

Capitolul 12

METODE DE ÎMBUNĂTĂȚIRE A RANDAMENTULUI TERMIC

Îmbunătățirea randamentului termic al ciclului Rankine se poate face prin următoarele metode:

- creșterea presiunii aburului la generator;
- creșterea temperaturii aburului supraîncălzit;
- supraîncălzirea intermediară;
- utilizarea ciclurilor binare și cu regenerare.

Creșterea presiunii aburului în generator are ca efect mărirea lucrului mecanic tehnic produs prin destinderea aburului în turbină.

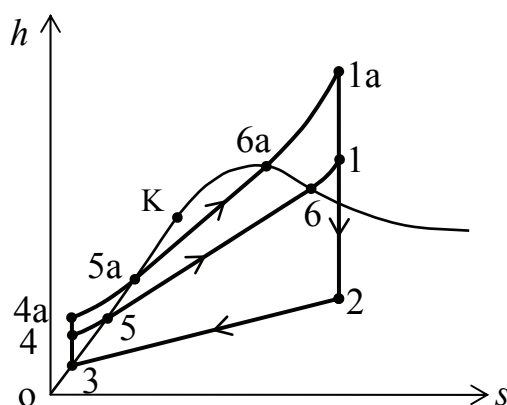


Fig. 12.1: Creșterea presiunii aburului în diagrama $h-s$

$$h_{1a} > h_1 \rightarrow h_{1a} - h_2 > h_1 - h_2 \rightarrow l_{1a2} > l_{12}$$

Generatoarele de abur moderne funcționează la presiuni supercritice ($p_{cz} > 221 \text{ bar}$) și permit obținerea de randamente ridicate.

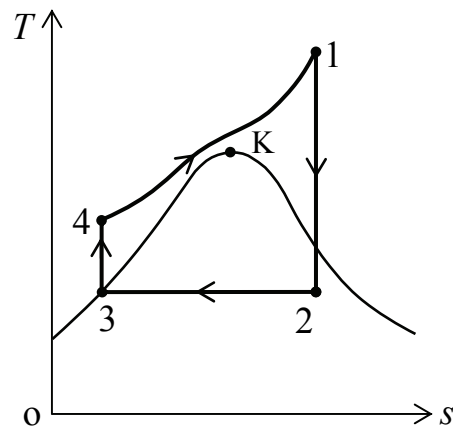


Fig. 12.2: Ciclul Rankine în regim supercritic în diagrama T - s

Creșterea temperaturii aburului supraîncălzit conduce la mărirea lucrului mecanic tehnic produs prin destinderea aburului în turbină. Valoarea maximă a temperaturii este în jurul valorii de 620°C și este limitată de rezistența materialelor folosite.

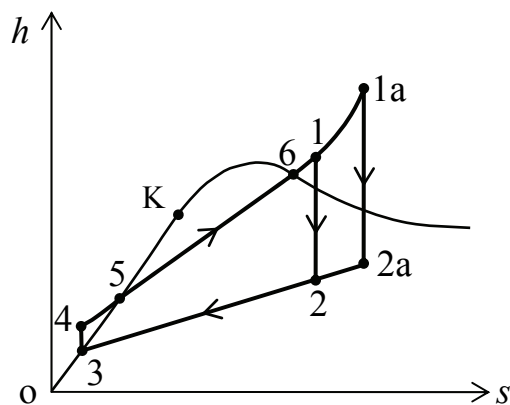


Fig. 12.3: Creșterea temperaturii aburului în diagrama h - s

$$h_{1a} - h_{2a} > h_1 - h_2 \rightarrow l_{1a2a} > l_{12}$$

Supraîncălzirea intermediară sau repetată se bazează pe destinderea aburului în două sau mai multe trepte. În prima treaptă, aburul se destinde în turbina de înaltă presiune până la o presiune intermediară, după care este supraîncălzit şi apoi destins în turbina de joasă presiune până la presiunea din condensator.

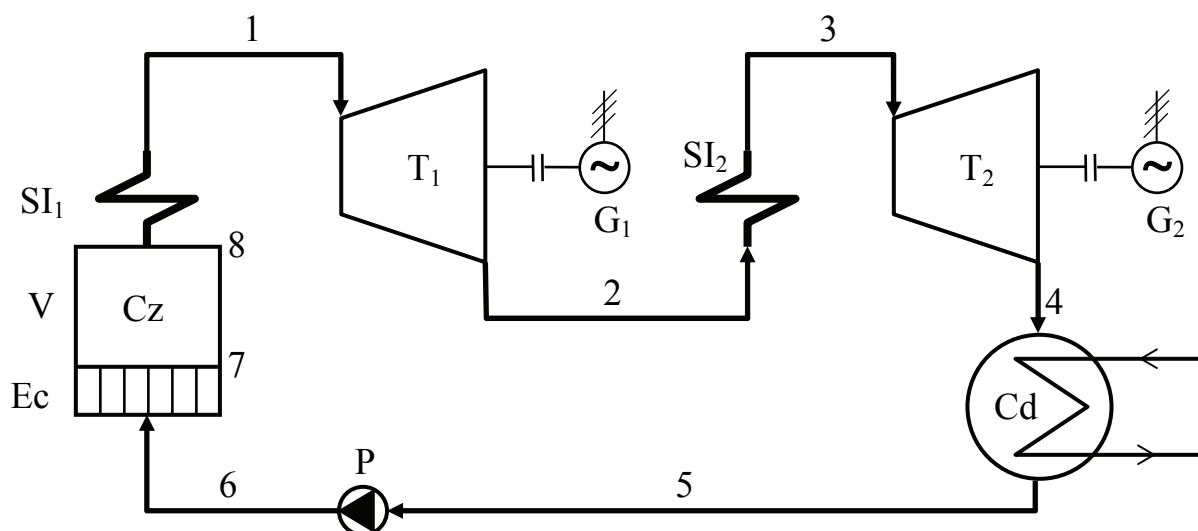


Fig. 12.4: Schema instalației cu supraîncălzire repetată

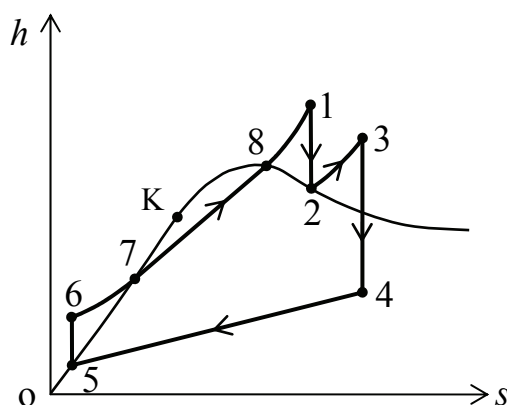


Fig. 12.5: Supraîncălzirea intermediară în diagrama $h-s$

Randamentul termic este dat de relația:

$$\eta_t = \frac{l_{t,1} + l_{t,2}}{q_{cz} + q_{si}} = \frac{(h_1 - h_2) + (h_3 - h_4)}{(h_1 - h_6) - (h_3 - h_2)} \quad [-]$$

Ciclurile binare sau mixte se obțin prin cuplarea unui ciclu de înaltă temperatură cu un ciclu de temperatură mai joasă. Agenții termici folosiți pentru treapta de înaltă temperatură pot fi mercurul, sodiul, potasiul sau amestecurile de sodiu și potasiu iar pentru treapta de joasă temperatură pot fi apa sau freonii.

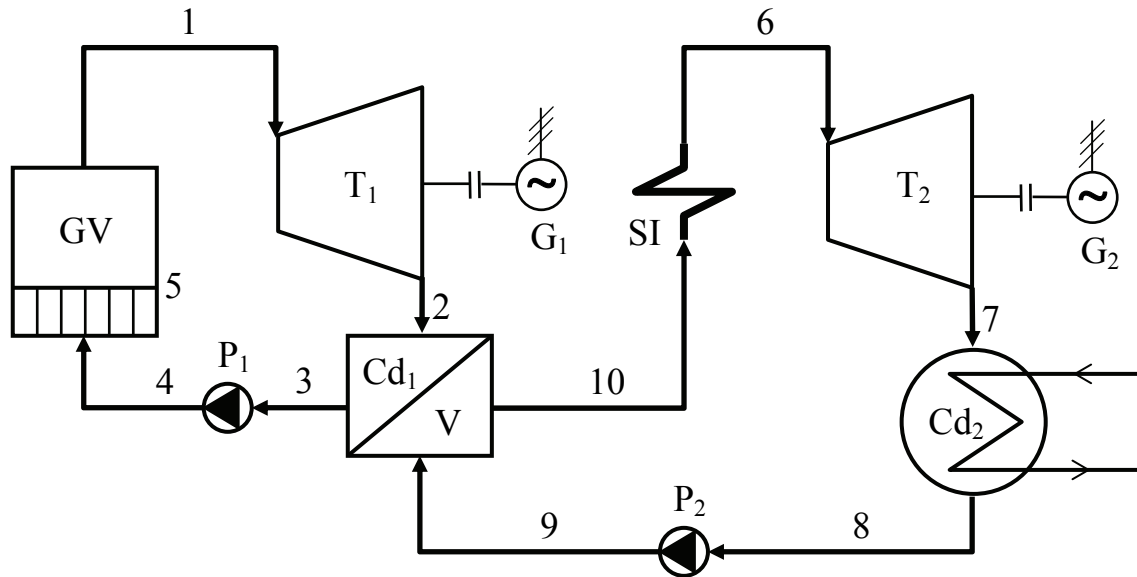


Fig. 12.6: Schema instalației binare Hg-H₂O

Se definește **factorul de circulație** ca fiind raportul dintre debitul de agent termic din treapta de înaltă temperatură (mercur) și cel al agentului termic din treapta de joasă temperatură (apa):

$$\alpha = \frac{D_{Hg}}{D_{H_2O}} \quad [\text{kg}_{Hg}/\text{kg}_w]$$

Din ecuația de bilanț termic al schimbătorului de căldură condensator-vaporizator, rezultă:

$$D_{Hg} (h_2 - h_3) \eta_{sc} = D_{H_2O} (h_{10} - h_9) \quad [\text{W}]$$

$$\alpha = \frac{h_{10} - h_9}{(h_2 - h_3) \eta_{sc}}$$

Ciclurile cu regenerare se obțin prin preîncălzirea regenerativă a apei de alimentare a cazanului pe seama unei părți din aburul parțial destins în turbină, preluat printr-o priză.

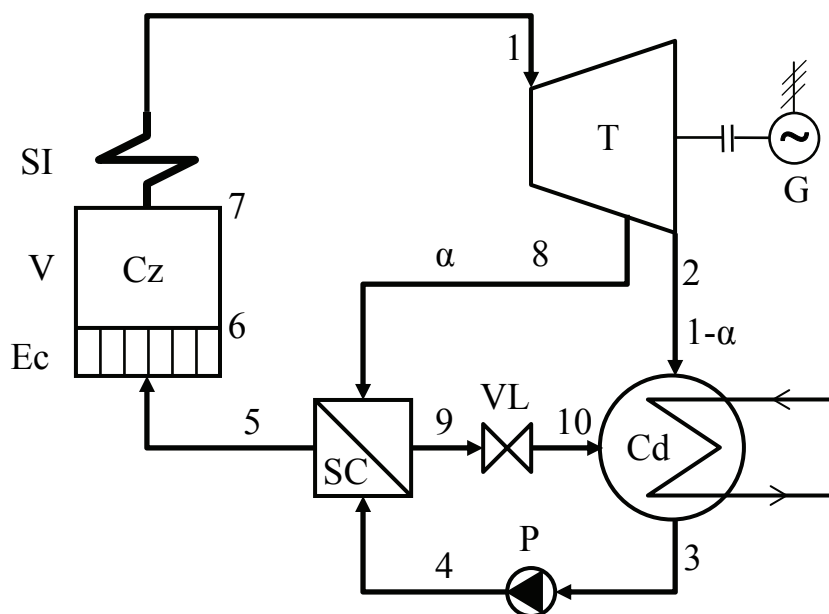


Fig. 12.7: *Schema instalației cu regenerare*

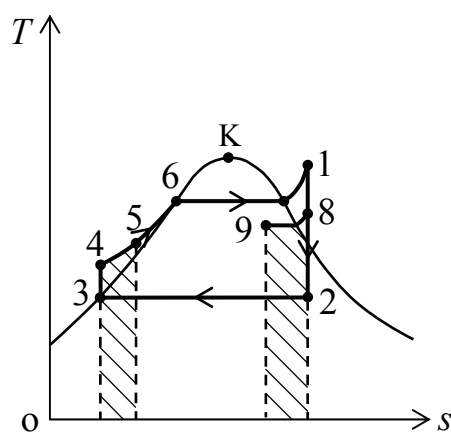


Fig. 12.8: *Ciclul cu regenerare în diagrama T-s*

Deși efectul aburului preluat este de reducere a lucrului mecanic tehnic din turbină, căldura utilizată pentru preîncălzire ridică entalpia apei de alimentare având ca efect final creșterea randamentului termic al ciclului.

Centralele electrice de termoficare (CET) funcționează cu cicluri termodinamice specifice, denumite cicluri de termoficare (cogenerare) și produc simultan energie electrică și căldură. În cazul centralelor termo-electrice (CTE) funcționând după ciclul Rankine, în condensator este cedată o cantitate importantă de căldură inutilizabilă datorită nivelului scăzut al temperaturii (28 ... 35 °C). Pentru eliminarea acestui dezavantaj, ciclurile de termoficare utilizează o presiune mai ridicată de condensare a aburului destins în turbină, obținându-se creșterea temperaturii de saturație, care permite recuperarea căldurii latente de condensare în scopuri industriale sau de încălzire urbană.

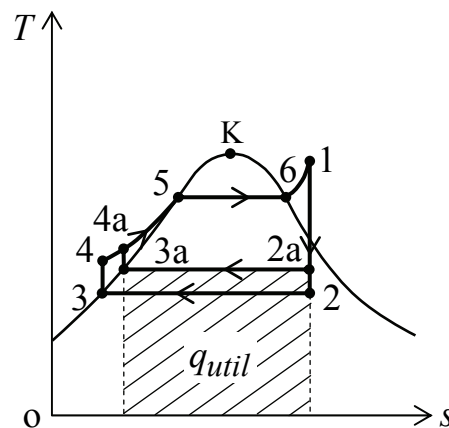


Fig. 12.9: *Ciclul de termoficare în diagrama T-s*

Deși lucrul mecanic util produs în turbină și, în consecință, energia electrică produsă de generator se micșorează, randamentul termic al ciclului de termoficare se îmbunătățește datorită recuperării căldurii latente de condensare.

$$\eta_{t,CET} = \frac{l_{12a} + q_{2a3a}}{q_{4a1}} > \eta_{t,CTE} = \frac{l_{12}}{q_{41}}$$

În funcție de natura turbinelor instalate, CET-urile se clasifică în:

- CET cu contrapresiune;
- CET cu vid înrăutățit;
- CET cu condensare și priză reglabilă.

În **CET-urile cu contrapresiune** aburul se destinde în turbină până la presiunea corespunzătoare temperaturii de utilizare la consumator, întotdeauna superioară celei atmosferice ($p_2 > p_{atm} = B$). După cedarea căldurii latente la consumator, condensul este colectat într-un rezervor de condens.

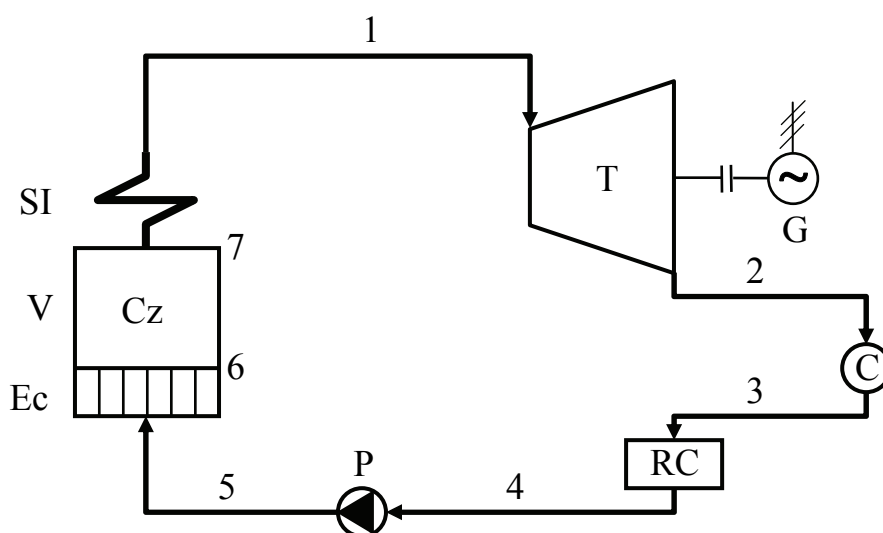


Fig. 12.10: Schema CET cu contrapresiune

Ca avantaje, turbina cu contrapresiune este mai simplă, are dimensiuni mai reduse, se elimină condensatorul clasic și deci costurile de investiție sunt mai mici, dar producerea energiei electrice este condiționată de sarcina termică a consumatorului.

$$\dot{Q}_{cons} = D(h_2 - h_3) \eta_c \quad [\text{W}]$$

$$D = \frac{\dot{Q}_{cons}}{(h_2 - h_3) \eta_c} \quad [\text{kg/s}]$$

$$P_u = D(h_1 - h_2) \eta_s \eta_m \eta_g = f(\dot{Q}_{cons}) \quad [\text{W}]$$

În sezonul rece, sarcina termică a consumatorului este ridicată și deci energia electrică produsă de centrală va fi mare, în timp ce vara, sarcina termică scade și deci energia electrică produsă va fi mai mică.

CET-urile cu vid înrăutățit utilizează la condensator presiuni mai ridicate (0,5 ... 0,9 bar) decât cele de la turbinele cu condensare clasică. Rezultă deci temperaturi de saturație de 80 ... 90°C, ceea ce permite încălzirea apei de răcire din condensator până la valori de 70 ... 80°C. Producerea de energie electrică este limitată de sarcina termică a consumatorului.

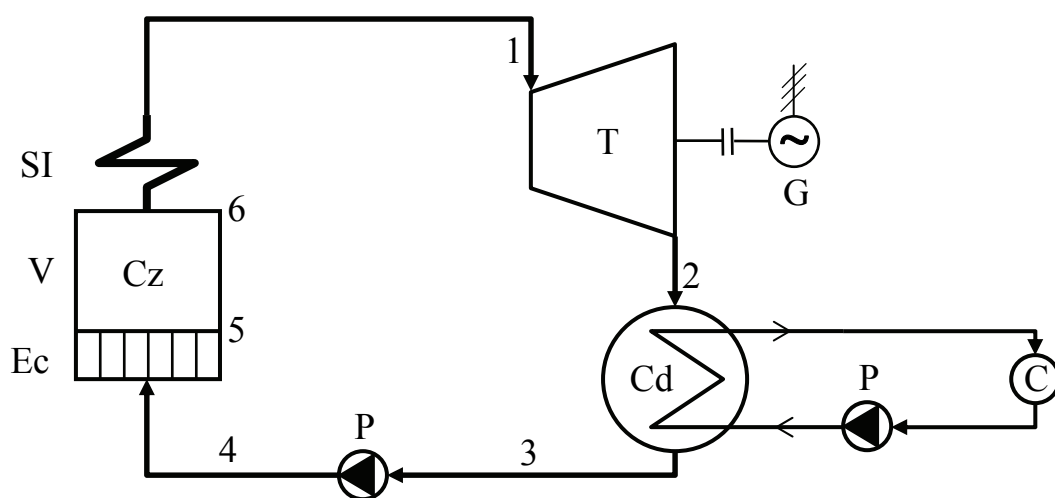


Fig. 12.11: Schema CET cu vid înrăutățit

CET-urile cu condensare și priză reglabilă permit producerea de energie electrică independent de sarcina termică a consumatorului, pe toată perioada anului. O parte din abur este prelevat la o presiune intermediară (de priză) și servește ca agent termic la consumator prin condensare directă sau prin intermediul unui schimbător de căldură. Restul aburului destins în turbină condensează în regim clasic. În cazul în care sarcina termică a consumatorului este zero, turbina lucrează în regim de condensare clasică. Dacă debitul de condensare se anulează, turbina funcționează în regim de contrac presiune.

În unele cazuri, consumatorul este legat la centrală prin intermediul unui schimbător de căldură.

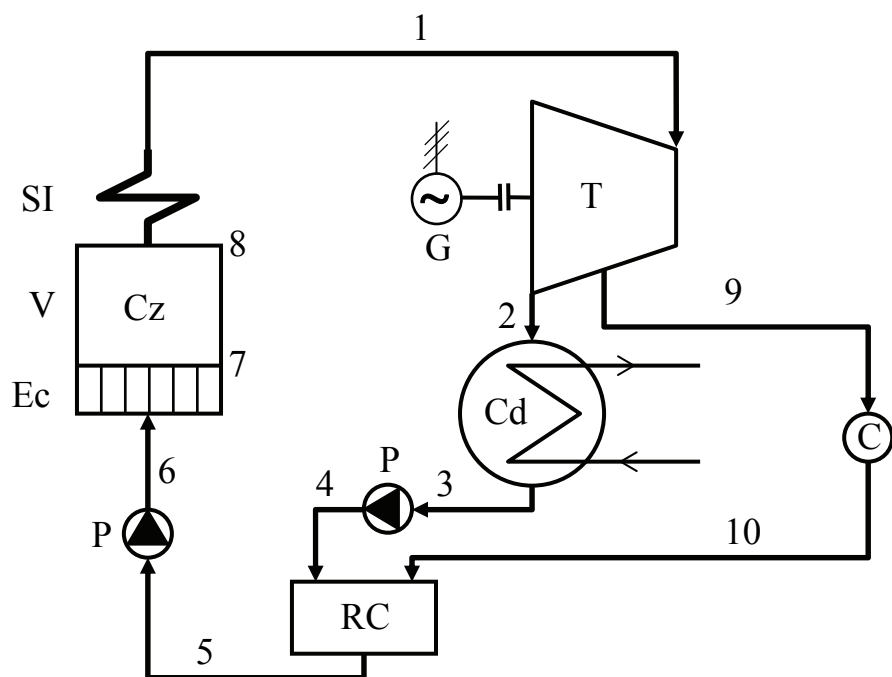


Fig. 12.12: Schema CET cu condensare și priză reglabilă cu condensare directă

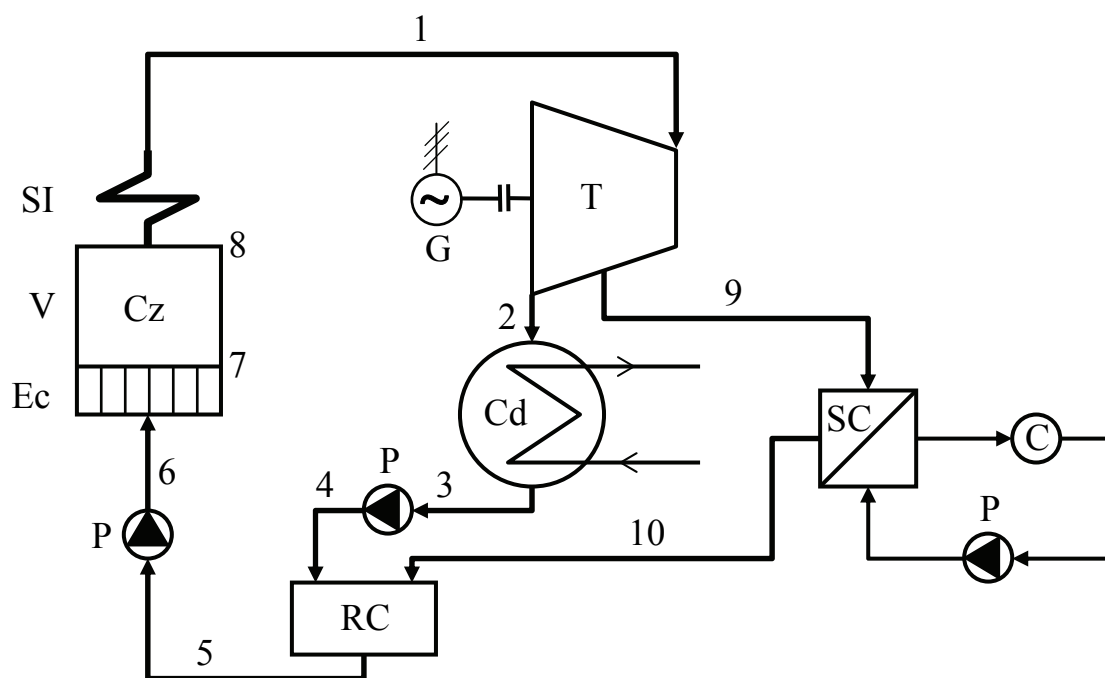


Fig. 12.13: Schema CET cu condensare și priză reglabilă cu schimbător de căldură intermediar