

# **Sisteme de generare a energiei electrice**

**Descrierea CIP a Bibliotecii Naționale a României**

**Sisteme de generare a energiei electrice** / G. Darie, I. Prisecariu,  
B. Popa, I. Ionel. - București : Editura Academiei Oamenilor  
de Știință din România, 2011  
ISBN 978-606-8371-60-3

I. Darie, G.

II. Prisecariu, I.

III. Popa, B.

IV. Ionel, I.

620.9

**Editura Academiei Oamenilor de Știință din România**

**Adresa:** Splaiul Independenței, nr. 54, sectorul 5, cod 050094 București, România

**Redactor:** ing. Mihail CĂRUȚAȘU

**Documentarist:** ing. Ioan BALINT

**Coperta:** ing. sist. Adrian Nicolae STAN

**Copyright © Editura Academiei Oamenilor de Știință din România,  
București, 2011**

**George Darie  
Bogdan Popa**

**Ilie Prisecaru,  
Ioana Ionel**

# **Sisteme de generare a energiei electrice**



**Editura Academiei Oamenilor de Știință din România**

**București**

**2011**



## CUPRINS

<b>1. Dezvoltarea producerii energiei electrice</b>	<b>7</b>
<b>1.1 Concepția producerii energiei electrice</b>	<b>7</b>
<b>1.2 Surse de energie primară</b>	<b>8</b>
<b>2. Centrale convenționale cu abur</b>	<b>15</b>
<b>2.1 Cicluri termodinamice cu turbine cu abur</b>	<b>15</b>
<b>2.2 Concepția de ansamblu a CCA</b>	<b>16</b>
<b>2.3 Bilanțul energetic al CCA</b>	<b>17</b>
<b>2.4 Soluții de creștere a performanțelor CCA</b>	<b>20</b>
<b>2.5 Generatoare de abur</b>	<b>25</b>
<b>2.6 Turbina cu abur</b>	<b>36</b>
<b>2.7 Utilizarea cărbunelui în centralele convenționale cu abur</b>	<b>44</b>
<b>3. Reducerea poluării atmosferice în CCA</b>	<b>55</b>
<b>3.1 Poluanți rezultați în urma arderii combustibililor fosili</b>	<b>55</b>
<b>3.2 Reducerea emisiilor de pulberi</b>	<b>58</b>
<b>3.3 Reducerea emisiilor de oxizi de sulf</b>	<b>62</b>
<b>3.4 Reducerea emisiilor de oxizi de azot</b>	<b>68</b>
<b>4. Centrale electrice echipate cu instalații de turbine cu gaze</b>	<b>81</b>
<b>4.1 Instalații de turbine cu gaze</b>	<b>81</b>
<b>4.2 Cicluri combinate gaze – abur: concepție de realizare</b>	<b>95</b>
<b>4.3 Ciclul combinat gaze – abur fără postcombustie</b>	<b>100</b>
<b>4.4 Ciclul combinat gaze – abur cu postcombustie limitată</b>	<b>112</b>
<b>4.5 Ciclul combinat gaze – abur cu ardere a cărbunelui în pat fluidizat sub presiune</b>	<b>116</b>
<b>4.6 Ciclul combinat gaze – abur cu gazeificare integrată a cărbunelui</b>	<b>122</b>
<b>5. Centrale hidroelectrice</b>	<b>129</b>
<b>5.1 Energia și puterea hidrolică</b>	<b>129</b>
<b>5.2 Energia și puterea centralelor hidroelectrice</b>	<b>131</b>
<b>5.3 Amenajări hidroenergetice</b>	<b>134</b>
<b>5.4 Centrala hidroelectrică</b>	<b>143</b>

<b>6. Centrale nuclearelectrice</b>	149
<b>6.1 Introducere</b>	149
<b>6.2 Conceptia generala de realizare a CNE</b>	152
<b>6.3 Scurta prezentare a unor filiere de CNE</b>	159
<b>6.4 Securitate, accidente si riscul nuclear</b>	181
<b>6.5 Previziuni pentru energetica nucleară</b>	186
<b>Bibliografie</b>	189

# 1. DEZVOLTAREA PRODUCERII ENERGIEI ELECTRICE

## 1.1 Concepția producerii energiei electrice

**Producerea energiei electrice** reprezintă procesul de transformare a diferitelor forme de energie primară în energie electrică, în cadrul unor instalații specializate de complexitate mare, denumite centrale electrice. Evoluția consumului de energie electrică a făcut ca acestea să fie tot mai mari, puterile lor instalate fiind limitate de restricții tehnologice, economice, de mediu sau de securitate.

**Centrala electrică** reprezintă **un ansamblu de instalații complexe**, în care se asigură condițiile pentru **conversia unei forme primare de energie** în energie electrică. Ea materializează tehnologic o concepție de conversie.

Se pot evidenția la limită, două concepții opuse de producere a energiei:

- **O concepție centralizată**, bazată pe centrale electrice de mare putere, care utilizează surse primare cu “concentrare energetică mare” (combustibili fosili sau nucleari). Puterea acestor centrale este de regulă superioară consumului local, implicând existența unui sistem de transport și distribuție a energiei electrice. Ansamblul centralelor și al rețelelor electrice de transport, exploatate și conduse într-o concepție unitară constituie un sistem electroenergetic.
- **O concepție distribuită**, cu surse mici, amplasate lângă consumatori. Se bazează în general pe utilizarea unor surse primare “ușoare”, cu concentrare energetică redusă (solară, eoliană etc.). Centrala este destinată strict pentru acoperirea consumului local, eliminându-se necesitatea de a transporta energia electrică la distanță.

În prezent concepția centralizată are încă o pondere mult mai mare, rolul producerii distribuite crescând însă odată cu accesul tot mai dificil la sursele primare cu concentrare energetică ridicată, pe de-o parte, și a restricțiilor tot mai severe impuse de protecție a mediului, pe de altă parte.

Dezvoltarea unei concepții sau alteia depinde de modul în care la nivelul unei țări sau comunitate există o strategie globală, prioritară față de cea de la nivel de grup, companie sau societate.

## 1.2 Surse de energie primară

### 1.2.1 Categoriile de surse primare de energie

Dezvoltarea unei industrii energetice puternice este condiționată de existența unor surse de energie primară care să se caracterizeze prin: diversitate, accesibilitate, siguranță, prețuri stabile, asigurarea cantităților dorite pe o perioadă de timp cât mai mare. În raport cu aceste condiții, atenția industriei energetice se îndreaptă spre o gamă din ce în ce mai diversificată de surse de energie primară, cu particularități din ce în ce mai diferite. Prin conversia realizată în instalații specializate, aceste surse acoperă cererea de energie electrică și termică a societății.

În mod convențional, sursele de energie primară sunt împărțite în două mari categorii:

- **surse finite;**
- **surse regenerabile.**

Sursele finite de energie primară se consideră a fi limitate atât în timp, cât și în spațiu. Ele sunt capabile să acopere nevoile societății umane doar pentru o perioadă de timp limitată. Mărimea acestei perioade de timp depinde de volumul rezervelor de energie primară la care are acces societatea umană. Cele mai importante surse finite de energie primară sunt combustibilii fosili și nucleari. Din punct de vedere al modului în care se definesc rezervele corespunzătoare surselor finite de energie, se disting:

- *Rezerva certă*: reprezintă cantitatea din respectivul combustibil existentă în zăcământ, care a fost certificată prin măsurători și a cărei exploatare este considerată ca fiind rentabilă în condițiile economice și de dezvoltare tehnologică corespunzătoare unui anumit moment dat.
- *Rezerva certă recuperabilă*: reprezintă cota din rezervele certe care poate fi recuperată (extrasă din zăcământ), în condițiile economice și de dezvoltare tehnologică corespunzătoare unui anumit moment dat.
- *Rezerva adițională*: reprezintă cantitatea din respectivul combustibil, adițională în raport cu rezervele certe, care poate fi:
  - certificată prin măsurători, dar a cărei exploatare nu este rentabilă pentru condițiile tehnologice și economice curente;
  - rezultată în urma unor estimări care se referă atât la porțiuni neexploatate ale unor zăcăminte cunoscute, cât și la regiuni care oferă condiții geologice favorabile.
- *Rezerva adițională recuperabilă*: reprezintă cota din rezervele adiționale posibil a fi recuperate în viitor.

Se subliniază faptul că volumul rezervelor certe, respectiv adiționale, este variabil în timp, el depinzând de dezvoltarea cunoștințelor geologice, de variația prețului combustibililor, de progresul înregistrat în domeniul tehnologiei. De



exemplu, scăderea prețului la o categorie de combustibili poate muta un zăcământ din zona rezervelor certe în cea a rezervelor adiționale, exploatarea lui devenind nerentabilă din punct de vedere tehnico – economic.

Sursele regenerabile se referă la acele categorii de surse primare de energie care sunt generate în mod continuu de către sistemele naturale. Se disting următoarele categorii principale de surse regenerabile de energie: hidroenergetică, solară, eoliană, geotermală, a mareelor, a valurilor, biomasa. Ele se caracterizează prin:

- *Potențialul teoretic brut*: Reprezintă energia care ar deveni disponibilă prin conversia în energie utilă a tuturor fluxurilor naturale de energie regenerabilă, cu o eficiență de 100 %.
- *Potențial tehnic*: Reprezintă cota din potențialul teoretic brut care poate fi convertită în energie utilă, ținând seama de nivelul de dezvoltare tehnologic și de posibilitatea de utilizare a acesteia de către societatea umană (geografia umană).
- *Potențial economic*: Reprezintă cota din potențialul tehnic care poate fi convertită în energie utilă, în condiții de rentabilitate economică.

Toate sursele de energie menționate mai sus participă, într-o măsură mai mare sau mai mică, la satisfacerea nevoilor energetice ale societății umane. Este foarte interesant să se analizeze evoluția în timp a disponibilului de energie primară în lume. Se poate constata că rezervele și producția evoluează dependent de consum, de politica (investițiile) în domeniul prospecțiunilor, de interesul marilor companii implicate și foarte mult de interesele politice și strategice ale țărilor mari consumatoare de energie.

Dacă se urmărește această evoluție, se poate constata că secolul XX marchează trecerea de la dominația puternică a cărbunelui la penetrarea petrolului și gazelor naturale. Avantajele folosirii acestora a condus la diminuarea prospecțiunilor miniere. Crizele energetice din 1973 și 1979, care în esență au fost crize petroliere, au relansat interesul pentru cărbune. Concluziile evidente ale acestor mutații impun existența obligatorie a unei strategii naționale în acest domeniu, strategie care să impună o dezvoltare orientată spre mai multe forme de energie primară și pe realizarea unor stocuri strategice, tampon, care să preia fluctuațiile cauzate de crizele și perturbațiile economice și politice.

În tabelul 1.1 este prezentat modul în care este acoperită cererea mondială de energie electrică, în funcție de tipul de energie primară, pentru perioada 2007 – 2035.

Din analiza datelor de mai sus se pot trage următoarele concluzii:

- Combustibilii fosili continuă să acopere cea mai mare parte din cererea mondială de energie primară (90 % în anul 2020).
- Deși va crește în valoare absolută, energia hidroenergetică va satisface în anul 2020 o cotă mai mică a cererii de energie primară, în raport cu anul 1997. Același lucru este valabil și pentru energia nucleară.
- În ciuda avântului deosebit pe care îl vor înregistra, sursele regenerabile de energie (altele decât cea hidroenergetică) nu vor acoperi în

anul 2020 decât 3 % din cererea mondială.

**Tabelul 1.1** Producția mondială de energie electrică pentru perioada 2015-2035, trilioane kWh (%)

An	Combustibili lichizi	Cărbune	Gaz natural	Regenerabile	Nuclear
2015	0,86	8,83	4,17	4,96	3,08
2020	0,82	9,83	4,97	5,82	3,58
2025	0,78	11,19	5,76	6,62	3,92
2030	0,77	12,91	6,43	7,34	4,19
2035	0,83	15,02	6,85	7,97	4,50

În conformitate cu previziunile Agenției Internaționale de Energie, producția mondială de energie electrică va crește de la 14 000 TWh, în 1997, până la aproximativ 26 000 TWh în anul 2020. În Tabelul 1.2 este prezentat modul în care diversele surse de energie primară participă la producția de energie electrică. Se pot remarca următoarele elemente:

- Ponderea combustibililor fosili în producerea de energie electrică va crește de la 63,5 % la 73,7 %.
- Cărbunele își menține poziția de lider în ceea ce privește producția de energie electrică.
- Prin avantajele pe care le oferă, îndeosebi din punct de vedere al protecției mediului, ponderea gazului natural se va dubla.
- Deși în valoare absolută participarea surselor regenerabile de energie (altele decât energia hidroelectrică) va crește semnificativ, ponderea lor nu va depăși 2,3 %.

**Tabelul 1.2** Participarea formelor de energie primară la producerea de energie electrică, %

Sursă de energie primară	Anul 1997	Anul 2020
Cărbune	39,5	37,7
Petrol	9	6
Gaz natural	15	30
Combustibili nucleari	17	9
Energie hidroelectrică	18	15
Alte surse regenerabile*	1,5	2,3
<b>TOTAL</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

\* Include următoarele categorii de energii regenerabile: geotermală, eoliană, solară, a mareelor, a valurilor, biomasa, deșeurii industriale și menajere

### 1.2.2 Cărbunele

Cărbunele este una din cele mai importante surse primare de energie, lui revenindu-i aproape 70 % din energia înglobată în rezervele certe de combustibili fosili. Cărbunele care a constituit baza revoluției industriale din secolul XIX, după o perioadă importantă de regres (1950 – 1980), revine ca o energie primară deosebit de importantă pentru viitor.

Din punct de vedere al calității, cărbunii pot fi împărți în:

- *cărbuni bituminoși (superiori)*: Includ huila și antracitul, iar formarea lor a început în perioada jurasică.
- *cărbuni bruni*: Formarea acestora a început în paleogen. În această categorie se disting cărbunele brun sub-bituminos și lignitul.
- *turba*: Reprezintă rezultatul unui proces de carbonificare incomplet.

Pentru industria energetică îndeosebi primele două categorii prezintă o importanță deosebită.

În raport cu ceilalți combustibili fosili cărbunele are o serie de avantaje indiscutabile:

- Se găsește din abundență.
- Poate acoperi nevoile societăți umane pe o perioadă mare de timp, permițând elaborarea unor strategii energetice pe termen lung.
- Este răspândit pe o arie geografică mult mai largă decât petrolul sau gazul natural.
- Prețul este relativ stabil, fiind puțin influențat de factori politici.
- Nu există probleme majore privind transportul de la sursă la consumator.
- Există tehnologii mature din punct de vedere comercial care permit o utilizare “curată” a cărbunelui, cu impact minim asupra mediului înconjurător.

Limitările cele mai importante privind utilizarea cărbunilor sunt provocate în special de puternicul impact pe care îl au asupra mediului înconjurător. Se amintesc în acest sens emisiile de pulberi, oxizi de sulf, oxizi de azot, dioxid de carbon. Pentru reducerea emisiilor aferente primelor trei categorii de noxe există la ora actuală tehnologii mature din punct de vedere comercial capabile să satisfacă cele mai severe restricții. Din punct de vedere al dioxidului de carbon (care contribuie în mod substanțial la amplificarea efectului de seră), cărbunele se caracterizează prin cea mai ridicată emisie specifică în raport cu cantitatea de căldură rezultată prin ardere. În consecință, în următoarele decenii eforturile vor fi îndreptate înspre dezvoltarea unor tehnologii performante, mature din punct de vedere comercial, care să asigure reținerea și stocarea dioxidului de carbon rezultat din arderea combustibililor fosili.

### 1.2.3 Petrolul și gazele naturale lichide

Petrolul rămâne o energie primară deosebit de căutată datorită avantajelor importante pe care le oferă atât din punct de vedere al valorii sale energetice cât și al proprietăților sale fizico-chimice. Utilizarea lui este la ora actuală îngreunată atât de reducerea rezervelor, cât și de accesul dificil la zăcămintele repartizate în mod inegal din punct de vedere geografic. Un alt dezavantaj major al petrolului este legat de preț, care prezintă fluctuații importante, de multe ori din cauze politice.

Pe lângă petrol, o pondere deloc neglijabilă o au gazele naturale lichide. Acestea sunt reprezentate de hidrocarburi componente ale gazului natural (etan, propan, butan, pentan) care sunt recuperate sub formă lichidă. În general statisticile includ rezervele de gaze naturale lichide în cele de petrol.

### 1.2.4 Gazul natural

Gazul natural este definit ca un amestec de hidrocarburi care este exploatat în stare gazoasă și a cărui componentă principală este reprezentată de metan. În ultimele decenii gazul natural a devenit combustibilul preferat în raport cu cărbunele sau petrolul, în principal din următoarele motive:

- Gazul natural este un combustibil relativ “curat” din punct de vedere ecologic, cu emisii reduse de oxizi de sulf, oxizi de azot și pulberi. Datorită raportului carbon/hidrogen mai scăzut decât în cazul cărbunelui și petrolului, emisiile de dioxid de carbon sunt de asemeni simțitor mai reduse.
- Aria geografică de răspândire este mai largă decât în cazul petrolului. Peste 85 de țări posedă zăcămintele semnificative de gaz natural.
- Au fost dezvoltate tehnologii industriale de mare eficiență care funcționează pe bază de gaz natural (ex. ciclurile combinate gaze-abur).

Ca dezavantaj principal se menționează problemele pe care le implică transportul de la sursă la consumator. Acest transport necesită existența unor conducte magistrale de mare capacitate care în multe cazuri trebuie să traverseze teritoriile unor țări terțe. De asemeni prețul gazului natural este mult mai instabil decât în cazul cărbunelui.

### 1.2.5 Uraniul

Uraniul reprezintă una din sursele primare cu concentrare energetică deosebit de ridicată. Datorită reactivității chimice ridicate uraniul nu este întâlnit în natură în stare metalică, ci sub formă de oxizi ( $\text{UO}_2$ ,  $\text{U}_3\text{O}_8$ ), fosfați, silicați, etc.

În anul 1999 cererea mondială de uraniu a fost de aproximativ 61 600 tone, urmând ca ea să ajungă la 54 500 – 79 800 tone/an în 2015. Aproximativ 75 % din cererea anului 1999 a fost acoperită din producția zăcămintelor de uraniu, restul provenind din alte surse cum ar fi stocurile deja existente de combustibili nucleari sau arme nucleare dezafectate. Pe plan mondial peste 90 % din producția de uraniu este asigurată doar de 10 țări, dintre care cel mai important este Canada.

Folosirea uraniului în aplicații civile este strâns legată de dezvoltarea centralelor nucleare electrice (CNE). Deși în perioada 1980 – 1990 energia nucleară s-a confruntat cu crize majore, cum ar fi accidentele de la Three Miles Island (SUA) și Cernobîl (Ucraina), ea rămâne în continuare o variantă viabilă de acoperire a cererii de energie electrică.

Ținând seama de rezervele de uraniu existente, CNE vor putea juca și în viitoarele decenii un rol important în acoperirea cererii de energie electrică. În acest scop este necesară rezolvarea unor probleme cum ar fi:

- Creșterea siguranței în exploatare;
- Scăderea costurilor de capital la nivele comparabile cu cele ale centralelor electrice care funcționează pe combustibili fosili;
- Stocarea în siguranță a deșeurilor nucleare (inclusiv a combustibilului uzat);
- Creșterea gradului de acceptare a CNE de către opinia publică.

### 1.2.6 Energia hidroelectrică

Energia hidroelectrică reprezintă cea mai importantă sursă regenerabilă de energie, acoperind aproximativ 18 % din cererea mondială de energie electrică. În mod convențional noțiunea de *energie hidroelectrică* este asociată doar cursurilor de apă, alte surse primare pe bază de apă (cum ar fi energia valurilor sau mareelor) fiind asimilate la categoria *Surse regenerabile de energie*.

Deși ocupă deja un rol major în balanța energetică mondială, există în continuare un potențial tehnic și economic impresionant care nu a fost pus încă în valoare și care ar putea contribui în viitor la acoperirea cererii de energie electrică. Dintre avantajele certe oferite de energia hidroelectrică se pot aminti:

- Resursele sunt larg răspândite pe glob, peste 150 de țări dispunând de potențiale hidroenergetice semnificative.
- Tehnologia de conversie a energiei hidroelectrice în energie electrică este matură din punct de vedere comercial.
- Joacă un rol important în reducerea emisiei de gaze cu efect de seră.
- Centralele hidroelectrice (CHE) se caracterizează prin flexibilitate în exploatare.
- CHE se caracterizează prin costuri de exploatare deosebit de scăzute și durate mari de viață.
- Amenajările hidroenergetice pot contribui la rezolvarea altor probleme

cum ar fi irigațiile sau asigurarea cu apă potabilă a populației.

Principalele limitări care apar în dezvoltarea CHE sunt legate de costurile ridicate de capital și de impactul deosebit de sever produs asupra mediului în faza de construcție – montaj.

### **1.2.7 Surse regenerabile de energie**

Una din alternativele energetice deosebit de tentante la ora actuală este reprezentată de utilizarea surselor regenerabile de energie. Dintre beneficiile aduse de utilizarea acestor surse se pot aminti:

- Prezervarea rezervelor de combustibili fosili ale omenirii;
- Reducerea impactului asupra mediului înconjurător produs de sectorul energiei electrice, cu accent asupra diminuării emisiei de gaze cu efect de seră.

Principalele surse regenerabile care pe termen mediu pot fi luate în considerație la acoperirea cererii de energie sunt: energia hidroelectrică (prelucrată în microhidrocentrale), biomasa, energia solară, energia eoliană și energia geotermală.

Microhidrocentralele formează o categorie distinctă atât sub aspect tehnic, cât și financiar. În general, în această categorie sunt cuprinse CHE cu o putere electrică instalată mai mică de 10 MW. Microhidrocentralele se limitează la interesele de valorificare a unor surse relativ mici de energie hidroelectrică, fiind promovate în general de colectivități locale sau de industria de capacitate mică și mijlocie.

## 2. CENTRALE CONVENȚIONALE CU ABUR

### 2.1 Cicluri termodinamice cu turbine cu abur

Ciclul termodinamic care stă la baza funcționării centralelor convenționale cu abur (CCA) este cel cu abur supraîncălzit, cunoscut și sub denumirea de **ciclul Hirn** (figura 2.1a). Principala caracteristică este faptul că, pentru a produce lucrul mecanic, este utilizat abur supraîncălzit.

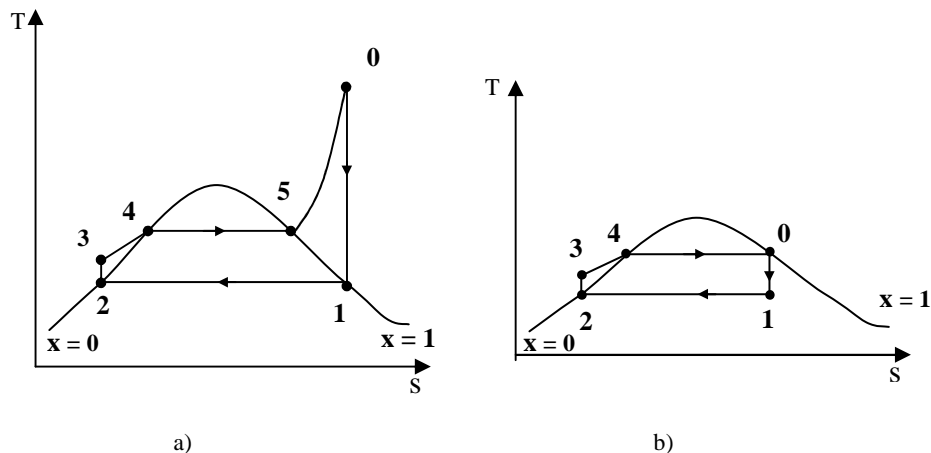


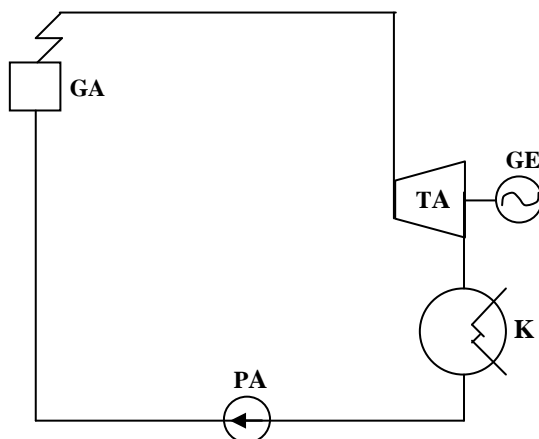
Fig. 2.1. Cicluri termodinamice cu turbine cu abur  
a – ciclul Hirn; b – ciclul Rankine

Se disting următoarele transformări:

- 0 - 1: destindere cu producere de lucru mecanic - transformare izentropă;
- 1 - 2: cedare de căldură la sursa rece a ciclului - transformare izobară;
- 2 - 3: comprimare cu consum de lucru mecanic - transformare izentropă;
- 3 - 4 - 5 - 1: încălzire la sursa caldă a ciclului - transformare izobară.

Într-o serie de centrale electrice nucleare, solare, geotermale poate fi întâlnit de asemenea și ciclul Rankine. În acest caz, spre deosebire de ciclul Hirn, pentru producerea de lucru mecanic se utilizează abur saturat (figura 2.1b).

În figura 2.2 este prezentată o instalație care funcționează având la bază un ciclu de tip Rankine sau Hirn.



**Fig. 2.2** Instalație care funcționează după un ciclu Rankine - Hirn  
 GA - generator de abur; TA - turbină cu abur; GE - generator electric;  
 K - condensator; PA - pompă de alimentare.

**Generatorul de abur** are rolul de a vaporiza apa și de a o transforma în abur saturat sau supraîncălzit. Acest proces se realizează cu aport de căldură din exterior (arderea unui combustibil fosil, fisiune nucleară, energie geotermală, captare energie solară).

**Turbina cu abur** asigură destinderea aburului, producând lucrul mecanic.

**Generatorul electric** transformă energia mecanică produsă de turbină în energie electrică.

**Condensatorul** asigură condensarea vaporilor de apă eșapați din turbină. Reprezintă sursa rece a ciclului termodinamic. Pentru evacuarea căldurii spre exterior se poate utiliza drept agent de răcire apa sau (mai rar) aerul atmosferic.

## 2.2 Concepția de ansamblu a CCA

În figura 2.3 sunt prezentate componentele de bază ale unei CCA pentru cazul cel mai general în care combustibilul utilizat este cărbunele. Se disting următoarele componente de bază:

- a) Clădirea principală: cuprinde ansamblul echipamentelor și instalațiilor care compun circuitul termic al CCA (generator de abur, turbină cu abur, generator electric, etc.);



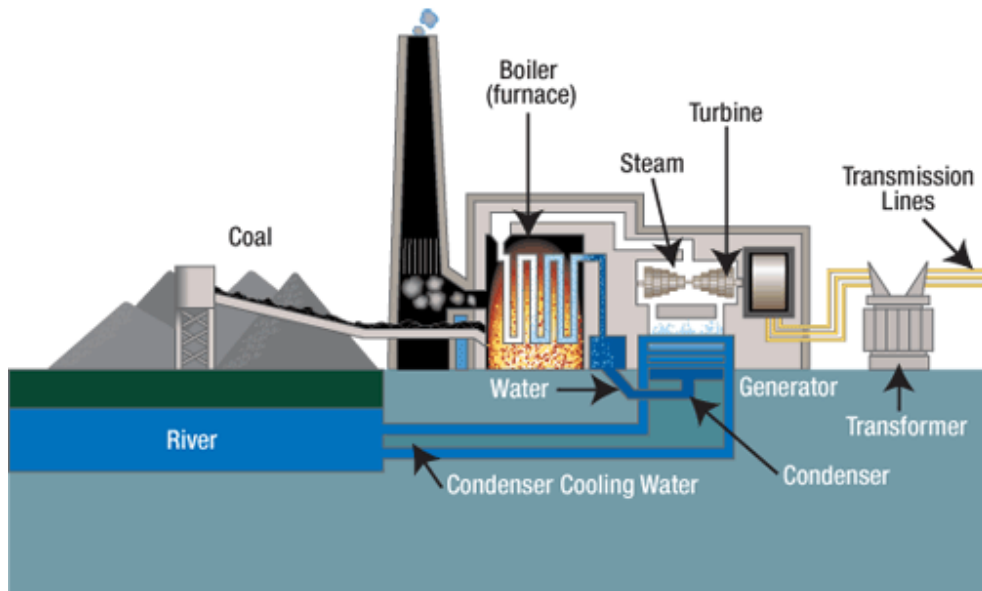


Fig. 2.3 Schema unei Centrale Convenționale cu Abur funcționând pe cărbune

- b) Gospodăria de combustibil care următoarele funcțiuni:
- Prelucrarea primară a combustibilului înainte de a fi trimis către generatorul de abur;
  - Asigurarea unei rezerve care să asigure funcționarea centralei în cazul în care se întrerupe alimentarea cu combustibil;
- c) Circuitul de răcire: pentru evacuarea căldurii de la sursa caldă a ciclului termodinamic este utilizat un agent termic: apă sau aer. Datorită proprietăților sale termodinamice net superioare, atunci când este posibil, ca agent de răcire este utilizată apa. Apa de răcire poate proveni din surse naturale: râuri, lacuri, mare.
- d) Stația electrică care asigură evacuarea energiei produse în sistemul electroenergetic.

### 2.3 Bilanțul energetic al CCA

În Figura 2.4 este prezentat sub forma unei diagrame de tip Sankey bilanțul energetic al CCA, iar în Tabelul 2.1 sunt explicitate principalele categorii de pierderi și randamentele aferente.

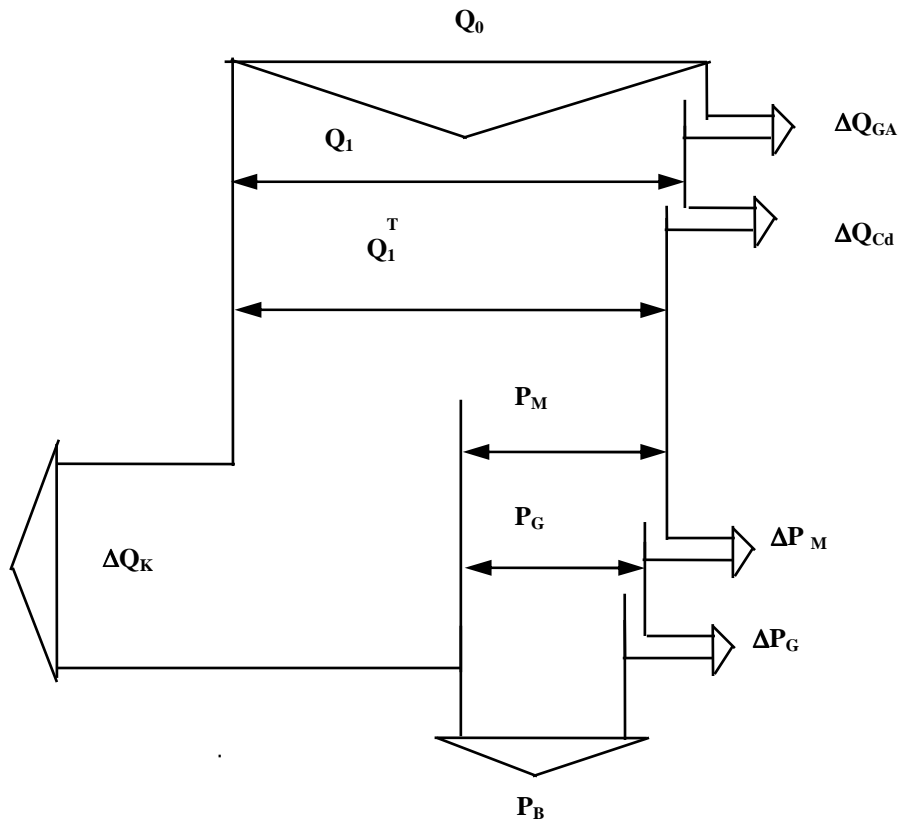


Fig. 2.4 Bilanțul energetic al unei CCA de condensajie

Randamentul de producere a energiei electrice (**randamentul electric brut**) este dat de produsul randamentelor (vezi Tabelul 2.1):

$$\eta_B = \eta_{GA} \cdot \eta_{CD} \cdot \eta_T \cdot \eta_M \cdot \eta_G \quad (2.1)$$

iar puterea electrică la bornele generatorului (**puterea electrică brută**) este:

$$P_B = Q_0 \cdot \eta_B \quad (2.2)$$

Puterea electrică livrată către consumator este inferioară valorii obținute cu ajutorul relației 2.2. Acest fapt se datorează, pe de-o parte, consumurilor interne ale CCA (ex. motoare de antrenare a pompelor, ventilatoarelor, etc.), iar pe de altă

parte pierderilor care apar în sistemul interior de transport a energiei electrice (ex. în transformatoare). Puterea livrată către consumator, denumită **putere electrică netă**, va fi în acest caz:

$$P_{NET} = Q_0 \cdot \eta_{NET} \quad (2.3)$$

unde se definește **randamentul net** de producere a energiei electrice:

$$\eta_{NET} = \eta_B \cdot (1 - \varepsilon_{SP}) \quad (2.4)$$

**Tabelul 2.1** Categoriile de pierderi și randamentele aferente pentru CCA

Categoria de pierdere	Notăție (vezi figura 2.4)	Randamentul aferent	Valori uzuale pentru randament
Pierderi în cazanul de abur datorită: arderii incomplete din punct de vedere chimic și mecanic, pierderilor de căldură prin evacuarea în exterior a produselor de combustie (gaze de ardere, zgură), pierderilor de căldură prin radiație și convecție în mediul ambiant	$\Delta Q_{GA}$	$\eta_{GA}$ (randament generator de abur)	0,85 - 0,94 (în funcție de tipul combustibilului și de dimensiunea cazanului)
Pierderi în conductele de legătură ale circuitului termic	$\Delta Q_{CD}$	$\eta_{CD}$ (randament conducte)	0,97 - 0,99
Pierdere datorată căldurii cedate la sursa rece a ciclului termodinamic (condensator)	$\Delta Q_K$	$\eta_T$ (randamentul termic)	0,35 - 0,49
Pierderi de putere datorate frecărilor din lagărele turbinei cu abur	$\Delta P_M$	$\eta_M$ (randament mecanic)	0,99 – 0,996 (crescător odată cu puterea)
Pierderile de putere în generatorul electric. Ține seama de pierderile mecanice ale acestuia și de cele electrice din înfășurările statorice și rotorice.	$\Delta P_G$	$\eta_G$ (randament generator electric)	0,975 – 0,99 (crescător odată cu puterea)

Termenul  $\varepsilon_{SP}$  reprezintă cota de servicii proprii electrice a centralei. Ea are în general valori cuprinse în intervalul 0,05 - 0,15. Valoarea lui  $\varepsilon_{SP}$  depinde de tipul combustibilului (mai mare în cazul cărbunilor) și de puterea instalată.

Randamentul dat de expresia 2.1 este inferior celui mai mic dintre randamentele componente. Din Tabelul 2.1 se poate observa că cele mai mici valori pot fi întâlnite în cazul randamentului termic al ciclului:  $\eta_T$ . Deci, principalele eforturi de creștere a eficienței globale de conversie a energiei primare în energie electrică trebuie să îndreptate în sensul majorării randamentului termic al ciclului termodinamic utilizat (Hirn).