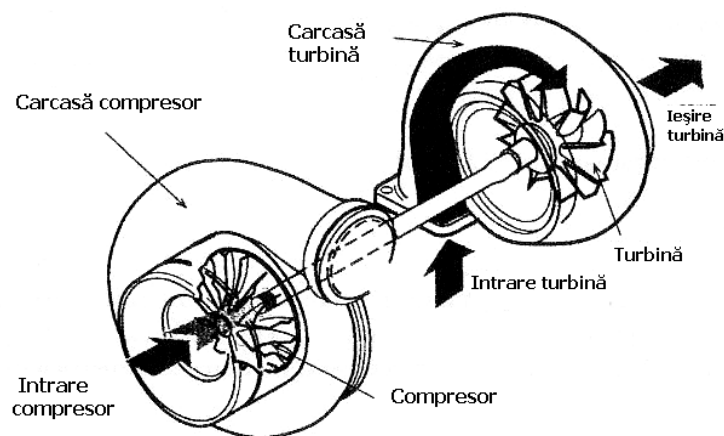
Ansamblul compresor este alcătuit din:

- compresorul rotativ cu paleți;
- carcasa;
- canalizația de intrare a aerului;
- canalizația de ieșire a aerului.

Compresoare folosite au intrarea axială și ieșirea radială, viteza periferică a paleților putând atinge 520 m/s.



**Fig. 11.5** Agregat de turbo-supraalimentare



**Fig. 11.6** Fluxul gazelor prin compresor și prin turbină

### 11.2.2. Turbina

Componența ansamblului turbinei cuprinde următoarele elemente de bază:

- rotorul, pe care sunt dispuși paletetele;
- carcasa, având forma tipică;
- intrarea radială
- ieșirea axială.

Rotorul cu palete este realizat din aliaje de *nichel* și *crom*, deoarece acestea trebuie să suporte temperaturi ce pot atinge 1050 [°C].

O secțiune prin ansamblul compresor – turbină este prezentată în **fig. 11.7**, în timp ce în **fig. 11.8** este vizibil axul agregatului cu cele două rotoare, putându-se remarca profilul și dispunerea paletelor, precum și modul de asamblare dintre ax și rotoare [19].

### 11.2.3. Lagărele turbo-suflantei

Lagărele au rolul de a susține și unge arborele turbo-suflantei, arbore ce se rotește curent cu turații până la 20000 [rpm]. Aceste lagărele pot fi de tipul *inelelor* sau de tip *semicuzineți*, așa cum se arată în **fig. 11.9**, prezentată mai jos. În cazul lagărelor de tip inel (bucșă), acestea se rotesc cu jumătate din turația arborelui turbo-suflantei. Între inel și arbore precum și între carcasă și inel există în permanență ulei sub presiune din sistemul de ungere al motorului.

În cazul lagărelor tip semicuzineți aceștia sunt asigurați contra rotirii și beneficiază de ungere sub presiune similar ca la arborele cotit al motoarelor. În cazul ungerii insuficiente lagărele se distrug rapid, debitul de ulei necesar fiind ce 8-10 [litri/min], iar presiunea de cca. 0,4 [MPa].

Tendința actuală este de utilizare a lagărelor având la bază rulmenți cu ace.

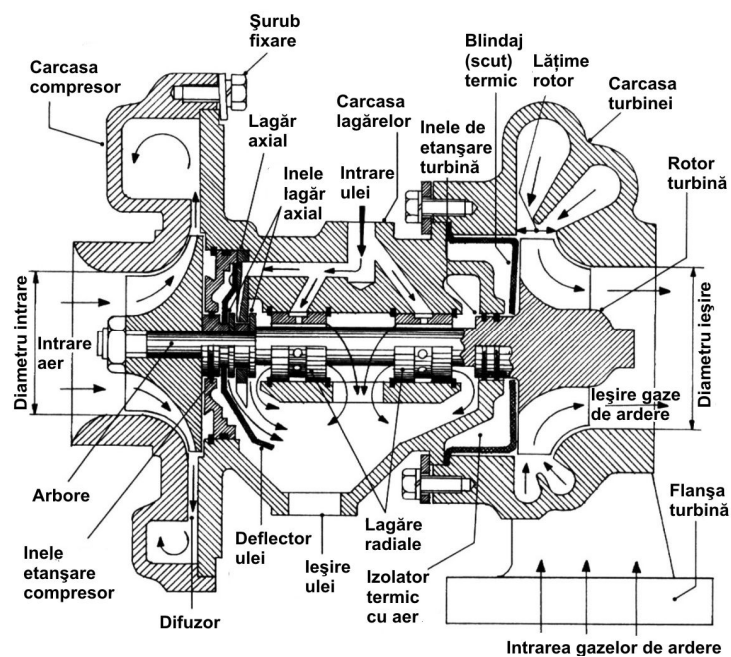


Fig. 11.7 Secțiune prin ansamblul compresor – turbină

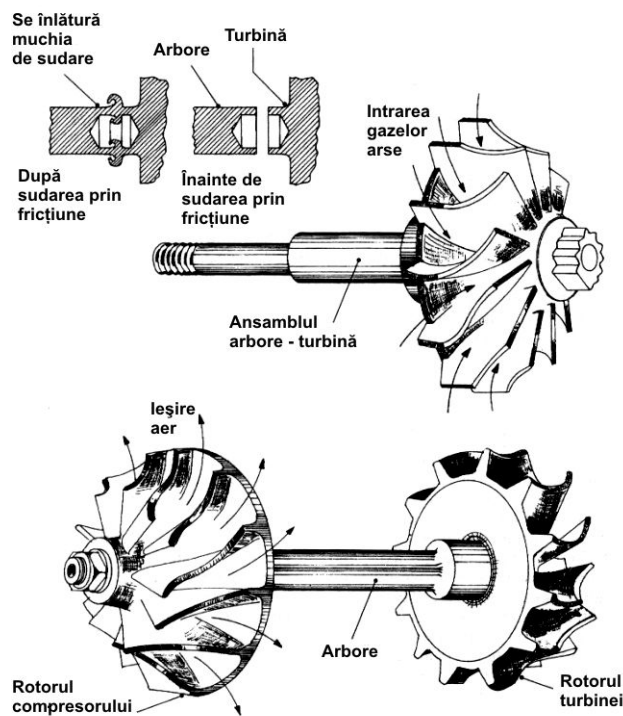
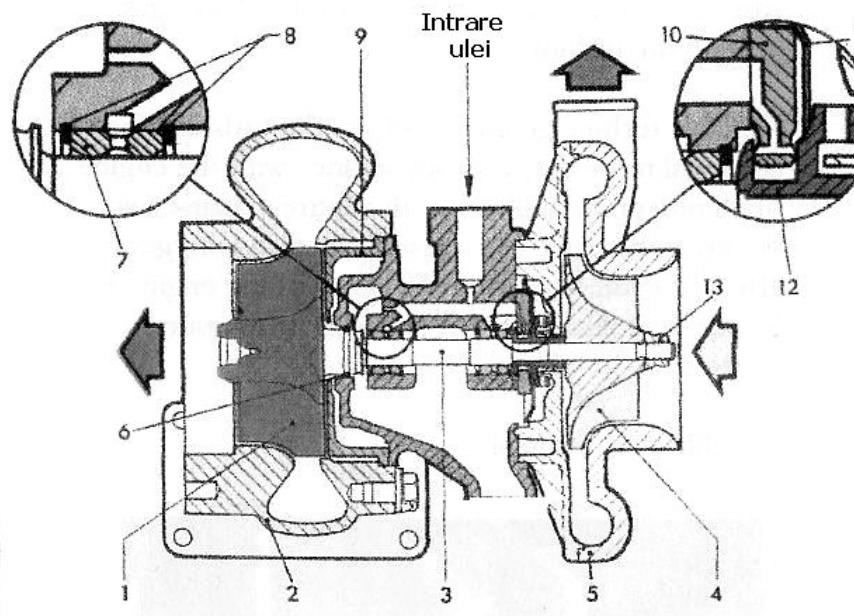


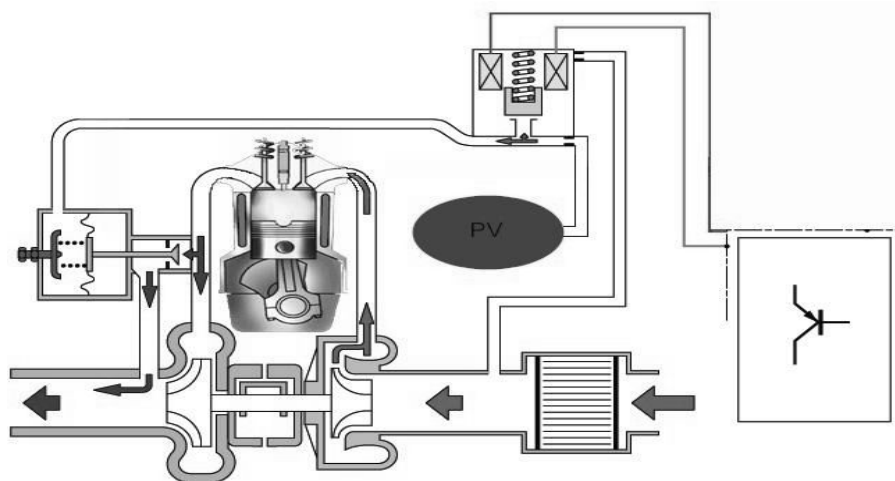
Fig. 11.8 Axul agregatului cu cele două rotoare



**Fig. 11.9** *Lagărele turbo-suflantei*

#### 11.2.4. Controlul presiunii de turbo-supraalimentare

Dacă turbo-suflanta ar fi proiectată să producă maximum de putere la turația maximă a motorului, aceasta ar avea dimensiuni sporite și o greutate apreciabilă a pieselor în mișcare de rotație ceea ce ar afecta timpul de răspuns în cazul turațiilor reduse de funcționare.



**Fig. 11.10** *Schema de control a presiunii de supraalimentare*

Micșorarea dimensiunilor agregatului este de dorit, dar acest lucru se face astfel încât el să producă un nivel acceptabil de putere în cazul turațiilor reduse și să răspundă prompt la accelerare.

Utilizarea unui turbocompresor de dimensiuni reduse (turație ridicată de funcționare) creează riscul producerii unei suprapresiuni. În această situație trebuie redusă turația de funcționare a turbinei, lucru realizabil prin intermediul unei supape ce limitează debitul de gaze.

Această supapă, denumită în mod curent „*wastegate*”, din limba engleză, este acționată prin intermediul unei tije ce face legătura cu o capsulă vacuumatică, funcționarea ei fiind pusă în evidență pe schema bloc din **fig. 11.10**.

**Observație:** *O importanță deosebită trebuie acordată reglajului tije de comandă cu care este echipată capsula vacuumatică.*

#### **11.2.5. Turbo-suflanta cu geometrie variabilă**

În vederea menținerii unor performanțe ridicate ale motorului, în special cuplul acestuia, atât în regimurile de turații și sarcini joase, cât și în cele înalte se practică controlul secțiunii de intrare a gazelor arse în rotorul turbinei. Astfel, la regimurile joase, când debitul și viteza gazelor este redusă, *secțiunea de trecere se micșorează*, accelerând astfel curgerea gazelor și implicit presiunea lor dinamică care acționează asupra paletelor rotorului turbinei. Se obține în acest mod o turație ridicată a turbinei și în consecință a compresorului, parametrii aerului refulat fiind apropiați de cei obținuți în regimurile înalte de lucru ale motorului. Contrar, la turații și sarcini mari ale motorului, debitul gazelor de ardere, viteza de curgere și presiunea lor dinamică sunt crescute, astfel încât turația turbinei și compresorului sunt ridicate. Pentru a nu crește excesiv valoarea parametrilor de lucru și în același timp pentru a proteja turbina, *secțiunea de trecere se mărește*, astfel încât rezistența gazodinamică a jetului de gaze arse să fie minimă.

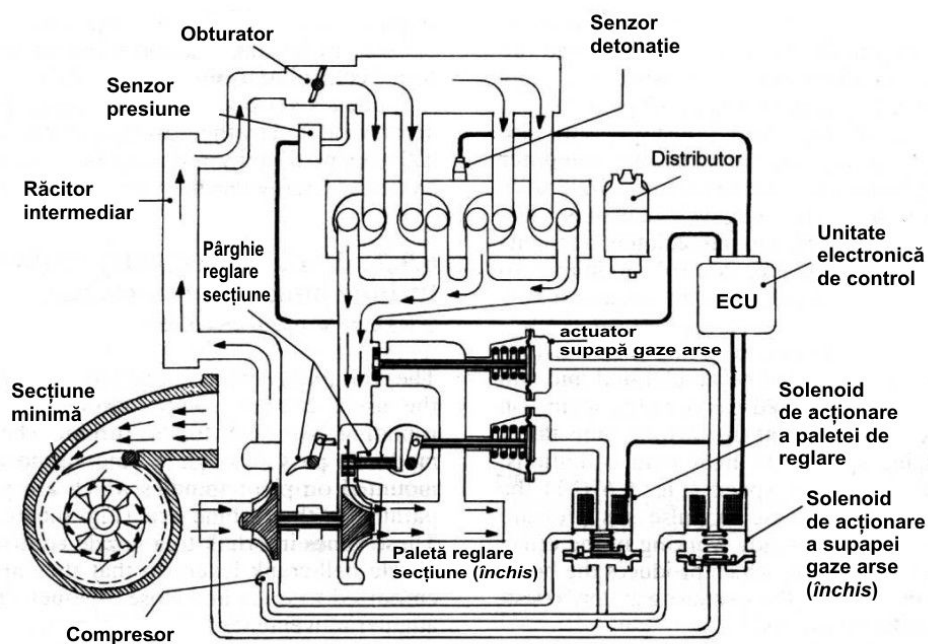
Modificările de secțiune se pot realiza în două moduri.

Astfel, la unele construcții de turbină se acționează asupra secțiunii canalului radial de curgere a gazelor, așa cum se arată în **fig.11.11 a** (turații și sarcini mici, secțiune redusă) și **fig 11.11 b** (turații și sarcini mari, secțiune crescută).

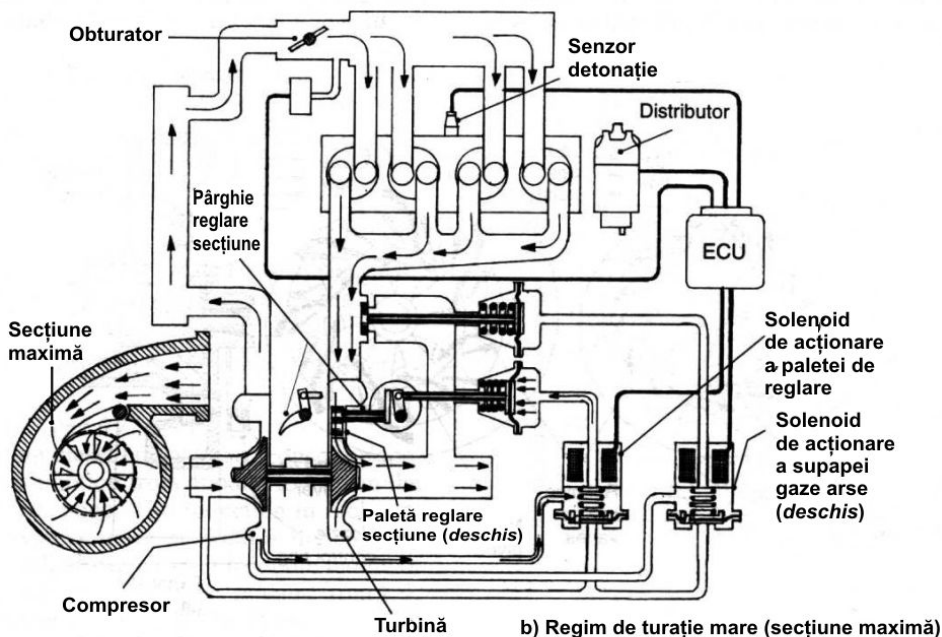
La alte variante mai recente de turbine se modifică secțiunile canalelor de trecere a gazelor, formate între paletele statorice și cele rotorice la nivelul turbinei, așa cum se exemplifică, pentru cele două situații extreme de funcționare, în **fig. 11.12 a** și **fig. 11.12 b**.

Acest lucru se obține prin rotirea cu cca. 30° a paletelor statorului prin intermediul unui mecanism de sincronizare, acționat prin depresiune și comandat de unitatea electronică centrală, aspect pus în evidență în **fig. 11.13**.





a) Regim de turație joasă (secțiune minimă)

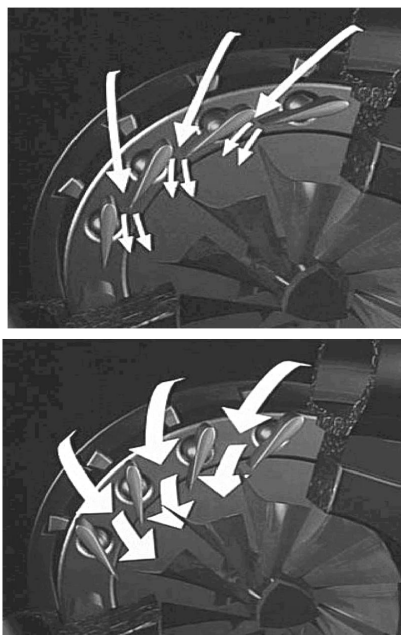


b) Regim de turație mare (secțiune maximă)

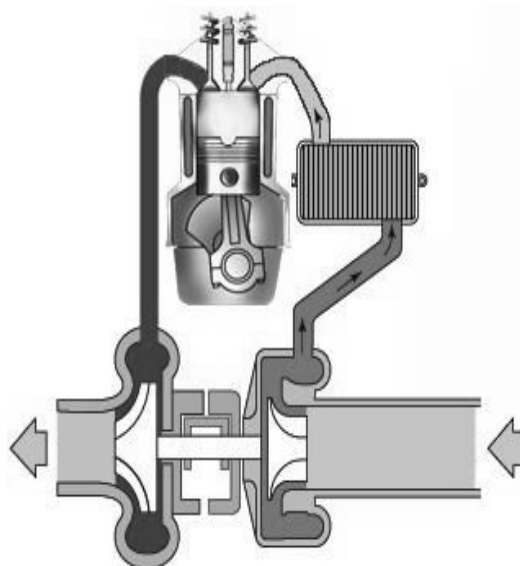
### Turbină cu secțiune variabilă de curgere a gazelor

Fig. 11.11 a, b Modificarea secțiunii canalului radial de curgere a gazelor





**Fig. 11.14** *Pozițiile paletelor de pe stator și traiectoria fluxului de gaze*



**Fig. 11.15** *Schema bloc de dispunere a intercoolerului*

Se observă că la acest sistem de reglare, la turații și sarcini mici, fluxul de gaze este dirijat aproximativ normal la paleta rotorică, ceea ce îmbunătățește mult eficiența procesului. În final, rezultă un agregat mai eficient ce îmbunătățește performanțele motorului [18, 19].

#### 11.2.6. Pornirea și oprirea motorului

Pe perioadele de oprire și pornire ale motoarelor prevăzute cu turbosuflante ungerea acestor agregate este deficitară datorită presiunii reduse din sistemul de ungere.

**Observație:** *Din acest motiv după pornire și înainte de oprirea motoarelor nu trebuie să se accelereze.*

#### 11.2.7. Răcitorul intermediar (Intercoolerul)

Odată cu comprimarea aerului de către compresor, la ieșirea din acesta aerul are o temperatură ridicată ceea ce afectează densitatea și odată cu ea eficiența umplerii. Pentru a combate acest fenomen se apelează la răcitoare intermediare denumite „**intercooler**”, poziționate ca în figura de mai jos.

Cel mai adesea se utilizează intercoolere de tip aer-aer ce reduc temperatura la 50 - 60 [°C].

### 11.3. Reducerea gradului de poluare

Motorul Diesel funcționează în permanență cu exces de aer, ceea ce îl face mai puțin poluant decât motorul cu aprindere cu scânteie, cu benzină, în special în ceea ce privește emisiile de CO și HC.

Principalele produse poluante ale motorului Diesel sunt NO<sub>x</sub> și particulele.

După cum se cunoaște, NO<sub>x</sub> - ul se produce datorită excesului de aer și al temperaturilor ridicate din cilindri.

Particulele sunt rezultatul unui exces de combustibil și al arderilor incomplete, în special pe perioada accelerărilor și al funcționărilor la rece.

Aceste particule pot duce la colmatarea convertoarelor catalitice. O măsură de combatere a colmatării este aceea de reducere a avansului la declanșarea injectiei, la regimuri medii și înalte de funcționare a motoarelor (dar nu la regimul maxim).

### 11.4. Sistemul EGR

Sistemul **EGR** (*Exost Gas Recirculation*) permite reducerea concentrației de NO<sub>x</sub> prin recircularea unei anumite cantități de gaze arse. Acestea vor intra în sistemul de admisie și apoi în motor, unde vor avea ca efect reducerea temperaturii în timpul procesului de ardere.

Cantitatea de gaze arse recirculate este riguros controlată astfel încât, de la turația de ralanti și până la 3500 [rpm], controlul se face și în funcție de informația primită de calculator de la debitmetrul de aer [18].