

# **PRODUCEREA ENERGIEI ELECTRICE**

## **CURS 2**

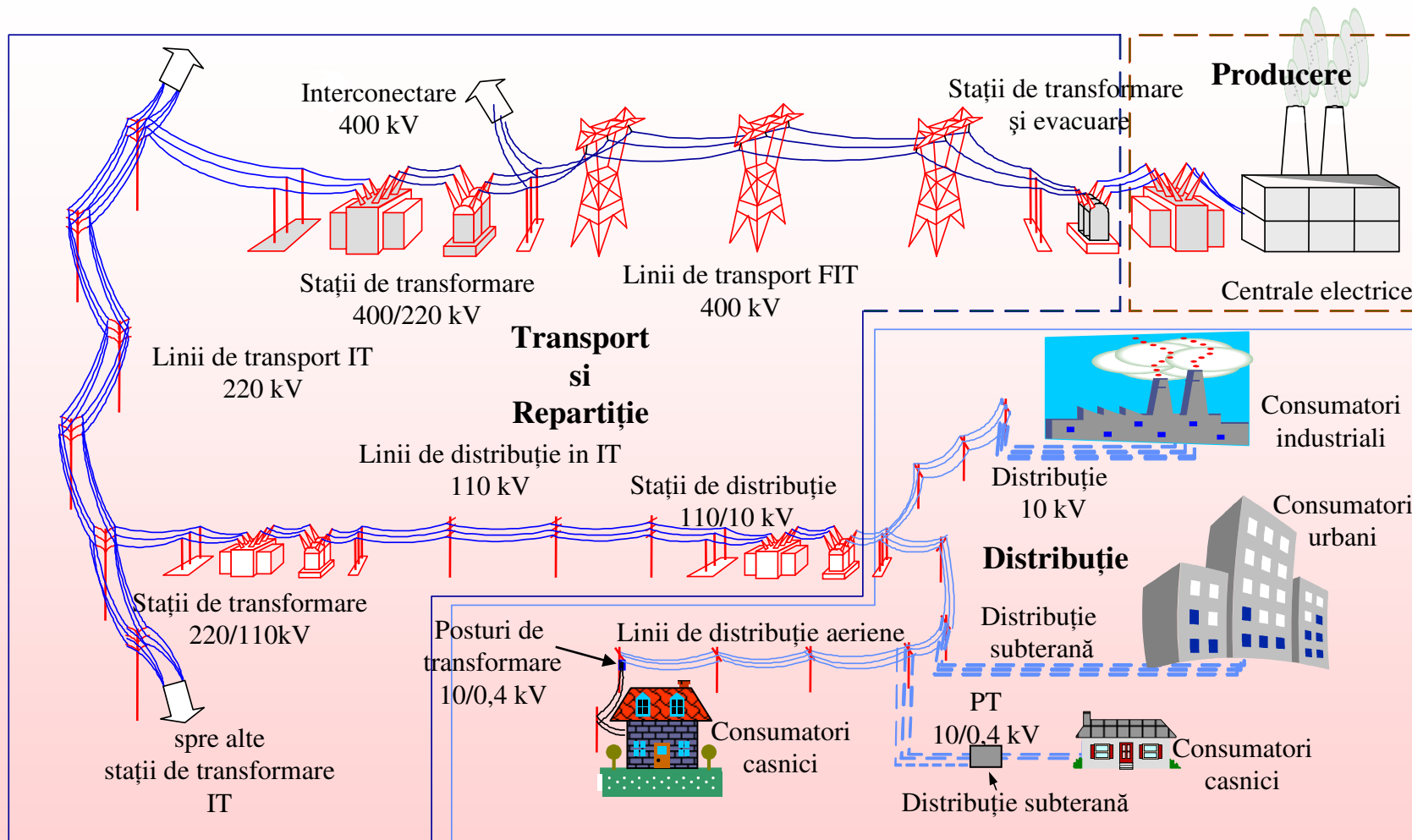
02.10.2007

PTDEE - Curs 2 - prof. R. TIRNOVAN

# **2. 1. Generalități**

## **2.1.1. Sistemul electroenergetic:**

- producerea energiei electrice în centrale electrice**
- transportul energiei electrice (stații de transformare și evacuare, linii de transport în foarte înaltă tensiune și distribuție în înaltă tensiune, stații de interconexiuni);**
- distribuția energiei electrice (stații de distribuție, posturi de transformare, linii de distribuție de medie tensiune, linii de distribuție de joasă tensiune).**

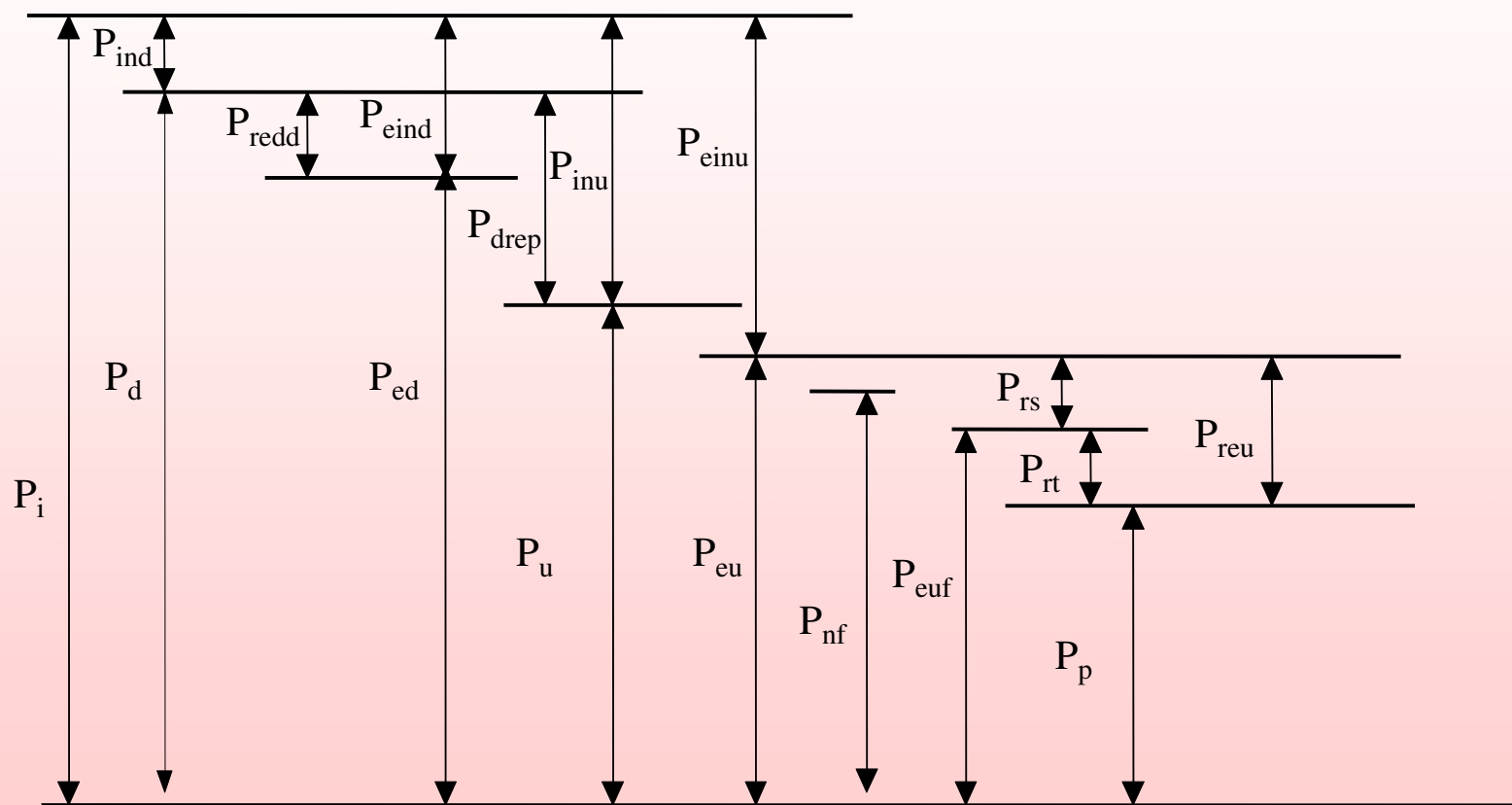


**Fig.2.1.**Sistemul electroenergetic.

## **2.1.2. Producerea, transportul și distribuția energiei electrice**

1. Centralele electrice transformă energia primară (cărbune, petrol, gaz, nucleară, hidroelectrică) în energie electrică. Tensiunea la bornele generatoarelor este cuprinsă între 6-25 kV;
2. În STEV tensiunea este ridicată la 220-750 kV;
3. Liniile de transport în FIT asigură transportul energiei electrice de la centrale la marii consumatori (de exemplu mari aglomerări urbane);
4. Substațiile de transformare reduc tensiunea la 60 – 120 kV. Acestea servesc ca și noduri de interconectare pentru mai multe linii;
5. Liniile de repartiție în IT (60 kV-120 kV) realizează conexiunea cu stațiile de distribuție;
6. Liniile de distribuție în MT (6 -35 kV) asigură distribuția în zonele de consum (aerian sau subteran). Fiecare linie alimentează câteva posturi de transformare;
7. Posturile de transformare coboară nivelul tensiunii (10/0,4 kV) pentru alimentarea consumatorilor în joasă tensiune.

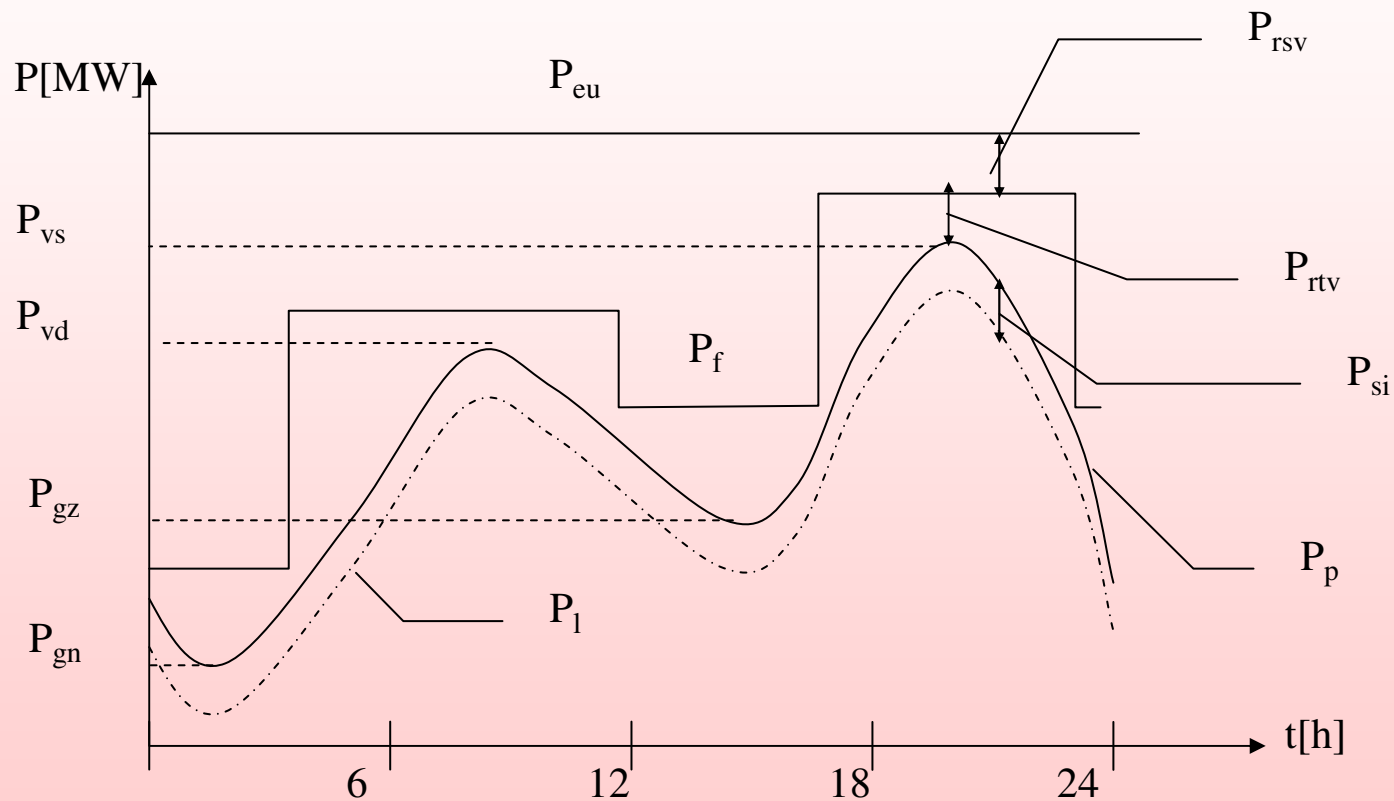
## 2.1.3. Noțiuni de putere



**Fig.2.2.** Puteri

- ✓  $P_i$  – puterea instalată, înscrisă în documentație;
- ✓  $P_d$  – puterea disponibilă, cea mai mare putere activă în regim de funcționare de durată;
- ✓  $P_{ind}$  – puterea indisponibilă ( $P_{ind}=P_i-P_d$ );
- ✓  $P_{ed}$  – puterea efectiv disponibilă, se iau în considerare și reduceri trecătoare de putere;
- ✓  $P_{redd}$  – reducerea trecătoare de putere disponibilă;
- ✓  $P_{eind}$  – puterea efectiv indisponibilă ( $P_{eind}=P_{ind}+P_{redd}$ );
- ✓  $P_u$  – puterea utilizată;
- ✓  $P_{drep}$  – puterea disponibilă în reparație ( $P_{drep}=P_d-P_u$ );
- ✓  $P_{inu}$  – puterea inutilizabilă ( $P_{inu}=P_i - P_u=P_{ind}+ P_{drep}$ );
- ✓  $P_{eu}$  – puterea efectiv utilizată, cea mai mare putere activă posibilă de dezvoltat de grupurile ce nu sunt în reparație;
- ✓  $P_{einu}$  – puterea efectiv inutilizabilă;
- ✓  $P_{nf}$  – puterea nominală în funcțiune;
- ✓  $P_{euf}$  – puterea efectiv utilizabilă în funcțiune;
- ✓  $P_p$  – puterea produsă momentan;
- ✓  $P_{rt}$  – puterea în rezervă turnantă ( $P_{rt}=P_{euf} - P_p$ );
- ✓  $P_{rs}$  – puterea în rezervă statică ( $P_{rs}=P_{eu} - P_{euf}$ );
- ✓  $P_{reu}$  – puterea în rezervă efectiv utilizabilă ( $P_{reu}=P_{eu} - P_p$ ).

## 2.1.4. Curbele de sarcină a centralelor electrice



**Fig. 2.3.** Curba de sarcină zilnică a unei centrale electrice

- ✓ Pgn – puterea la gol de noapte, cea mai mică putere produsă în cursul unei zile, apare de regulă între orele 4 și 5 dimineața;
- ✓ Pvd – puterea la vârful de dimineață, apare dimineața la funcționarea simultană a întreprinderilor, transportul în comun și a iluminatului de dimineață;
- ✓ Pgz – puterea la golul de zi, apare între orele 12 – 13 în perioada pauzei de masă din întreprinderi și când transportul este mai redus;
- ✓ Pvs – puterea la vârful de seară, cea mai mare putere produsă în cursul unei zile, apare între orele 18 și 21 și rezultă datorită iluminatului casnic și public;
- ✓ Pl – curba puterii livrate;
- ✓ Psi – puterea consumată de serviciile interne ale centralei;
- ✓ Pf – curba puterii în funcțiune;
- ✓ Prsv – puterea în rezervă statică la vârf;
- ✓ Prtv – puterea în rezervă turnantă la vârf.



## 2.1.5. Tipuri de centrale electrice

### *1. CENTRALE TERMoeLECTRICE*

- ✓ cu aburi
- ✓ cu turbine cu gaze
- ✓ centrale cu motoare Diesel
- ✓ centrale geotermoelectrice

### *2. CENTRALE NUCLEARO-ELECTRICE*

### *3. CENTRALE HIDROELECTRICE*

- ✓ centrale hidroelectrice cu căderi naturale
- ✓ centrale hidroelectrice cu acumulare și pompaj
- ✓ centrale mareo-electrice
- ✓ instalații electrice utilizând en. valurilor

***4. CENTRALE ELECTRICE EOLIENE***

***5. CENTRALE ELECTRICE SOLARE***

***6. INSTALAȚII CU HIDROGEN – PILE CU COMBUSTIBIL***

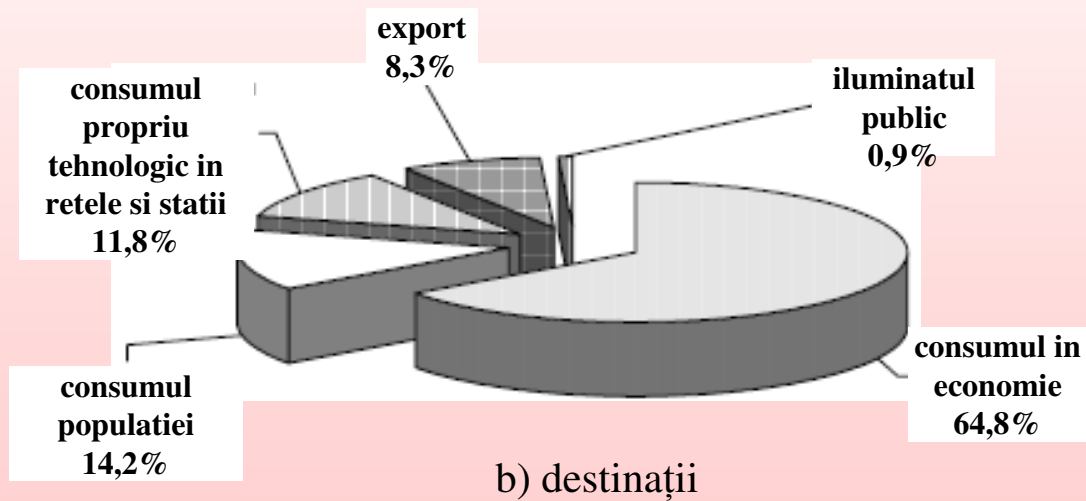
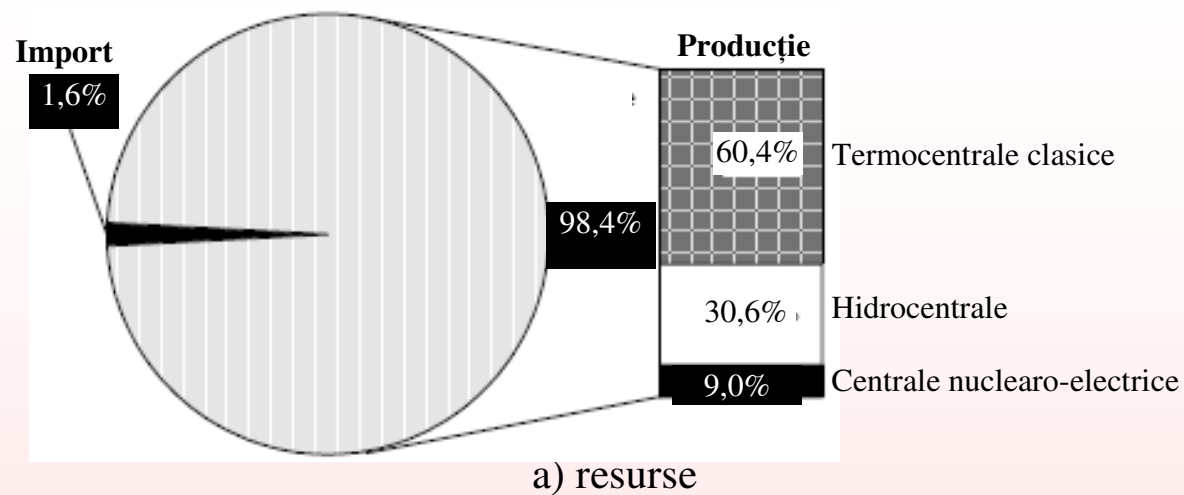
## 2.1.6. Energia electrică în România – resurse și destinații

**Resursele de energie electrică**, în perioada 1.I.-30.XI.2006, au fost de 57311,5 Twh, în creștere cu 1599,5 Twh (+ 2,9%) față de anul 2005. Producția de energie electrică a crescut cu 2831,6 Twh (+5,3%), în timp ce importul s-a diminuat cu 1232,1 Twh (- 56,6%).

Cea mai mare parte din **producția de energie electrică** continuă să se obțină în termocentrale (60,4% din total producție), urmată de hidrocentrale (30,6%).

**Consumul final de energie electrică** în perioada 1.I.-30.XI.2006 a fost de 45807,2 Twh, cu 2,8% mai mare față de anul 2005, iluminatul public și consumul populației au înregistrat creșteri cu 7,5%, respectiv cu 6,5%.

**Exportul de energie electrică** a fost în creștere cu 5,5% față de perioada similară a anului trecut.



**Fig.2.4.** Energia electrică în perioada 1.I.-30.XI.2006 - Institutul Național de Statistică comunicat de presă nr. 7 /2007

## **2.2. Centrale termoelectrice**

### 2.2.1. Ciclul de funcționare

Aceste centrale convertesc energia chimică a combustibililor primari (lemn, cărbune, petrol gaze etc.) în energie electrică:

- ✓ prin arderea combustibililor se obține energie termică ;
- ✓ energia termică este transformă în energie mecanică în instalațiile cu abur (turbine cu abur) sau cu gaz (turbine cu gaz sau cu combustibil) ;
- ✓ energia mecanică rezultată este transformată în energie electrică cu ajutorul generatoarelor electrice.

## 2.2.2. Elemente de termodinamică

Principiile termodinamicii care stau la baza funcționării mașinilor termice sunt :

### ***A. Primul principiu, cunoscut ca și principiul conservării energiei***

Acest principiu afirmă că suma energiilor mecanice și termice, schimbate cu mediul exterior, de către un sistem în cadrul unui ciclu (evoluție închisă – figura 2.) este nulă :

$$W + Q = 0 \quad (2.1)$$

cu  $W$  energia schimbată de sistem cu mediul exterior, iar  $Q$  cantitatea de căldură schimbată cu exteriorul. Cele două mărimi sunt exprimate în aceleași unități de măsură.

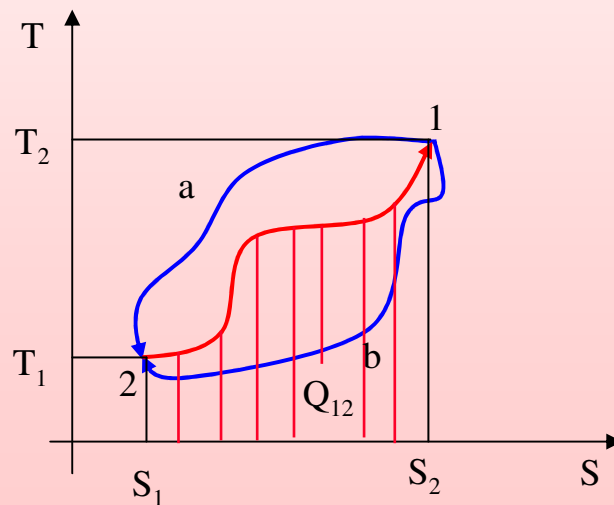
S-a considerat ca fiind pozitive cantitățile de energie primite din exterior, în timp ce sunt considerate negative cantitățile de energie cedate mediului exterior.

Dacă transformarea este o transformare deschisă, între stările 1 și 2, atunci relația (2.1) devine :

$$W_{12} + Q_{12} = \Delta U_{12} \quad (2.2)$$

Unde  $\Delta U_{12}$  reprezintă variația energiei interne  $U$  a sistemului. Aceasta este o mărime de stare (depinde numai de starea sistemului).

În mașinile termice, sistemul este constituit din fluidul prin intermediul căruia are loc schimbul de energie (abur sau gaz).



**Fig.2.5.** Cantitatea de căldură schimbată în cursul unei evoluții ciclice sau deschise



***B. Cel de al doilea principiu care se referă la sistemele în evoluție, respectiv la creerea entropiei***

Orice tip de energie poate fi scrisă ca fiind produsul a două mărimi, una intensivă (care nu depinde de mărimea sistemului) și una extensivă (care depinde de mărimea sistemului considerat), de exemplu :

✓ energia mecanică

$$dW = F \cdot ds, \text{ sau } dW = P dv \text{ (2.3),}$$

unde forța  $F$ , presiunea  $P$  sunt variabile intensive, iar deplasarea  $s$  sau viteza  $v$  sunt variabile extensive;

✓ energia electrică

$$dE_e = V \cdot dq \text{ (2.4)}$$

cu variabila intensivă  $V$  potențialul electric, iar  $q$  sarcina electrică ca și variabilă extensivă,

✓ respectiv energia termică

$$dQ = T \cdot dS \quad (2.5)$$

cu  $T$  temperatura, exprimată în K (variabilă intensivă) și entropia  $S$  (variabilă intensivă). Ca toate variabilele extensive ea nu depinde decât de starea sistemului. Pentru o evoluție ciclică variația entropiei este nulă. Totodată considerațiile experimentale au arătat că pentru a exista un schimb de căldură între două sisteme este necesară existența unei diferențe de temperatura, deci existența unui gradient al unei mărimi intensive. Transferul termic va avea loc întotdeauna de la corpul mai cald spre corpul mai rece. În acest caz dacă 1 este corpul cald, iar 2 este cel rece, conform ecuației (2.5) cantitatea de căldură schimbată este :

$$dQ = T_1 \cdot dS_1 = T_2 \cdot dS_2 \quad (2.6) \text{ și } T_2 < T_1, \text{ deci } dS_2 > dS_1.$$

Transferul ireversibil de căldură creează un flux de entropie cedat, respectiv primit de către fiecare corp.

### ***C. Randamentul unei mașini termice***

Se consideră evoluția unui sistem termodinamic între stările 1 și 2 (figura 2.6 – diagrama T-S). Suprafața cuprinsă între linia 1-2 și abscisă este proporțională cu cantitatea de căldură primită de sistem și este considerată pozitivă.

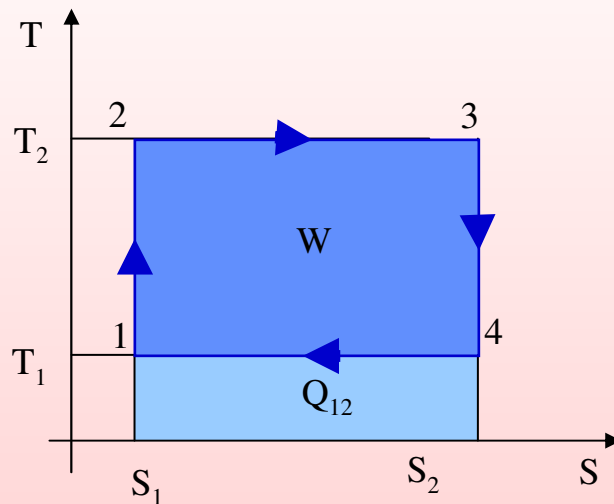
Pentru a ajunge în starea inițială sistemul poate evolua pe următoarele căi:

- ✓ pe ramura 2-a-1, caz în care cedează căldură (considerată negativă și mai mare în modul decât cea primită) și deci asupra sistemului se efectuează un lucru mecanic exterior;
- ✓ pe ramura 2-b-1, caz în care per total căldura schimbată este pozitivă și sistemul poate efectua un lucru mecanic, conform (2.1).

Se poate concluziona că funcționarea unei mașini termice se bazează pe schimbul de căldură cu exteriorul. Dacă se notează cu  $Q_1$  cantitatea de căldură primită de sistem (pozitivă),  $Q_2$  cantitatea de căldură cedată de sistem (negativă), atunci randamentul ciclului termic poate fi scris:

$$\eta = -\frac{W}{Q_1} = \frac{Q_1 + Q_2}{Q_1} = 1 + \frac{Q_2}{Q_1} \quad (2.7)$$

S-a demonstrat că cel mai mare randament îl poate obține un ciclu termic ideal, numit ciclul Carnot (figura 2.7 ), format din două izoterme și două izontrope :



**Fig.2.7.** Ciclul Carnot

$$\eta = 1 - \frac{T_1}{T_2} \quad (2.8)$$

## 2.2.3. Instalații cu abur

### 2.2.3.1. Ciclul termic al unei CTE cu abur

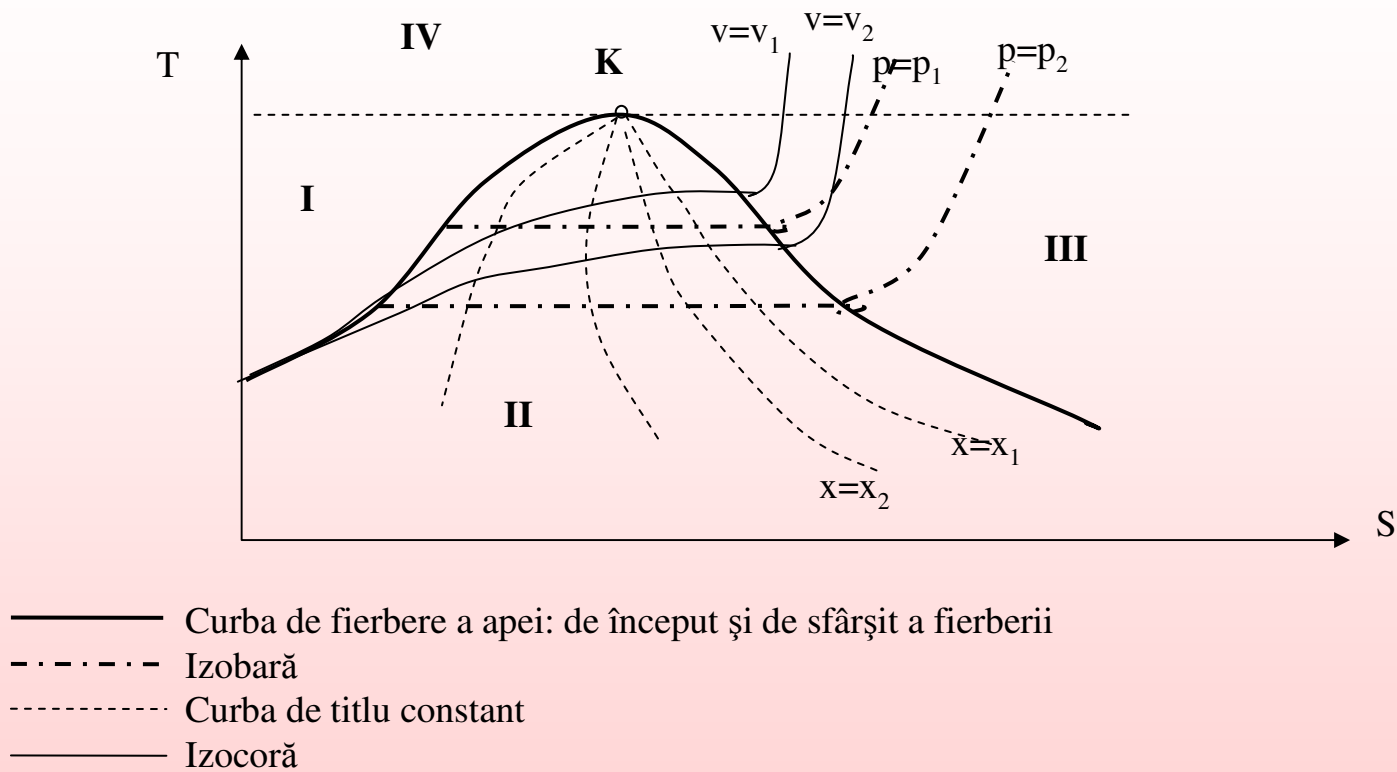
#### A. Procesul de fierbere al apei

Pentru transformările care au loc în circuitul termic al unei centrale prezintă interes procesul de fierbere a apei (figura 2.8).

Ramura din stânga punctului K a curbei de fierbere reprezintă curba de începere a fierberii apei sau curba lichidului, deoarece în stânga acestei curbe, în **zona I** se află lichid și se numește zona lichidului.

Ramura aflată în dreapta punctului K este curba de sfârșit a fierberii, sau curba vaporilor saturați, deoarece în dreapta acestei curbe se află **zona III** a vaporilor supraîncălziți.

Sub curba de fierbere se află **zona II** a vaporilor umezi în care conținutul de apă este precizat prin curbele de titlu constant ( $x = \text{const.}$ ).



**Fig. 2.8.** Diagramele transformării apei în abur - procesul de fierbere a apei.

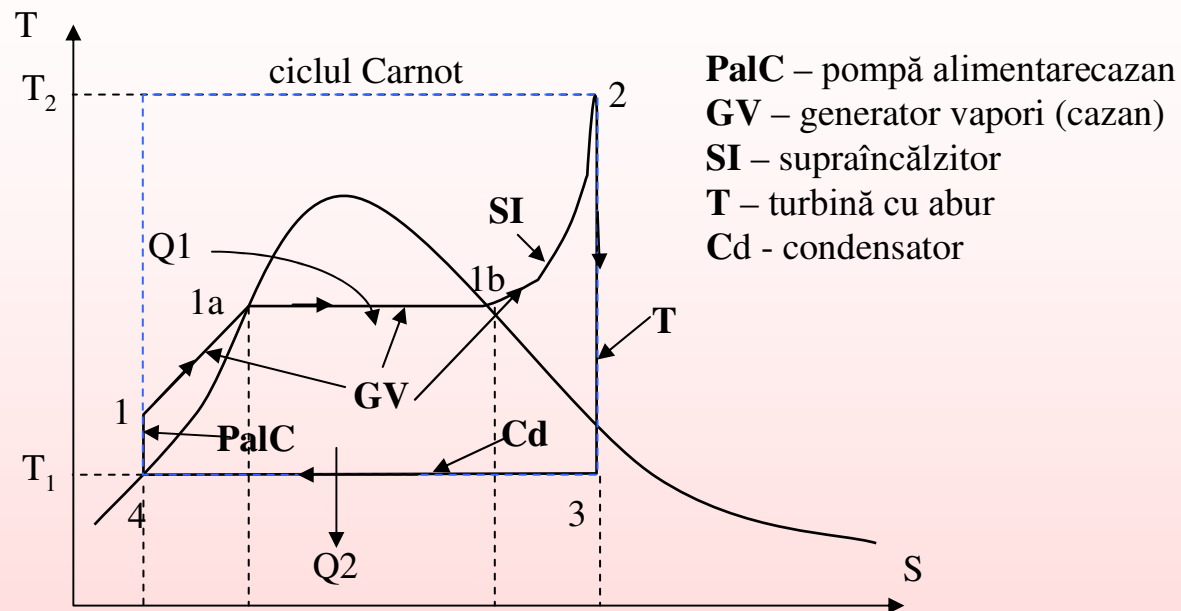
Punctul **K**, în care se unesc cele două curbe de fierbere se numește punct critic și el corespunde transformării directe din stare lichidă în stare de vapori uscați.

Linia orizontală care trece prin punctul critic **K** se numește izotermă critică și ea delimitează în partea superioară **zona IV**, zona vaporilor care nu pot fi lichefiați, cu un comportament asemănător gazelor perfecte.

### *B. Ciclul termic al unei CTE cu abur – Hyrn-Rankine*

Funcționarea unei centrale termoelectrice are la bază Principiul al doilea al termodinamicii, conform căruia o mașină termică ciclică poate produce lucru mecanic numai dacă este în contact cu doua surse de căldură: una caldă și una rece.

Amestecul apă-abur folosit ca fluid de lucru în centralele termoelectrice are trăsăturile legate de forma curbei de fierbere (figura 2.8) iar forma ciclului se modifică, devenind cea din figura 2.9, 1-1a-1b-2-3-4.



**Fig.2.9.** Transformarea închisă cu abur supraîncălzit – **ciclul Hyrn-Rankine**



În acest ciclu temperatura apei în punctul **4** este aproximativ  $70^{\circ}\text{C}$ . La o presiune de 10 bar fierberea începe la circa  $170^{\circ}\text{C}$  și momentul corespunde punctului **1a**.

Pe porțiunea **1a-1b** apa se transformă abur la temperatură constantă (căldura latentă de vaporizare).

Pe porțiunea **4-1a-1b**, fluidul a primit căldură de la sursa caldă, iar în **1b** este transformat în întregime în vapori.

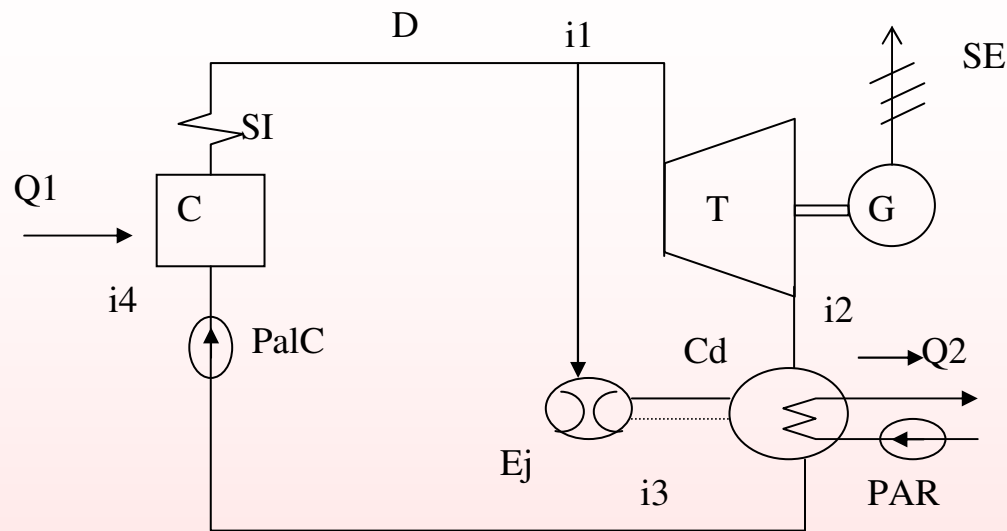
Dacă în acest punct ar începe destinderea aburului în turbină (o izotropă), destindere prin care energia termică este transformată în energie mecanică, transmisă la arborele turbinei care antrenează generatorul, există pericolul apariției fenomenului de **cavitație**. Fenomenul de cavitație apare datorită conținutului mare de apă din turbină (lichid + vapori), iar la viteza de rotație a turbinei de 3000 rot/min produce distrugerea paletelor acestea.

Pentru a elimina acest inconvenient trebuie să se deformeze ciclul, forțându-se punctul **1b** să ajungă în zone cu abur mai puțin umed. Acest lucru se realizează în **ciclul cu supraîncălzire 1-1a-1b-2-3-4**, obținându-se implicit și o creștere a gradului de utilizare a energiei, deci o creștere de randament. Pe porțiunea **1b-2** aburul saturat este supraîncălzit, ajungându-se în zona gazelor perfecte.

Întreaga transformare **1-2-3-4** se petrece pe o izobară suprapusă peste o izotermă în zona **1a-1b**.

#### **2.2.3.2. Circuitul termic al unei CTE**

Un ciclu termic real de tipul Hyrn-Rankine, prezentat în figura 2.9, va fi realizat într-o centrală termoelectrică care are **circuitul termic** prezentat în figura 2.10



**Fig.2.10.** Circuitul termic al unei CTE.

Elementele principale ale circuitului termic al centralei termoelectrice sunt:

- 1. generatorul de vapori sau cazanul C** - este elementul component în circuitul căruia fluidul se menține la o presiune ridicată și primește o cantitate de căldură **Q1** rezultată prin arderea în focar a combustibililor solizi, lichizi sau gazoși. Apa, în cazan se vaporizează, trecând în stadiul de vapori saturați, care apoi sunt supraîncălziți în supraîncălzitorul **SI**. Aburul supraîncălzit ajunge prin conducta **D** la turbină;
- 2. turbina T** - aburul se destinde de la o presiune ridicată la o presiune scăzută.

Această destindere este favorizată de presiunea scăzută din condensatorul **Cd**. În condensator, aburul se condensează sub acțiunea vidului și a temperaturilor scăzute. Vidul se realizează cu ajutorul **ejectorului Ej** care funcționează cu abur viu preluat din conducta caldă **D** dinainte de intrarea în turbină.

Răcirea aburului în vederea condensării se face cu apă de răcire, care este adusă în condensator cu pompa de apă de răcire **PAR**. Această **apă de răcire** reprezintă **sursa rece** a circuitului termic, cea prin care se extrage căldura **Q2**.

Condensatul este preluat de **pompa de alimentare a cazanului PalC** și reintrodus în cazan.

Această pompă are un rol esențial în funcționarea cazanului deoarece întreruperea funcționării ei duce la distrugerea cazanului, ale cărui țevi fierbătoare nemaifiind spălate în interior cu fluid se topesc la temperatura înaltă din focar. Din acest motiv aceste pompe vor avea o rezervare de 100% în capacitate.

Există trei modalități de antrenare a acesteia și anume: cu motor electric, cu turbină cu abur și de la axul turbinei principale.

Deoarece modificarea puterii furnizate de generator se realizează prin modificarea debitului de abur, pompele de alimentare trebuie să asigure alimentarea cazanului în regim variabil. Aceasta se realizează prin modificarea turației, rezultat obținut prin modificarea debitului de abur la turbopompe sau cu ajutorul unor cuple hidraulice sau variatoare de turație la electropompe. Presiunea aburului de la turbopompe se înscrie de regulă în domeniul 8-15 bar.

#### ***2.2.3.3. Randamentul circuitului termic***

Se exprimă în funcție de randamentele instalațiilor componente prin relația:

$$\eta_{general} = \eta_c \cdot \eta_{cd} \cdot \eta_t \cdot \eta_{td} \cdot \eta_m \cdot \eta_g \cdot \eta_{tr} \cdot \frac{100}{100 + C_{si} \%} \quad (2.9)$$

cu următoarele notații:

$\eta_c$  – randamentul cazanului (75 – 90%);  
 $\eta_{cd}$  – randamentul conductelor (98 – 99%);  
 $\eta_t$  – randamentul ciclului termic (sub 50% - teoretic);  
 $\eta_{td}$  – randamentul termodinamic al turbinei (70 – 90%);  
 $\eta_m$  – randamentul mecanic al turbinei (98 – 99%);  
 $\eta_g$  – randamentul generatorului (94 – 98%);  
 $\eta_{tr}$  – randamentul transformatorului (98 – 99%);  
 $C_{si}$  – consumul serviciilor interne (12 – 15%).

și rezultă pentru randamentul general al centralei termoelectrice valori cuprinse între 25 și 30 %. Perfecționarea instalațiilor și a schemelor termice, precum și mărirea puterii agregatelor au permis să se construiască termocentrale cu randamente apropiate de 40%.

#### ***2.2.3.4. Creșterea randamentului CTE***

În descrierea anterioară a procesului s-a presupus că destinderea aburului în turbină este ideală, adiabată, fără cedare de căldură în exterior. În realitate și turbina se încălzește și cedează o anumită cantitate de căldură mediului, deci nu toată cantitatea de căldură  $Q1-Q2$  se va transforma în lucru mecanic.

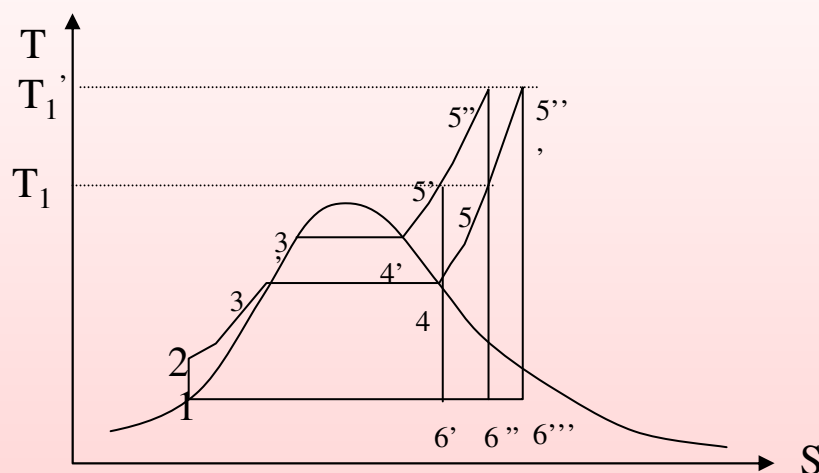
În condițiile menționate mai sus numai produsul randamentului termic și a celui termodinamic al turbinei coboară randamentul global la valori de 0,2 – 0,5, ceea ce impune în mod obligatoriu adoptarea unor măsuri de îmbunătățire a randamentului ciclului termic.

Metodele de îmbunătățire acționează fie pentru creșterea lui  $Q1$  (ridicarea parametrilor inițiali ai aburului, supraîncălzirea intermediară, utilizarea ciclurilor suprapuse ș.a.), fie pentru micșorarea lui  $Q2$  (micșorarea parametrilor finali ai aburului în condensator, preîncălzirea regenerativă a apei de alimentare, termoficarea).

Se poate spune că orice metodă de îmbunătățire a randamentului urmărește creșterea suprafeței ciclului termic.

### *A. Ridicarea parametrilor inițiali ai aburului*

#### *A1. Creșterea presiunii inițiale a ciclului (figura 2.11)*



**Fig.2.11.** Modificarea ciclului Rankine la variația parametrilor inițiali ai aburului

Creșterea presiunii inițiale a aburului are și unele efecte negative:

- ✓ crește consumul de putere pentru antrenarea pompei de alimentare a cazanului și astfel se mai diminuează din creșterea de randament;
- ✓ crește costul instalațiilor cazanului precum și a conductelor de înaltă presiune.



### *A.2. Creșterea temperaturii inițiale (figura 2.11)*

Creșterea temperaturilor peste 540°C implică utilizarea de oțeluri refractare puternic aliate, iar la temperaturi peste 570°C oțeluri austenitice. Aceste soluții sunt de evitat deoarece sunt foarte scumpe și nu justifică economic creșterea de randament obținută.

### *A.3. Creșterea simultană a presiunii și temperaturii inițiale (figura 2.11)*

Și la noi în țară s-au realizat în ultimul timp termocentrale cu presiuni de 196 bar și temperaturi de 540°C.

Creșterea temperaturii urmărește practic valorile cerute de creșterea presiunii până la presiunea de 138 bar, când atinge limita superioară folosită în mod rațional. La presiuni mai mari decât această valoare ar trebui crescută și temperatura, dar acest lucru nu este posibil din rațiuni economice, aburul rămâne prea umed și din acest motiv se impune utilizarea supraîncălzirii intermediare ca mijloc de reducere a umidității prea mari a aburului.

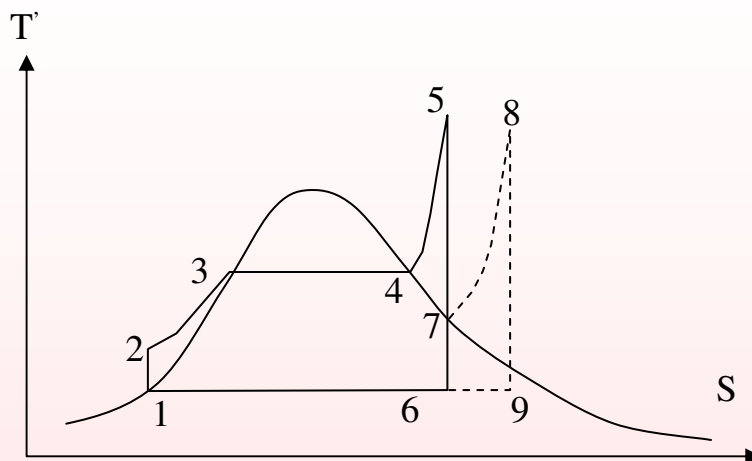
### *B. Supraîncălzirea intermediară*

Supraîncălzirea intermediară este o metodă de creștere a randamentului ciclului termic care realizează simultan și o uscare a aburului la ieșirea din turbină și deci reducerea eroziunii paletelor turbinei prin fenomenul de cavitație. Supraîncălzirea intermediară presupune realizarea turbinei cu abur din două corpuri, aburul destins parțial în corpul de înaltă presiune al turbinei este reîncălzit, destinzându-se în continuare în corpul de joasă presiune al turbinei (figura 2.12).

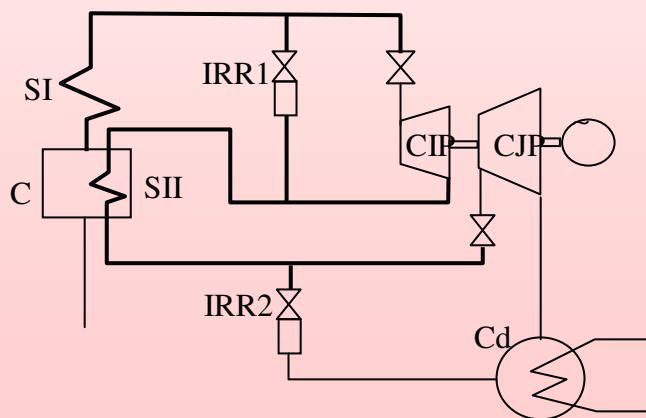
Supraîncălzirea intermediară devine o necesitate de îndată ce, păstrând temperatura la 540°C, presiunea depășește 125 bar.

Efectul supraîncălzirii intermediare asupra randamentului este diminuat de pierderile suplimentare de căldură și presiune pe conductele de legătură dintre supraîncălzitorul intermediar care se află în cazan și cele două corpuri ale turbinei cu abur. Din acest motiv nu se justifică economic utilizarea de cicluri termice cu mai multe supraîncălziri intermediare.

Schema cea mai uzuală la care ne-am referit când am prezentat principiul supraîncălzirii intermediare este cea cu supraîncălzitorul intermediar dispus în cazan, după supraîncălzitorul obișnuit (figura 2.13).



**Fig.2.12.** Diagrama T-S pentru ciclul termic cu supraîncălzire intermediară:  
*1-2 pomparea apei în cazan; 2-3 încălzirea apei; 3-4 vaporizarea; 4-5 supraîncălzirea; 5-7 destinderea în corpul de înaltă presiune; 7-8 supraîncălzirea intermediară; 8-9 destinderea finală în corpul de joasă presiune al turbinei; 9-1 condensarea aburului.*



**Fig.2.13.** Schema supraîncălzirii intermediare directe:  
*C – cazanul; SI – supraîncălzitorul; SII – supraîncălzitorul intermediar; CIP – corpul de înaltă presiune al turbinei; CJP – corpul de joasă presiune al turbinei; Cd – condensatorul; IRR1 – instalație de reducere răcire de înaltă presiune; IRR2 – instalație de reducere răcire de joasă presiune.*

### *C. Utilizarea ciclurilor suprapuse*

Această metodă se utilizează pentru extinderea și modernizarea centralelor vechi, cu parametrii scăzuți ai aburului viu. Se are în vedere înlocuirea cazanului cu unul de înaltă presiune, cel vechi putând fi păstrat în funcțiune pentru alte scopuri:

- ✓ ca unități de rezervă în cazul unor avarii sau revizii la cazanul nou;
- ✓ pentru a produce abur de joasă presiune pentru pornirea cazanului de înaltă presiune;
- ✓ prepararea apei de adaos prin vaporizare.

Cazanul de înaltă presiune va avea debitul de abur egal cu cel al cazanului vechi, numai de parametrii (presiune și temperatură) mai ridicați. Pentru a putea refolosi vechile turbine, condensatorul și instalația de răcire se prevede o turbină înaintașă cu contrapresiune și parametrii ridicați, care are la ieșire o presiune cu ceva mai mare decât a vechiului ciclu.

### *D. Utilizarea ciclurilor binare*

Ciclurile binare folosesc două fluide de lucru, dintre care unul funcționează în domeniul temperaturilor înalte, iar al doilea în domeniul temperaturilor

coborâte, vaporizându-se prin condensarea primului.

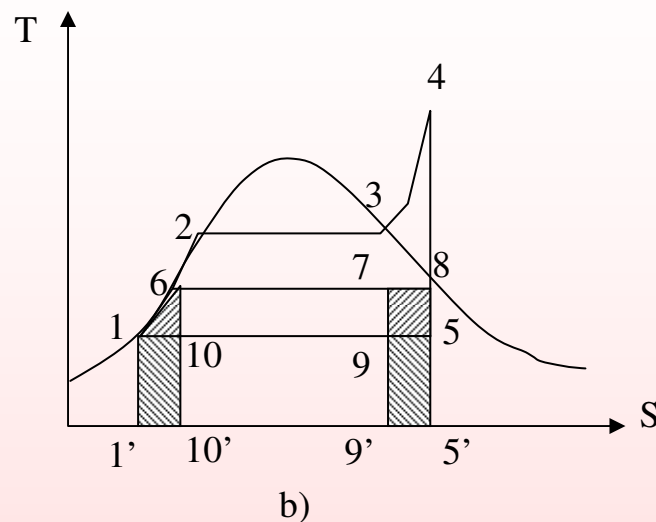
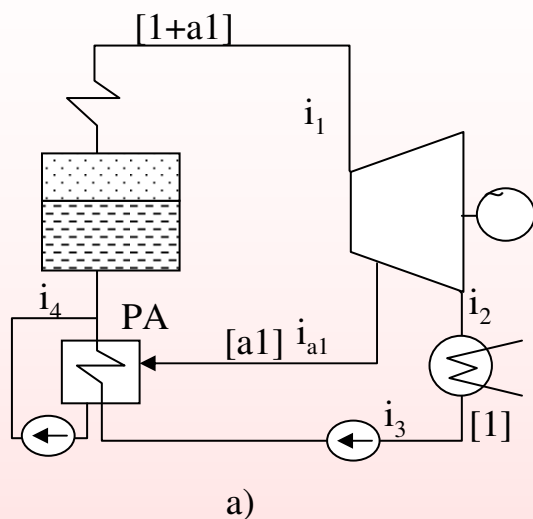
Pentru a realiza un ciclu binar suprapus trebuie căutat un fluid care să îndeplinească următoarele condiții:

- ✓ să aibă căldură specifică și căldură de vaporizare ridicată;
- ✓ presiunea de saturație să fie cât mai diferită de presiunea de saturație a apei;
- ✓ să aibă stabilitate chimică și termică;
- ✓ să nu fie inflamabil și toxic;
- ✓ să fie ieftin.

Tehnica a selectat în acest scop următoarele fluide: mercurul, amoniacul, freonul și unele lichide organice precum difenilul.

#### *E. Preîncălzirea apei de alimentare (figura 2.14)*

Preîncălzirea regenerativă a apei de alimentare a cazanului unei centrale termoelectrice cu abur constituie unul dintre cele mai importante procedee de creștere a randamentului termic. Ea constă în ridicarea temperaturii apei pe parcursul de la condensator la cazan utilizând abur prelevat din turbină.



**Fig.2.14.** Circuit termic pentru CTE cu o treaptă de preîncălzire regenerativă a apei de alimentare:  
a) schema circuitului termic; b) diagrama T-S; PA – preîncălzitor de apă.

Prin acest procedeu se întrerupe destinderea unor fracțiuni din debitul total de abur care circulă prin turbină, fracțiuni care se extrag în anumite puncte (prize de abur) și care cedează căldura lor apei de alimentare în schimbătoare de căldură de amestec sau de suprafață formând așa numitul circuit regenerativ.

Creșterea maximă de randament obținută prin utilizarea preîncălzirii regenerative a apei de alimentare este de 10-12%.

*F. Îmbunătățirea randamentului termic prin utilizarea termoficării.  
Centrale termoelectrice cu cogenerare*

Principiul **cogenerării** consistă în producerea, plecând de la un combustibil ca și sursă de energie primară, a două forme de energie secundară, și anume energie mecanică sau electrică și energie termică.

Realizarea circuitului termic al unei CTE implică prezența a două surse de căldură, una caldă care cedează căldura  $Q_1$ , și alta rece căreia fluidul îi dă căldura  $Q_2$ , pierdută de fapt. În lucru mecanic util se transformă numai diferența  $Q_1 - Q_2$ , care este mai mică de 50% din  $Q_1$ .

Termoficarea pleacă de la ideea utilizării căldurii  $Q_2$  în procese de încălzire industriale sau urbană. O astfel de centrală electrică cu termoficare (CET) produce combinat energie electrică și căldură. Teoretic, în acest fel randamentul ciclului termic poate ajunge la 100%. Practic, la utilizarea termoficării pot apare unele probleme, așa încât decizia luării unei astfel de soluții pentru îmbunătățirea randamentului ciclului termic trebuie luată în

urma unui calcul tehnico-economic, deoarece ea implică cheltuieli de investiții suplimentare.

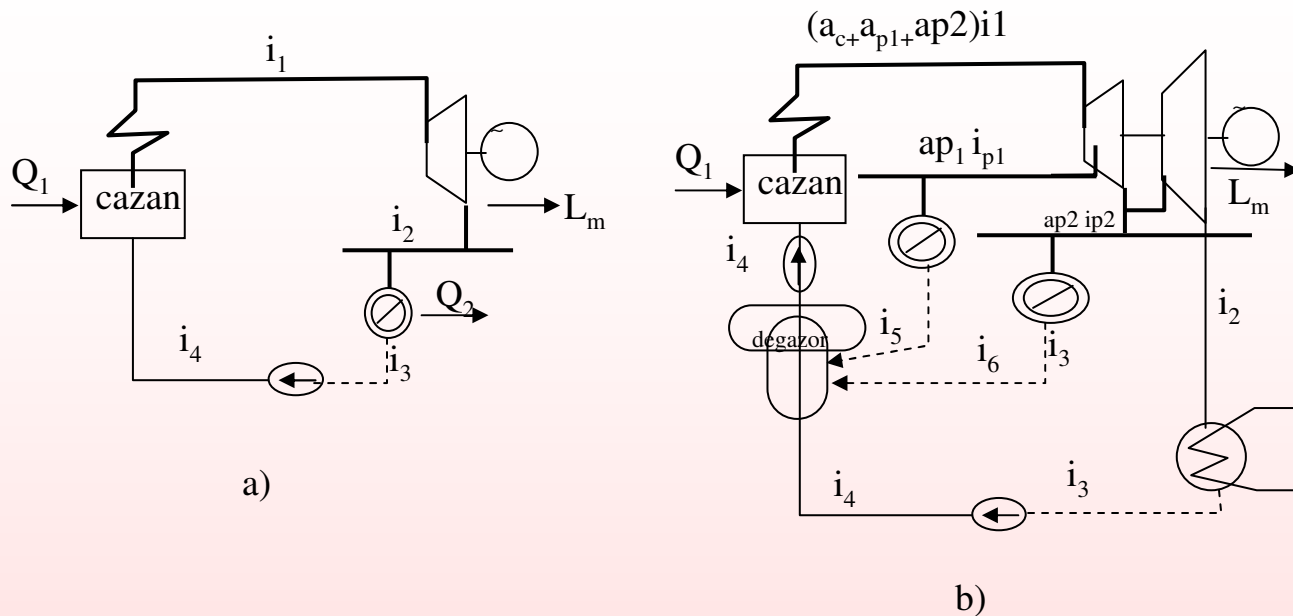
Este evident că termoficarea poate fi privită ca o metodă de ameliorare a randamentului ciclului termic care vizează reducerea lui  $Q_2$ . O astfel de măsură era și preîncălzirea regenerativă a apei de alimentare, care poate fi privită ca o termoficare internă a centralei.

Avantajele termoficării sunt următoarele:

- ✓ însemnate economii de combustibil (aproximativ 100kg la o Gcal livrată), în raport cu producerea separată a căldurii;
- ✓ contribuie la reducerea poluării atmosferei deoarece gazele de ardere sunt evacuate prin coșuri unice înalte, în loc de numeroase coșuri urbane și industriale joase;
- ✓ descongestionarea zonelor urbane prin amplasarea CET în afara orașelor.

O problemă importantă a utilizării termoficării este legată de faptul că pe parcursul unei zile curbele de sarcină termică și electrică, în general, nu coincid. O coincidență mai bună se observă la consumatorii industriali de





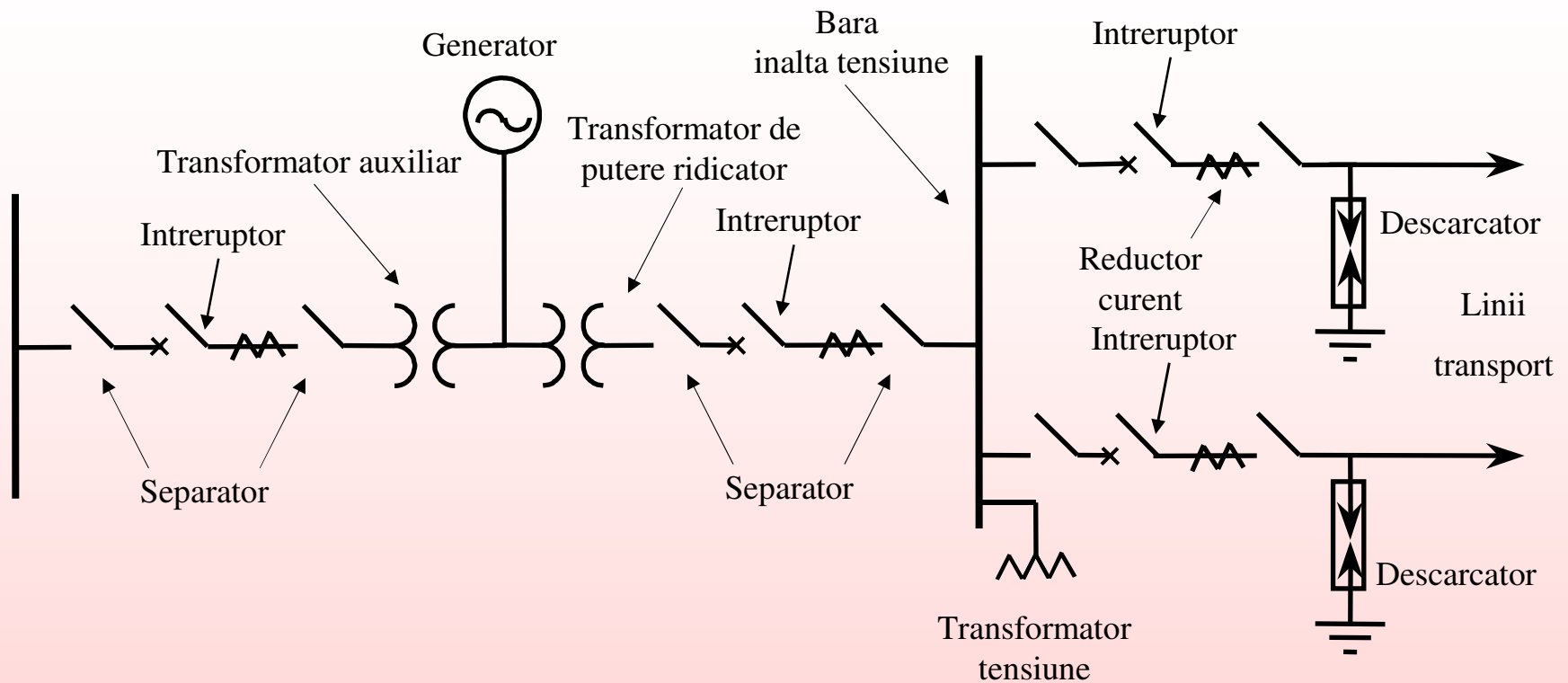
**Fig.2.15.** Schema de principiu al circuitului termic la CET (centrale electrice cu termoficare):

*a) turbină cu contrapresiune; b) turbină cu condensare și prize reglabile.*

energie termică. Cu cât cererile de energie electrică și termică sunt mai constante și cu cât simultaneitatea lor este mai bună, cu atât este mai recomandabilă introducerea termoficării. Livrarea căldurii la consumator se poate face cu ajutorul turbinelor cu contrapresiune sau a turbinelor cu condensare - figura 2.15 a) și prize reglabile de abur – figura 2.15 b):

✓ varianta a) aburul se destinde în turbină până la o entalpie  $i_2$  situată încă în zona aburului supraîncălzit și ieșind din turbină este trimis la consumatorul de căldură. Condensatul se întoarce apoi în circuitul termic. Turbina nu are condensator și este numită turbină cu contrapresiune.

✓ varianta b) soluția termoficării este realizată cu o turbină cu condensatie și prize reglabile, spre deosebire de prizele de la circuitul regenerativ care erau fixe. Circuitul prezentat are două prize reglabile, una pentru consumatori industriali de căldură cu abur de 5-15 bar și peste 200°C temperatură și alta de termoficare urbană la presiunea de 0,5–2,5 bar și temperaturi în jur de 100°C.



**Fig.2.16. Schema electrica de principiu a unei termocentrale.**

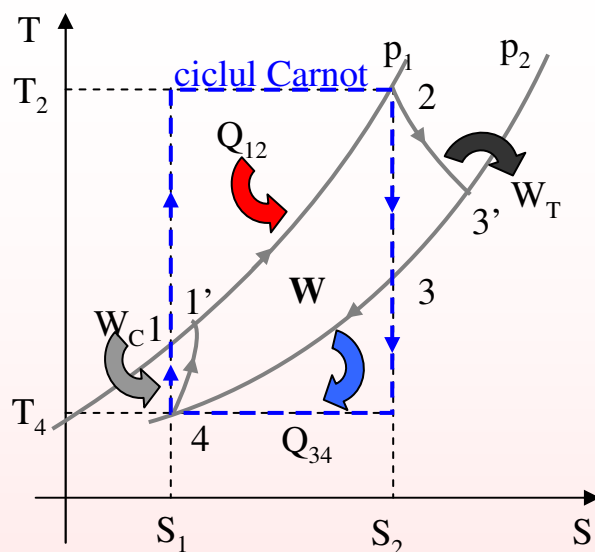
## 2.2.4. Instalații cu gaz

Ciclul termic de bază al unei turbine cu gaz (figura 2.17) constă în două ramuri izobare 1-2 și 1-3 ( $p_1=p_2$  și  $p_3=p_4$ ) și două izontrope în cursul cărora are o compresie 4-1 și o destindere 2-3.

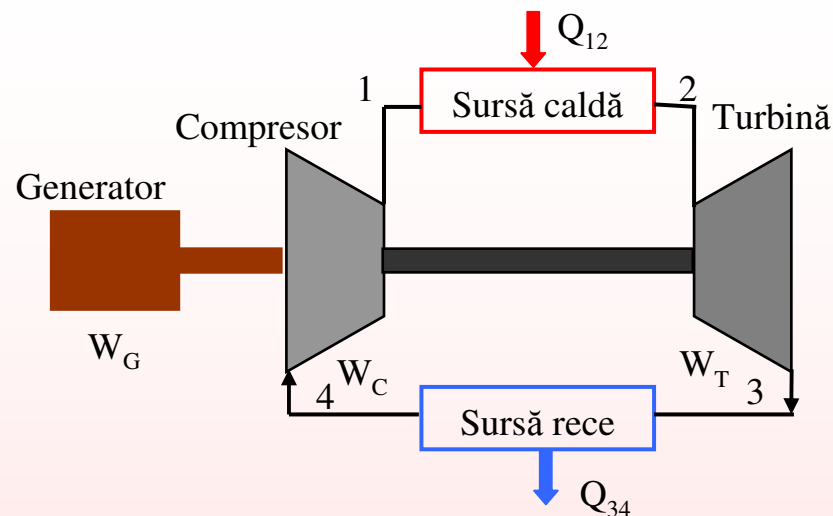
Pentru încălzirea fluidului pe porțiunea 1-2 ( $Q_{12}$ ), trebuie să existe o sursă de căldură a cărei temperatură atinge valoarea  $T_2$ . Pentru răcirea fluidului ( $Q_{34}$ ), este necesară existența unei surse reci cu temperatura  $T_4$ .

Ciclul descris se numește ciclu Joule, care în comparație cu un ciclu Carnot asociat, are randamentul net inferior.

Schema de principiu a instalației cu gaz corespunzătoare este prezentată în figura 2.18. Putem distinge două schimbătoare de căldură la presiune constantă, compresia care necesită o energie  $W_C$ , și destinderea în turbină care furnizează energia  $W_T$  necesară antrenării compresorului și generatorului electric. În general 75% din puterea turbinei este utilizată de

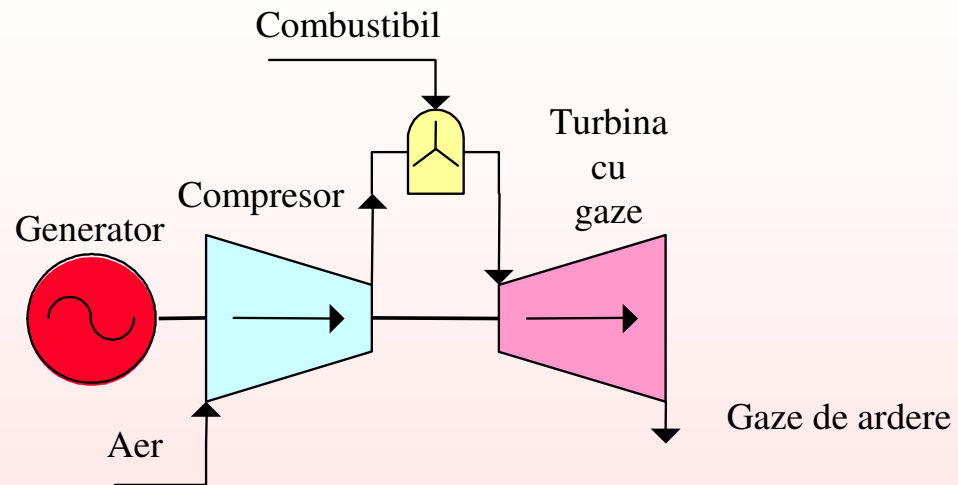


**Fig.2.17.** Ciclul Joule și ciclul Carnot asociat



**Fig.2.18.** Schema de principiu a unei turbine cu gaz în circuit închis.

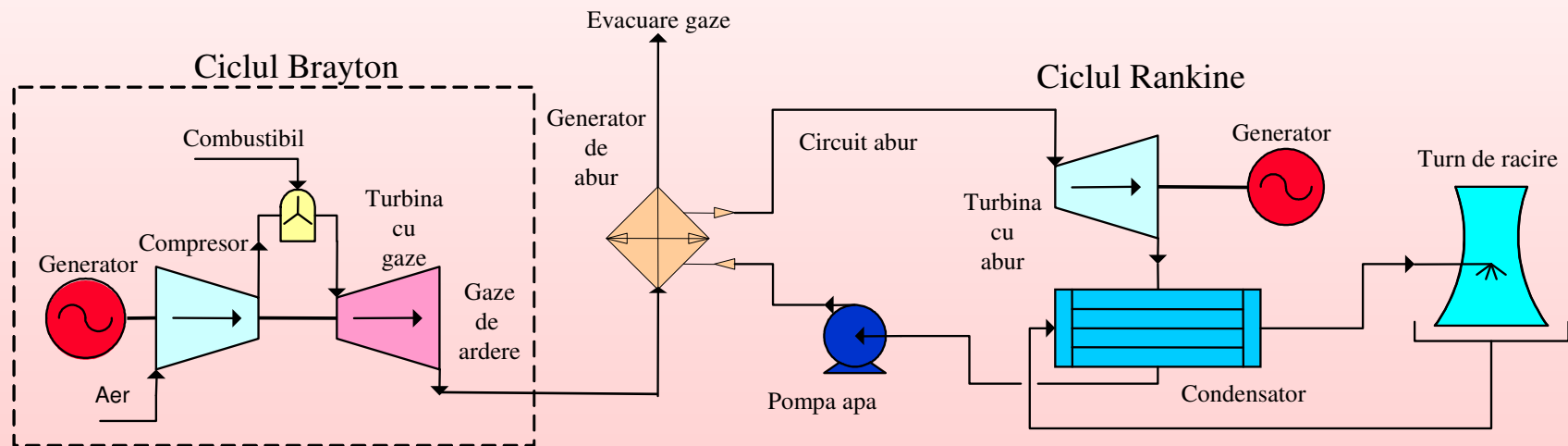
către compresor, iar restul de 25% este furnizată generatorului. Figura 2.19 prezintă o soluție utilizată des în practică în care căldura primită pe porțiunea 1-2 este obținută prin arderea combustibilului într-un focar. Răcirea are loc direct în mediul ambiant. În instalațiile de mare putere se utilizează compresoare și turbine de tip axial. Randamentul unor astfel de turbine cu gaz se poate ameliora prin preîncălzirea aerului la ieșirea din compresor, de către gazele eșapate din turbină care astfel se răcesc.



**Fig.2.19.** Schema de principiu a unei turbine cu gaz în circuit deschis.

## 2.2.4. Instalații cu ciclu combinat (figura 2.20)

- ✓ centrala conține o turbină cu abur și una cu gaz;
- ✓ gazele de evacuare (temperatură ridicată) ale turbinei cu gaz alimentează un generator de aburi care asigură aburul necesar pentru turbina cu abur;
- ✓ ciclul combinat conduce la creșterea eficienței (randamentului) globale.



**Fig.2.20.** Centrală cu cicluri combinate.