

Capitolul 11

TURBINE CU GAZE ȘI VAPORI

Turbinele cu gaze sunt utilizate în aviație, în marină, în transportul feroviar și parțial la centralele termice de mare putere. Randamentul lor este ridicat, realizează puteri mari și au dimensiuni relativ scăzute. Turbinele cu gaze sunt de două tipuri: cu ardere la presiune constantă și cu ardere la volum constant.

Turbinele cu gaze cu ardere izobară au camera de ardere astfel realizată încât procesul de ardere are loc la presiune constantă. Compresorul, pompa de combustibil, turbina și generatorul electric sunt montate pe același arbore.

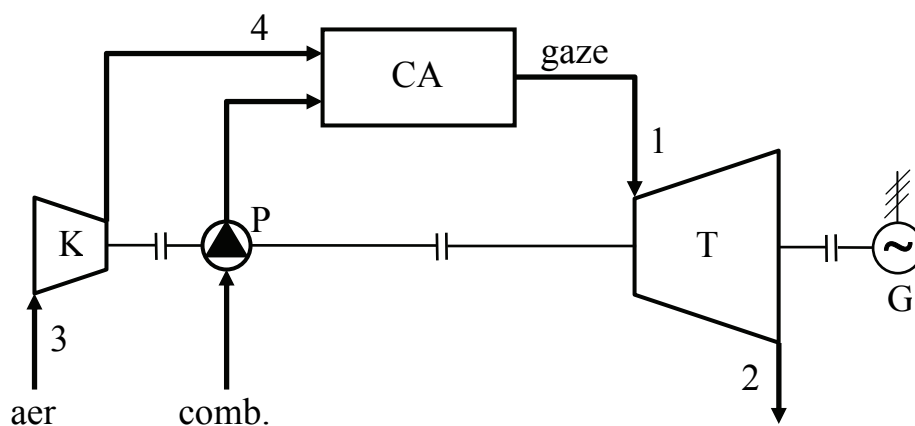


Fig. 11.1: Turbina cu gaze cu ardere izobară

Gazele produse în camera de ardere sunt destinate în turbină iar evacuarea lor în atmosferă se consideră convențional echivalentă cu cedarea izobară a căldurii către sursa rece.

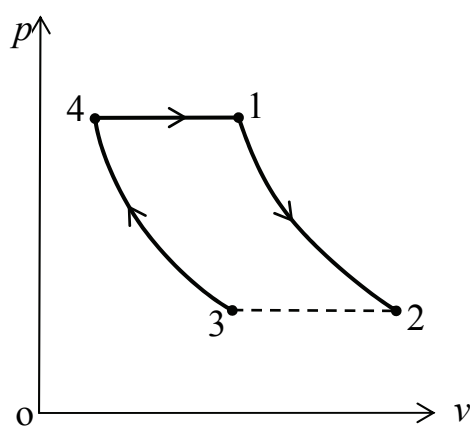


Fig. 11.2: Reprezentarea ciclului în diagrama $p-v$

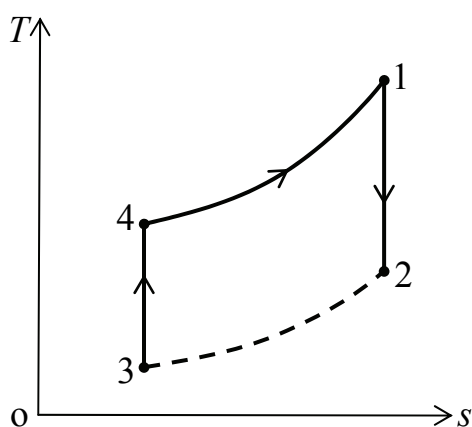


Fig. 11.3: Reprezentarea ciclului în diagrama $T-s$

Randamentul termic al ciclului turbinei cu gaze cu ardere izobară este raportul dintre lucrul mecanic pe ciclu și caldura degajată în procesul de ardere:

$$\eta_t = \frac{l_c}{q_{41}} = \frac{q_{41} - q_{23}}{q_{41}} \quad [-]$$

$$\eta_t = 1 - \frac{q_{23}}{q_{41}} = 1 - \frac{c_p(T_2 - T_3)}{c_p(T_1 - T_4)} \quad [-]$$

Randamentul termic poate fi îmbunătățit prin preîncălzirea aerului necesar arderii pe seama căldurii recuperate din gazele evacuate în atmosferă.

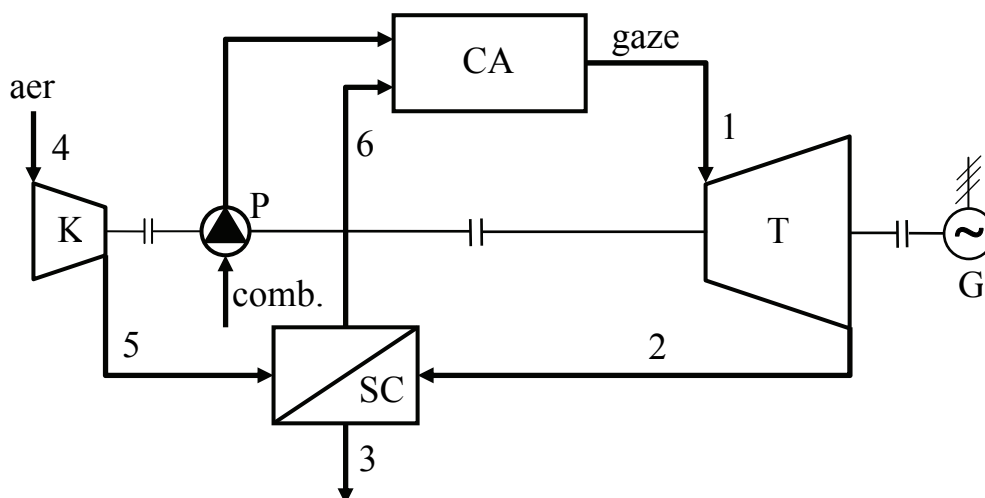


Fig. 11.4: *Turnina cu gaze cu ardere izobară cu regenerare*

Turbinele cu gaze cu ardere izocoră sau cu explozie, au o construcție mai complicată decât cele cu ardere izobară, camera de ardere fiind prevăzută cu supape și bujie electrică pentru aprinderea combustibilului.

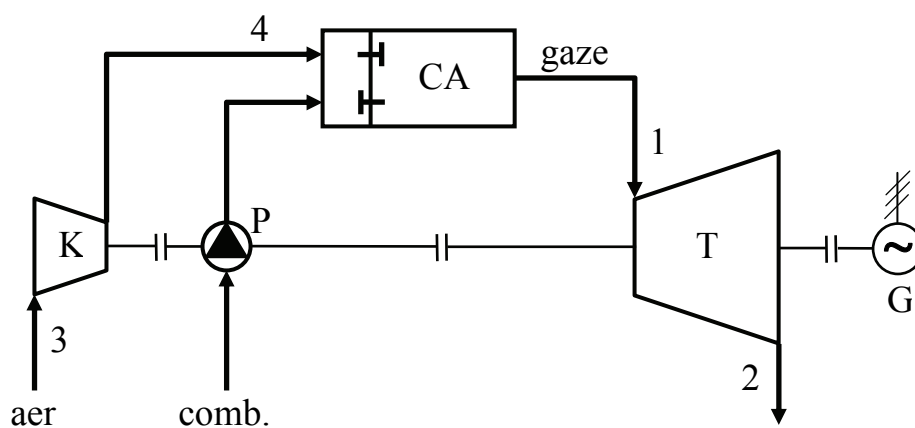


Fig. 11.5: *Turnina cu gaze cu ardere izocoră*

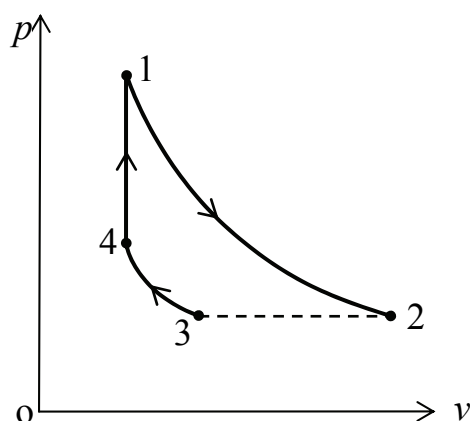


Fig. 11.6: Reprezentarea ciclului în diagrama $p-v$

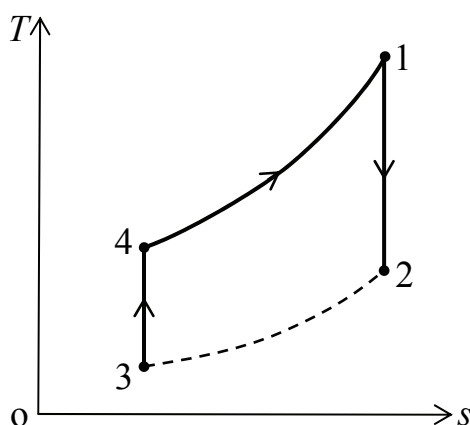


Fig. 11.7: Reprezentarea ciclului în diagrama $T-s$

Turbinele cu vapori sunt mașini termice care, în cele mai multe cazuri, utilizează aburul ca agent de lucru, deoarece are următoarele avantaje:

- răspândire mare în natură;
- preț de cost redus;
- capacitate calorică ridicată;
- dimensiuni reduse ale instalațiilor și conductelor;
- nu arde și nu întreține arderea.

Mașinile termice cu abur reprezintă instalații ciclice complexe în care aburul este produs în cazan (generator), lucrul mecanic tehnic se realizează în turbină, căldura se elimină în condensator iar apa este readusă la presiunea de lucru de o pompă sau, în cazul unei condensări incomplete, de un compresor.

Ciclul Carnot al instalațiilor de turbine cu abur poate fi realizat în zona vaporilor umezi și este compus din două izoterme și două adiabate reversibile.

Vaporii saturați uscați produși în generatorul de abur se destind adiabetic reversibil în turbină, după care sunt condensați parțial în condensator până la starea la care entropia specifică ajunge la valoarea lichidului saturat care este introdus în generator de un compresor.

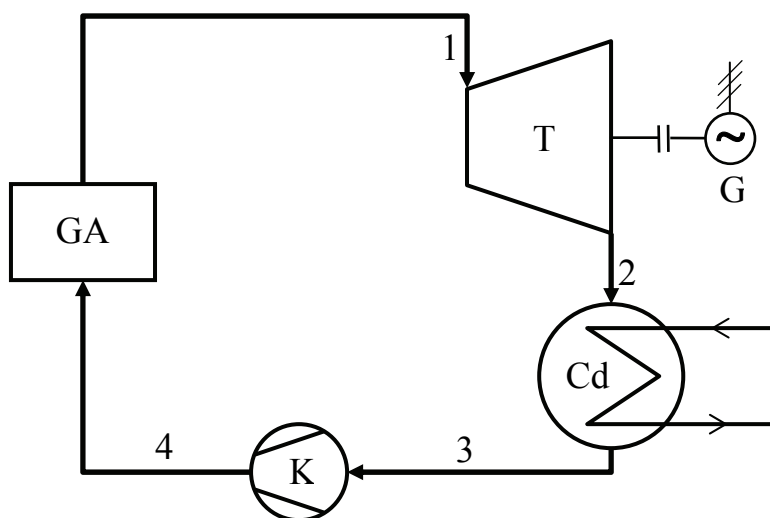


Fig. 11.8: Schema mașinii termice - ciclul Carnot

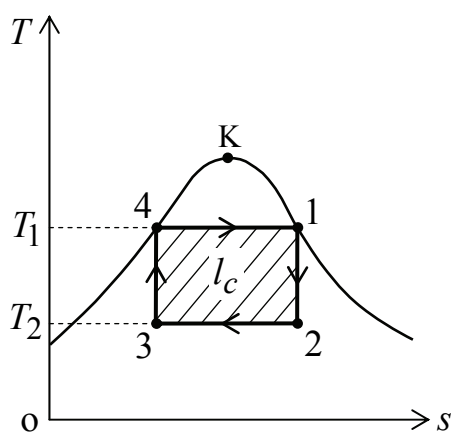


Fig. 11.9: Reprezentarea ciclului Carnot în diagrama T-s

Randamentul termic al ciclului Carnot este:

$$\eta_{tc} = \frac{l_c}{q_{cz}} = \frac{q_{41} - q_{23}}{q_{41}} = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1} \quad [-]$$

Randamentul termic al ciclului Carnot are valori scăzute datorită limitării temperaturii aburului la intrarea în turbină la valoarea de saturație. Supraîncălzirea aburului nu este posibilă la ciclul Carnot deoarece procesul este neizoterm.

Compresorul aspiră vaporii umezi pe care îi comprimă până la lichefiere, volumul specific al acestora reducându-se de sute sau mii de ori. Rezultă că lucrul mecanic consumat și dimensiunile compresorului sunt foarte mari și inacceptabile d.p.d.v. tehnic.

Ciclul Rankine elimină dezavantajele ciclului Carnot prin supraîncălzirea vaporilor de apă și condensarea completă a acestora până la starea de lichid saturat și înlocuirea compresorului cu o pompă având dimensiuni și consum de lucru mecanic mult mai reduse. Mașinile termice care funcționează după ciclul Rankine și au ca unic scop producerea de energie electrică se numesc Centrale Termo-Electrice (CTE).

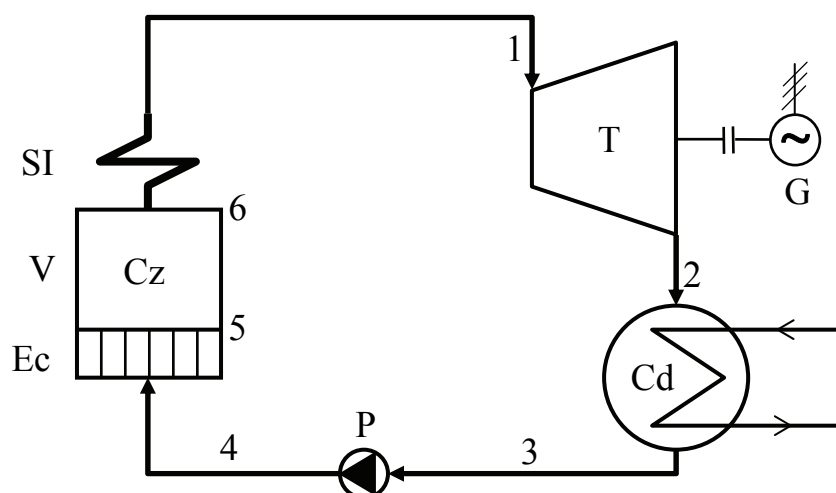


Fig. 11.10: Schema de funcționare a CTE

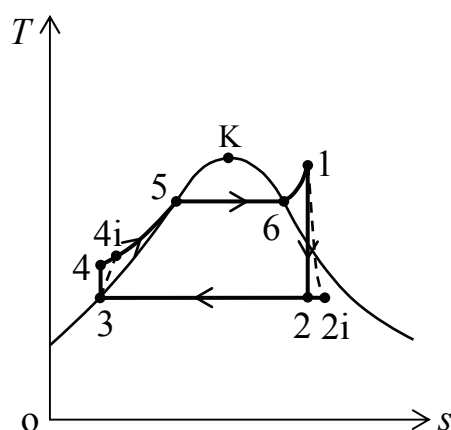


Fig. 11.11: Reprezentarea ciclului Rankine în diagrama $T-s$

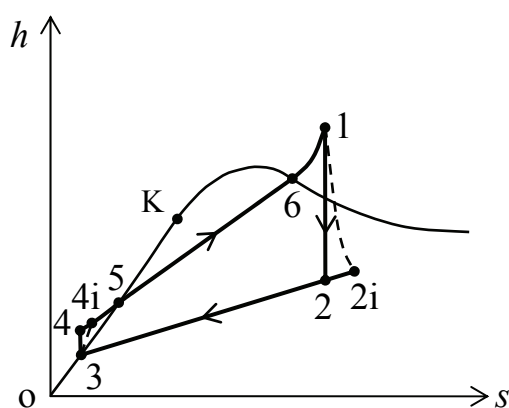


Fig. 11.12: Reprezentarea ciclului Rankine în diagrama $h-s$

Remarcă: Într-un ciclu Rankine, temperatura aburului la intrarea în turbină este mult mai mare decât cea din cazul ciclului Carnot.

Randamentul termic al ciclului Rankine este:

$$\eta_t = \frac{l_c}{q_{cz}} = \frac{l_{12} - l_{34}}{q_{41}} = \frac{(h_1 - h_2) - (h_4 - h_3)}{h_1 - h_4} \quad [-]$$

Observație: Deoarece lucrul mecanic de pompare este mult mai mic decât căldura necesară producerii vaporilor, randamentul termic poate fi scris sub următoarea formă:

$$\eta_t = \frac{l_{12}}{q_{41}} = \frac{h_1 - h_2}{h_1 - h_4} \quad [-]$$

Calculul termic al CTE se referă la determinarea debitelor de abur, de combustibil și de apă de răcire.

Debitul de abur generat în cazan și care se destinde în turbină, necesar producerii puterii utile a generatorului electric, se calculează cu următoarea relație:

$$D = \frac{P_u}{(h_1 - h_2) \eta_s \eta_m \eta_g} \quad [\text{kg/s}]$$

Debitul specific de abur reprezintă debitul de abur necesar producerii unei puteri utile a generatorului electric de 1 watt.

$$d = \frac{D}{P_u} = \frac{1}{(h_1 - h_2) \eta_s \eta_m \eta_g} \quad [\text{kg/J}]$$

Observație: Din punct de vedere dimensional, debitul specific de abur reprezintă cantitatea de abur necesară a fi destinsă în turbină pentru producerea unui lucru mecanic de 1 joule.

Debitul de combustibil necesar producerii aburului se determină din ecuația de bilanț termic al generatorului de abur (al cazanului):

$$B H_i \eta_{cz} = D(h_1 - h_4)$$

$$B = \frac{D(h_1 - h_4)}{H_i \eta_{cz}} \quad [\text{kg/s}]$$

Debitul specific de combustibil este debitul de combustibil necesar a fi ars în focarul cazanului pentru producerea unei puteri utile a generatorului electric de 1 watt

$$b = \frac{B}{P_u} = \frac{D(h_1 - h_4)}{P_u H_i \eta_{cz}} = \frac{d(h_1 - h_4)}{H_i \eta_{cz}} \quad [\text{kg/J}]$$

Observație: Din punct de vedere dimensional, debitul specific de combustibil reprezintă cantitatea de combustibil necesară a fi arsă în focarul cazanului pentru producerea unui lucru mecanic de 1 joule.

Debitul apei de răcire se determină din bilanțul termic al condensatorului:

$$D(h_2 - h_3)\eta_{cd} = \dot{m}_w c_{pw}(t_{w2} - t_{w1})$$

$$\dot{m}_w = \frac{D(h_2 - h_3)\eta_{cd}}{c_{pw}\Delta t_w} \quad [\text{kg/s}]$$

Ciclurile mixte reprezintă cicluri combinate gaze-vapori, în care treapta de înaltă temperatură este reprezentată de o turbină cu gaze iar cea de joasă temperatură de o turbină cu abur. Potențialul termic al gazelor evacuate din turbina de gaze este folosit într-un schimbător de căldură pentru producerea aburului.

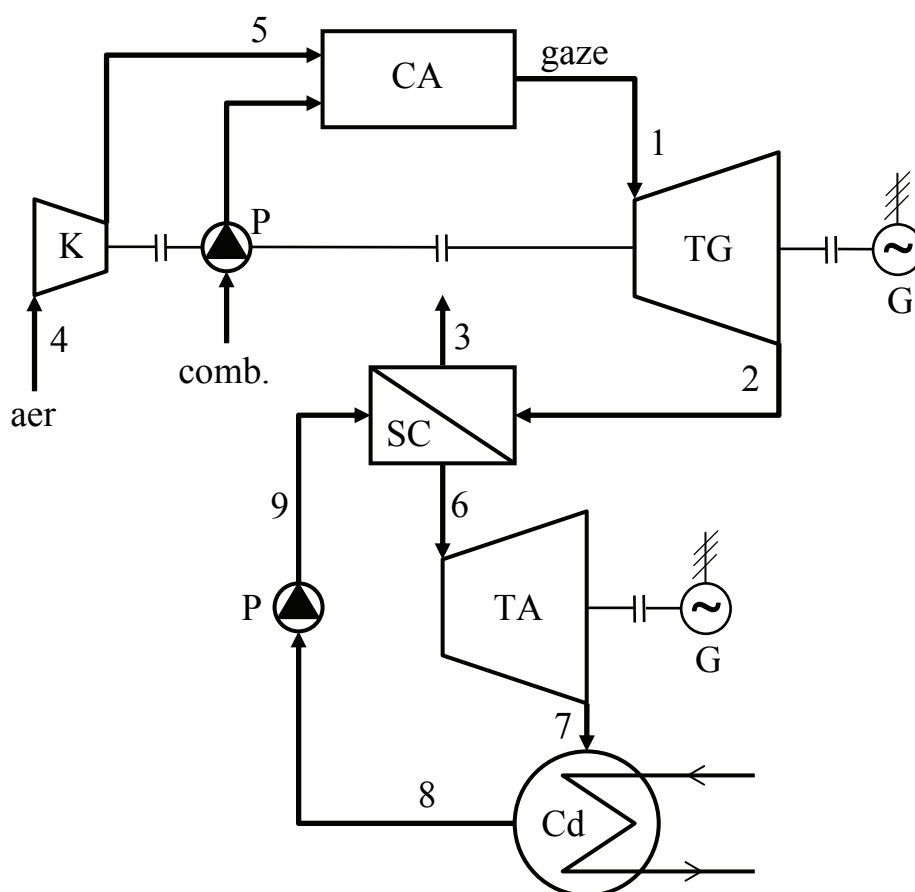


Fig. 11.13: Instalația mixtă gaze-abur

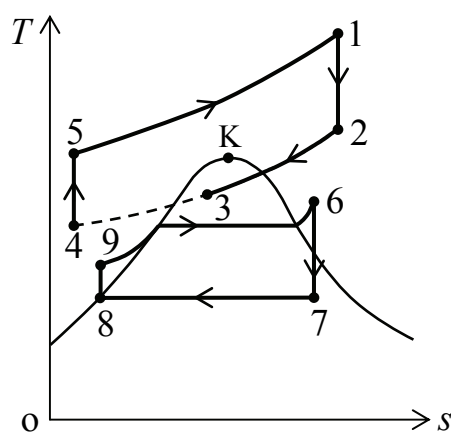


Fig. 11.14: Reprezentarea ciclurilor instalației mixte gaze-abur în diagrama $T-s$

Bilanțul termic al schimbătorului de căldură cu rol de generator de abur este:

$$\dot{Q}_{sc} = \dot{m}_g (h_2 - h_3) \eta_{sc} = D (h_6 - h_9) \quad [\text{W}]$$