

MOTTO: „ENERGIA este regina lumii
iar ENTROPIA, umbra sa”.

TERMOTEHNICA LA ÎNCEPUT DE MILENIU

În secolul și mileniul recent încheiate, mai ales după anul 1970, cercuri largi ale opiniei publice mondiale au manifestat un interes din ce în ce mai accentuat față de problemele și perspectivele dezvoltării energeticii care, corelate cu cele economice, ecologice, demografice și militare constituie problemele globale cu care se confruntă omenirea la ora actuală.

Cercetările efectuate de institutile specializate în programe energetice scot în evidență că în următorii 50 - 60 de ani vor avea loc modificări radicale în structura bilanțului energetic mondial care pot fi sintetizate în următoarele aspecte:

- continuarea creșterii consumului de energie, condiție a dezvoltării societății umane, astfel că în secolul în care am pășit, acest consum se va stabiliza la un nivel sensibil superior celui actual;
- creșterea ponderii noilor tehnologii în ansamblul celor care permit obținerea energiei, astfel încât acestea ar putea constitui baza energetică în a două jumătate a secolului XXI;
- majorarea cheltuielilor legate de obținerea și folosirea noilor surse de energie precum și a noilor tehnologii de transformare, transport și utilizare a energiei; în acest context se va accentua rolul și importanța cooperării internaționale în ceea ce privește asimilarea tehnologiilor noi și de fabricare a diferitelor tipuri de utilaje;
- crearea unor sisteme globale, internaționale, de asigurarea necesarului de energie a tuturor țărilor, depășindu-se cadrul îngust, național; exemplele de cooperare energetică interțări au început să devină din ce în ce mai numeroase;
- concentrarea, în continuare, a producției de energie și creșterea costului transportului acesteia;
- creșterea eficienței utilizării energiei și a ponderii energiei electrice în balanța energetică mondială.

Tinând seama de cele arătate, se poate aprecia că omenirea parcurge, în perioada actuală, o etapă „de tranziție”, de la energetică axată pe combustibil organic, fosil, limitat, către energetică nucleară, solară, geotermală și, probabil, cea termonucleară care ar putea asigura pe deplin necesitățile de energie ale omenirii.

Durata acestei perioade este greu de apreciat întrucât apariția și dezvoltarea noilor tehnologii de producere și transformare a energiei depind de numeroși factori; se poate aprecia însă că viteza optimă de asimilare a acestor tehnologii depinde în mare măsură de rezervele de combustibil organic relativ ieftin. Ca urmare, observând nivelul acestor rezerve (în primul rând de petrol și gaze naturale) și, înănd seama de costul extracției comparativ cu costul energiei obținute pe baza noilor tehnologii energetice, se consideră că în următorii cel puțin 50 de ani, combustibilii clasici, organici, vor juca un rol esențial în bilanțul energetic mondial, iar procesul de înlocuire a acestora se va extinde pe o perioadă și mai lungă.

Pentru sfârșitul secolului recent încheiat, necesitățile energetice ale omenirii, potrivit unui studiu întreprins de A.I.E.A., au fost asigurate într-o proporție de 55% din hidrocarburi (petrol și gaz metan), de 31% din cărbune și 14% din alte resurse, între care, mai ales, energia produsă de centralele nucleare. Ponderea petrolului în producția energetică mondială se cifrează la 35%.

Este interesant de observat ritmul de creștere a producției de energie electrică (în miliarde kWh) în țări precum SUA, Japonia și fosta URSS, apreciat pe baza datelor A.I.E.A. prezentate în tabelul ce urmează:

Tara	1960	1970	1980	1990
SUA	844 (100%)	1640 (194%)	2354 (278%)	3000 (355%)
Japonia	112 (100%)	361 (323%)	578 (517%)	800 (715%)
URSS	292 (100%)	741 (254%)	1294 (443%)	1860 (637%)

Prezintă, de asemenea interes, evoluția puterii dezvoltate în centralele nucleare instalate în lume (în milioane kW) în ultimii 25 ani:

1975	1980	1985
71,3	130	245,1

Toate cele arătate mai înainte nu permit, evident, prognozarea fermă, exactă, a direcțiilor viitoare de dezvoltare a energeticii nici pe plan cantitativ și nici calitativ. În aceste condiții ale energeticii „de tranziție” în care hidrocarburile se epuizează treptat, este însă evidentă mai mult ca oricând necesitatea obiectivă de a se depune eforturi mai susținute pe linia economisirii energiei și înlocuirii hidrocarburilor. Dacă se ține seama de faptul că energia nucleară, componenta cea mai dinamică a balanței energetice a înregistrat progrese mai mici decât cele prognozate inițial iar energiile regenerabile au făcut progrese lente, se va înțelege mai bine rațiunea economisirii energiei și a unor măsuri ferme de restructurare a industriei, îndeosebi ale componentelor sale energofage, modernizării proceselor tehnologice și de creștere a competitivității pe piața externă. În aceste condiții, valorificarea tuturor resurselor energetice clasice și neclasice, convenționale și neconvenționale, regenerabile și neregenerabile, necesită reconsiderarea unor concepte care stau la baza energeticii, adaptarea atitudinii oamenilor la realitățile energetice, promovarea unei noi filozofii în folosirea energiei și dezvoltarea cercetărilor științifice interdisciplinare în domeniul energiei.

În acest context, este logic ca disciplina care concurențiază la atingerea obiectivelor menționate să ocupe un loc mai important în preocupările de natură tehnică, economică și nu pe ultimul plan, educațională. În ansamblul multi- și interdisciplinar pe care îl reprezintă energetică modernă se detasează, în mod evident, TERMODINAMICA în calitate de teorie și metodă de cercetare fenomenologică a proceselor macroscopice însoțite de transformări și schimburi energetice, în care un loc central îl definește transformarea căldurii în lucru mecanic. Fără a exagera, se poate afirma că astăzi termodinamica reprezintă știința despre energie. Într-adevăr, termodinamica nu se limitează la analiza unor anumite forme de energie ca de exemplu cinetică și potențială în cadrul mecanicii, ci studiază toate formele de energie și toate posibilitățile de transformare ale acesteia. Din aceste motive, conceptele și metodele termodinamicii se constituie în baza științifică a energeticii moderne, inclusiv a bioenergeticii.

După cum este cunoscut, noțiunea centrală a termodinamicii o constituie *energia internă*, condiționată de mișcarea particulelor componente, denumită mișcare termică. Din acest punct de vedere, conținutul termodinamicii poate fi formulat ca fiind studiul mișcării termice în cel mai larg înțeles. Termodinamica este axată pe metoda fenomenologică de studiu; apelând la câteva principii și concepte precum *energia*, *entropia*, *potențialul termodinamic*, pot fi descrise cele mai diferite procese fizice, chimice și, în ultima perioadă de timp, biologice.

Aplicațiile tehnice reprezintă o parte deosebit de importantă a termodinamicii moderne; această parte se constituie într-o secțiune de sine stătătoare denumită *termodinamică tehnică*. Depășind cadrul istoric îngust în care a apărut prin studierea condițiilor de transformare a căldurii în lucru mecanic cu ajutorul mașinilor cu abur, la începutul secolului al XIX-lea, termodinamica tehnică a devenit treptat baza teoretică a mașinilor și instalațiilor termice dar și frigorifice, precum și a altor sisteme în care, prin interacțiuni termomecanice, are loc modificarea energiei interne a agenților de lucru. În acest mod, încă de la începutul dezvoltării sale, termodinamica a fost legată organic de practica inginerescă în care domeniul energeticii definește o poziție prioritată.

De fapt, după cum afirmă profesorul Richard Feynman în lucrarea sa *Fizica modernă* (Editura Tehnică, 1969) „... știința termodinamicii a început cu analiza făcută de marele inginer francez Sadi Carnot (1796 - 1832) în lucrarea sa genială *Reflecții* asupra puterii motrice a focului și asupra mașinilor capabile să dezvolte această putere (Paris, 1824), a problemei: cum să construim cea mai bună și cea mai eficientă mașină? Acesta constituie unul din puținele cazuri faimoase în care ingineria a contribuit fundamental la teoria fizică. Un alt exemplu ce ne vine în minte este analiza cea mai recentă a teoriei informației de către Claude Shannon. Aceste două analize, incidental, se întâmplă să fie strâns înrudite”.

În secolul XX, domeniile abordate în cadrul termodinamicii tehnice s-au înmulțit și s-au diversificat, referindu-se la: analiza ciclurilor motoarelor și instalațiilor termice de forță în care lucrul mecanic se obține pe seama căldurii dezvoltate prin arderea combustibililor clasici, fosili, ca și a celor nucleare în care sursa de căldură este fisiuinea nucleară; analiza metodelor de obținere directă a energiei electrice din energia chimică a combustibililor, respectiv din căldură, fără parcurgerea etapei de producere a lucrului mecanic; analiza mașinilor de tipul compresoarelor și instalațiilor frigorifice în care, pe seama consumului de lucru mecanic are loc creșterea presiunii, respectiv, scăderea temperaturii; analiza proceselor de producere combinată a lucrului mecanic, energiei termice și frigului în sisteme cogenerative; studiul condițiilor de utilizare a radiației solare, eoliene și geotermale în scopul obținerii lucrului mecanic, sau direct, a energiei electrice; analiza posibilităților de utilizare a diferențelor de temperatură existente în natură pentru producerea lucrului mecanic. În ultima perioadă de timp, termodinamica aduce contribuții prețioase la elucidarea mecanismului atât de delicat al apariției vieții pe planetă noastră. Abordând cu insistență domeniul temperaturilor criogenice, termodinamica oferă informații importante și în legătură cu structura materiei prin studierea, în cadrul criogeniei, a unor proprietăți fundamentale ale acesteia precum supraconducibilitatea și suprafluiditatea.

De asemenea, termodinamica creează premizele pentru prognozarea și aprecierea eficienței diferitelor procedee noi de obținere a lucrului mecanic - energiei electrice și are, prin aceasta, un rol hotărâtor în alegerea direcțiilor viitoare, de dezvoltare a energeticii.

După cum este cunoscut, principiile termodinamicii au o importanță de primă dimensiune în studiul proceselor energetice. În timp ce primul principiu al termodinamicii subliniază din punct de vedere cantitativ latura conservativă a energiei, cel de al doilea principiu al termodinamicii afiră, în sensul cel mai larg, faptul că procesele din natură sunt ireversibile, adică au sens preferențial de desfășurare.

*Într-adevăr, prima formulare a principiului al doilea dată de germanul Rudolf Clausius (1822-1888) se referă la un caz particular de proces ireversibil și anume cel de transfer de căldură la diferență finită de temperatură, care are loc în mod natural, de la sine, de la corpurile cu temperatură mai ridicată către cele cu temperatură mai coborâtă și, niciodată invers. Însă, importanța principiului al doilea al termodinamicii nu se limitează numai la cele arătate. Acest principiu stabilește condițiile în care poate fi transformată, în mod continuu, căldura în lucru mecanic cu ajutorul ciclurilor, problemă considerată a fi fundamentală pentru energetică. După cum afiră germanul Hermann Helmholtz, „... în prima etapă de dezvoltare a termodinamicii, ea (metoda ciclurilor) a reprezentat singura metodă de rezolvare a problemelor termodinamice și de studii a acestora”. Importanța deosebită a principiilor termodinamicii și a metodei termodinamice de analiză, axate îndeosebi pe baza ciclurilor, a fost subliniată de numeroși oameni de știință. Astfel, Nernst afiră că „principiile termodinamicii ocupă un loc cu totul aparte în rândul tuturor legilor naturii,... că nu există nici un proces în natură căruia să nu i se poată aplica aceste principii”. De asemenea, Laue arăta că „nu există... nici un domeniu al fizicii în care termodinamica să nu aibă implicații”. Lorentz sublinia, la rândul său, că „... cel de-al doilea principiu al termodinamicii guvernează peste jumătate din fizică”. În sfârșit, Einstein remarcă faptul că „termodinamica nu reprezintă altceva decât răspunsul sistematic la întrebarea: cum trebuie să fie legile naturii pentru ca *perpetuum mobile* de speță a două să fie imposibil”. Întrucât în termodinamică ciclul Carnot deține o poziție de prim rang, aflându-se la baza formulării principiului al doilea al termodinamicii, se ajunge la concluzia, din punct de vedere istoric, că acest principiu a fost descoperit înaintea primului principiu al termodinamicii.*

Necesitatea existenței a două surse, rezervoare sau receptoare de căldură de temperaturi diferite conduce la concluzia că transformarea integrală a căldurii în lucru mecanic cu ajutorul unui ciclu nu este posibilă, o parte din căldura preluată de la sursa caldă trebuie să fie cedată receptorului rece care, ușual, este mediul ambient. Fracțiunea maximă din căldura furnizată de sursa caldă care poate fi obținută sub formă de lucru mecanic caracterizează ciclul Carnot care, deci, cedează receptorului rece o căldură minimă. Întrucât randamentul acestui ciclu, care are valoarea cea mai mare în raport cu toate ciclurile delimitate de temperaturile celor două surse de căldură, nu depinde de natura agentului termic ci numai de temperaturile absolute ale acestora, s-a ajuns la definirea funcției carnotice; aplicarea acestei funcții unui ciclu reversibil oarecare descompus într-o infinitate de cicluri Carnot infinit mici a condus la așa numita integrală a lui Clausius care pentru asemenea cicluri este nulă. Dezvoltând această idee Clausius a reușit să deducă existența unei noi mărimi de stare, de o complexitate deosebită și anume entropia.

Complicațiile au început să apară din acest moment iar principiul al doilea al termodinamicii a devenit terenul unor ample dispute nu numai de natură termodinamică ci și filozofică. Într-adevăr, dacă pentru procesele reversibile variația entropiei indică sensul schimbului de căldură, în cazul proceselor reale, ireversibile, această variație nu mai este elocventă în ceea ce privește acest sens. Treptat, analizându-se diferite procese ireversibile în condiții de izolare adiabatică precum transferul căldurii la diferență finită de temperatură, schimbul de lucru mecanic la diferență finită de presiune, amestecarea, laminarea și.a. s-a ajuns la concluzia că în desfășurarea acestor procese entropia acuză o creștere. Considerându-se un ciclu alcătuit din procese ireversibile, rezultă că integrala lui Clausius pentru un asemenea ciclu este negativă.

Apariția pe terenul termodinamicii a conceptului de irreversibilitate specific acestei discipline a declanșat o avalanșă de probleme cu consecințe deosebite pentru întreaga fizică dar, se poate aprecia fără exagerare, mai ales pentru energetică. Aceste implicații deosebit de subtile au fost sesizate inițial de francezul Gouy (1889) la sfârșitul secolului al XIX-lea și apoi de cehul Stodola (1906), la începutul secolului trecut, care au ajuns la concluzia că irreversibilitatea, concretizată printr-o creștere de entropie se traduce prin scăderea capacitatii unui sistem de a efectua lucru mecanic. Rezultatul obținut, cunoscut sub denumirea de teorema Gouy - Stodola subliniază că această pierdere, potentială, de lucru mecanic este dată de produsul între temperatura mediului exterior sistemului și creșterea entropiei datorată irreversibilității în sistemul generalizat format din acest mediu și sistemul considerat. Această concluzie de o importanță cu totul deosebită a fost, din păcate, sesizată mult mai târziu. Abia în anii '30 ai secolului trecut problema influenței creșterii entropiei cauzate de irreversibilitate a revenit în actualitate elaborându-se așa numita metodă entropică de analiză termodinamică. Cu toate că a cucerit adepti în zona termodinamicii teoretice, această metodă nu a căpătat răspândire în operațiile de proiectare inginerescă determinată de complexitatea conceptului de entropie. La aceasta se adaugă și faptul că la nivelul anilor respectivi, problema economicității mașinilor și instalațiilor energetice nu era atât de acută, datorită prețului relativ scăzut al combustibilului.

În anii postbelici, consumul de energie a crescut rapid odată cu dezvoltarea economică și creșterea populației, ceea ce a impus reconsiderarea metodelor de analiză termodinamică a proceselor de funcționare a instalațiilor energetice în scopul creșterii randamentului de transformare a căldurii în lucru mecanic. În acest context, entropia ca mărime de apreciere a gradului de irreversibilitate a proceselor energetice a fost redusă în actualitate odată cu conceptul de energie utilizabilă introdus de Gouy și revitalizat sub forma noțiunii de exergie, propuse de către Zorban Rant în anul 1953 și expuse într-un articol publicat în 1956. Într-un anume sens, acest concept poate fi corelat cu cel propus de Helmholtz și anume de potențial izocor - izoterm (energie internă liberă), dar mai ales cu cel definit de americanul Josiah Willard Gibbs, creatorul mecanicii statistice și anume de potențial izobar - izoterm (entalpie liberă, respectiv, potențial chimic). Cele două potențiale stau la baza metodei potențialelor de analiză termodinamică care joacă un rol cu totul aparte în domeniul termodinamicii chimice dar și în domeniul studiului proprietăților termodinamice ale substanțelor apelând la relațiile diferențiale ale lui Maxwell.

Întâmpinat, inițial, cu multe rezerve și chiar neîncredere de către specialiști, treptat, conceptul de exergie a pătruns în cele mai diferite domenii teoretice și aplicative ale termodinamicii și implicit ale energeticii, astfel că, la ora actuală, se poate aprecia că metoda exergetică de analiză termodinamică prezintă avantaje în raport cu metoda entropică de studiu, deși, cele două metode prezintă multe elemente comune.

Avantajul introducerii conceptului de exergie constă în aceea că oferă specialiștilor un instrument eficient de apreciere a gradului de perfecțiune termodinamică din punctul de vedere al irreversibilității proceselor care se desfășoară în cele mai variate sisteme energetice, frigorifice și criogenice. Într-adevăr, randamentul exergetic exprimă apropierea între procesul real, ireversibil și cel ideal, reversibil. În aceste condiții s-a ajuns la o nouă formulare a celui de al doilea principiu al termodinamicii care constă în aceea că exergia unui sistem izolat rămâne constantă dacă procesele din sistem se desfășoară reversibil și scade dacă măcar unul dintre proceze este ireversibil. Revenirea pe un plan superior a entropiei în actualitatea energetică, concretizată pe plan tehnic prin noțiunea de exergie a reprezentat, în a doua jumătate a secolului trecut, o necesitate obiectivă impusă de obținerea unor cantități din ce în ce mai mari de energie, în special electrică, în condiții cât mai economice și cu randamente cât mai înalte.

În acest context energetic complex în care se află astăzi omenirea, corelația între entropie și exergie este evidentă. Într-adevăr, generarea entropiei datorată irreversibilității interne și externe a proceselor se concretizează prin pierderi de exergie care determină reducerea capacitatii unui sistem energetic de a efectua lucru mecanic. Din acest punct de vedere, conceptul de exergie, deși particular în raport cu energia care reprezintă o măsură cantitativă a mișcării materiei, oferă o serie de avantaje atât teoretice cât și, mai ales, practice. Se poate afirma că noțiunea de exergie a introdus „ordine” în lumea energiilor, în sensul că a permis gruparea acestora în energii ordonate (mecanică, electrică, magnetică etc.) în caracterizarea cărora nu intervine entropia și care pot fi transformate integral în lucru mecanic sau electric și energii neordonate (energia internă, entalpia, energia radiației, energia chimică și.a.) în aprecierea cărora intervine entropia și care pot fi transformate doar parțial într-o energie ordonată. La rândul lor fiecare dintre cele două categorii de forme de energie se grupează în forme de acumulare a energiei (cinetică, potențială, electrică etc.), respectiv, în forme de transmitere a energiei (lucrul mecanic, căldura).

Cele arătate evidențiază faptul că principiul al doilea al termodinamicii introduce, prin intermediul conceptelor de entropie și exergie, diferențierea calitativă a diferitelor forme de energie în funcție de gradul de transformabilitate a unei forme oarecare de energie în energie ordonată de tipul celei mecanice sau electrice. Într-adevăr, prin definiție, fracțiunea maximă a unei forme de energie transformabilă în energie mecanică-electrică, „valutară”, reprezintă exergia energiei considerate.

La numai câțiva ani mai târziu, tot Rant (1962) propune noțiunea de anergie ca fiind acea parte, minimă, a unei energii neordonate care nu poate fi transformată în lucru mecanic - energie electrică. În general deci, o energie se compune din exergie și anergie adică $En = Ex + An$; dacă pentru energiile ordonate $An = 0$ iar $Ex = En$, pentru cele neordonate $An > 0$ iar $Ex < En$. Cu cât entropia unei energii este mai mare, adică gradul de dezordonare este mai accentuat, cu atât exergia energiei este mai redusă și deci valoarea de întrebunțare tehnică a energiei este mai mică. În aceste condiții, în ultima perioadă de timp, se acordă atenție așa numitei probleme a accesibilității utilizării energiei în corelație cu noțiunea de exergie. Se remarcă, din acest punct de vedere propunerea americanului Evans (1968) de a se introduce noțiunea de essergie (essence of the energy) care exprimă lucrul mecanic de extragere a unui component dintr-un mediu și de aducere pe cale reversibilă într-o stare dată diferită de cea de echilibru cu mediul ambient.

Spre deosebire de energie care are un caracter absolut, exergia este caracterizată printr-o anumită „elasticitate”, în sensul că valoarea ei depinde atât de parametrii energiei considerate cât și de parametrii mediului ambient. Din acest punct de vedere, se afirmă că analiza exergetică a proceselor energetice

introduce, practic, principiul „relativității” în termodinamică în sensul că sistemul de referință este mediul exterior în care funcționează sistemul analizat, problemă cu implicații majore în domeniul tehnicii aerospațiale unde parametrii mediului ambient se modifică „drastic” la variația altitudinii de zbor.

Începând cu finele secolului al XIX-lea, abordarea clasică, fenomenologică este completată cu termodinamica statistică cu ajutorul căreia este descoperit mecanismul intern al proceselor. În acest context, prin contribuția teoretică deosebită a lui Ludwig Boltzmann (1844 - 1906) este fundamentat caracterul statistic, de cea mai mare probabilitate a principiului al doilea al termodinamicii care pentru numărul imens de particule cu care operează această disciplină atinge certitudinea. Pe această bază a fost stabilită legătura între entropie și probabilitatea termodinamică; creșterea acesteia din urmă semnifică deci, trecerea sistemului din stări mai puțin probabile în stări mai probabile, ceea ce se reflectă la scară macroscopică prin creșterea entropiei.

Merită subliniat și faptul că scurgerea timpului dintr-un trecut către viitor ar putea fi subordonată noțiunii de entropie sub formă aprecierii metaforice a englezului Arthur Eddington care afirmează că entropia reprezintă „sârgeata timpului”.

Începând cu anii '30 ai secolului trecut s-a dezvoltat o nouă direcție de cercetare care constituie obiectul termodinamicii proceselor la neechilibru și în care accentul este pus asupra desfășurării acestora în timp. Prin generalizarea de către norvegianul Lars Onsager a observațiilor privind aceste procese, s-a ajuns la concluzia că în apropierea stării de echilibru, între forțele termodinamice de tipul gradientului de temperatură, presiune, concentrație, potențial electric etc. și fluxurile termodinamice precum fluxul de căldură, debitul masic, curentul electric și.a. există dependențe liniare. Spre deosebire însă de mecanică unde este valabil principiul independenței acțiunii forțelor, în cazul termodinamicii proceselor ireversibile, aceste forțe termodinamice sunt cuplate și conjugate adică interdependente. În aceste condiții s-a ajuns la necesitatea introducerii noțiunii de sursă de entropie care reprezintă viteza de generare a entropiei în unitatea de volum determinată de ireversibilitatea proceselor care se desfășoară în sistemul considerat.

Depășirea cadrului acestei termodinamici ireversibile liniare a condus la abordarea de către Ilya Prigogine a unui domeniu și mai complex și anume cel al termodinamicii proceselor ireversibile neliniare, în categoria cărora intră procesele biologice și în care intervine așa numita producție suplimentară de entropie. Pe această bază se fac investigații pe linia elucidării mecanismului de apariție a vieții pe planeta noastră și de fuziune, într-o concepție nouă, a principiilor termodinamicii și biologiei. În această concepție, organismele vii reprezintă structuri dissipative care se mențin în condiții îndepărtate de echilibru, consecință a schimburilor de energie și substanță cu mediul ambient. Ca urmare, se ajunge treptat la concluzia că și mișcarea biologică, la fel ca și gădirea, ca forme superioare de existență a materiei, constituie o necesitate atunci când sunt îndeplinite anumite condiții, și nu o întâmplare. În organismele vii, fluxul bioenergetic contribuie la desfășurarea a numeroase conversii în care anumite forme de energie se transformă în alte forme de energie, creându-se câmpuri bioelectromagnetice pe baza cărora se întrețin reacțiile biofizice și biochimice a căror manifestare se traduce prin ceea ce numim viață.

În ultima perioadă a secolului trecut s-a remarcat tendința de extindere a concepțiilor ciberneticei și, în particular, a teoriei informației care face apel și la așa numita entropie informațională în stabilirea relațiilor termodinamice. În aceste condiții, sinteza termodinamicii fenomenologice la echilibru și la neechilibru, a fizicii statistice și moleculare, a ciberneticei și teoriei informației permite stabilirea unor modele și formalizarea comportării obiectelor termofizice complexe pe baza elaborării și verificării diferitelor ipoteze fizice precum și a prelucrării statistice a datelor experimentale.

În contextul complex în care se află termodinamica tehnică și, implicit, energetica modernă, sintetizarea laturilor pozitive ale diferitelor direcții de abordare a problematicii enumerate trebuie să aibă la bază metodologia sistemică de cercetare. În această metodologie, proprietățile fiecărui element al sistemului trebuie analizate în strânsă legătură cu celelalte elemente ale sistemului, urmărindu-se în final obținerea eficienței maxime. Abordarea sistemică a unei cercetări trebuie să consiste în descrierea proceselor termodinamice cu luarea în considerare a tuturor parametrilor de comandă care exercită o influență mare asupra comportării subsistemelor separate precum și a sistemului în ansamblu.

În ultimele decenii ale secolului trecut au fost puse bazele metodei termoeconomice de analiză termodinamică elaborate de americanul Tribus în care problemele analizei exergetice sunt corelate cu cele de natură economică. Într-adevăr, analiza pur termodinamică a sistemelor este principală limitată; această limitare este determinată de faptul că analiza termodinamică operează numai cu cheltuieli și pierderi de energie în timp ce pentru aprecierea finală este necesară luarea în considerare a tuturor cheltuielilor. Cu toate că analiza termodinamică joacă un rol esențial precizând limitele soluțiilor tehnice posibile, decizia finală se axează pe aprecieri economice ale eficienței. Într-o serie de cazuri particulare, rezultatele cercetărilor efectuate din diferite puncte de vedere sunt identice iar optimul termodinamic nu diferă de cel economic. Această coincidență a rezultatelor se explică prin aceea că variația parametrilor sistemului în limitele necesare pentru optimizarea termodinamică a parametrului dat (adică de reducere la minimum a cheltuielilor energetice) nu modifică (sau modifică puțin) cheltuielile de alt tip. În general însă, o

asemenea coincidență nu este obligatorie; în cazul sistemelor complexe, recomandările obținute pe baza analizei termodinamice și a celei tehnico-economice pot dифeri substanțial.

În toate procesele supuse analizei termoeconomice este raională separarea cheltuielilor energetice de cele neenergetice întrucât primele sunt legate de caracteristicile termodinamice ale sistemului cât și ale zonelor componente. Cheltuielile neenergetice sunt de asemenea legate de parametrii termodinamici dar caracterul acestor dependențe este mult mai complex. În timp ce cheltuielile energetice sunt direct legate de caracteristicile termodinamice ale sistemului și includ costul tuturor fluxurilor de substanță și energie care intră în sistem, cheltuielile neenergetice se referă la investițiile și cheltuielile de exploatare a instalației; evident, investițiile de capital sunt determinate în mare măsură atât de nivelul randamentului proceselor din sistem cât și de factorul dimensional. Legătura între termodinamică și economie a fost subliniată în mod strălucit de profesorul american de origine română N. Georgescu - Roegen în lucrarea sa intitulată „Legea entropiei și procesul economic” în care evidențiază rolul produselor de joasă entropie în activitatea umană; prin transformarea produselor de joasă entropie în produse de înaltă entropie este asigurată existența și evoluția societății umane.

Incepând cu a doua jumătate a secolului trecut, apariția și dezvoltarea centralelor nuclearelectrice, la început fără supraîncălzirea aburului în amontele turbinei, a impuls studierea condițiilor în care aceste centrale pot dezvolta o putere maximă. Inițial, aceste cercetări au fost efectuate de către Novikov (URSS) - Chambadal (Franța) în anul 1957 și El - Wakil (SUA) în 1962 dar, din păcate, au trecut neobservate. Rezultatele obținute au fost redescoperite în anul 1975 de către Curzon și Ahlbom (SUA) care au scos în evidență faptul că o centrală termoelectrică clasică (CTE) sau nucleară (CNE) dezvoltă o putere maximă în situația în care randamentul acesteia $\eta_t^{P_{max}} = 1 - \sqrt{T_0 / T}$ unde T_0 și T reprezintă temperaturile surselor de căldură, iar $\sqrt{T_0 / T}$ este celebrul dejă „nice radical”. Rezultatul obținut caracterizează un ciclu Carnot endoreversibil (pe plan intern) dar exoireversibil (pe plan extern). S-a impuls reconsiderarea analizei ciclului Carnot pe baza conceptului de putere, într-un context interdisciplinar în care triunghiul termodinamică - transfer de căldură - mecanica fluidelor definit de profesorul american de origine română Adrian Bejan a devenit și el deja clasic. S-a ajuns treptat la concluzia că un sistem fizic dezvoltă putere numai în prezența unor ireversibilități externe strict necesare. Anularea diferențelor de temperatură în procesele de transfer de căldură între agent și sursele de căldură, adică în condiții de exoreversibilitate face ca suprafețele de schimb de căldură să devină infinite, timpii de contact infiniti iar puterea dezvoltată să se anuleze, deși lucrul mecanic obținut ar fi maxim iar randamentul ciclului Carnot corespunzător este $\eta_C = 1 - T_0 / T$. S-a conturat, treptat, concepția filozofică potrivit căreia un sistem fizic poate interacționa și poate evolua numai în prezența ireversibilităților externe care le condiționează și pe cele interne, afirmație valabilă și pentru sistemele socioeconomice ca și pentru cele biologice, în general sinergetice. Din acest punct de vedere și nu numai, termodinamica poate fi considerată nu numai știință generală a energiei ci și a transmiterii puterii prin disipație.

Cele menționate mai sus au conturat o nouă direcție de cercetare științifică, cu adânci implicații în cele mai diferite domenii ale tehnicii și științei, cunoscută sub denumirea de „termodinamică în timp finit”, metoda respectivă fiind acceptată sub numele CANC (Curzon - Ahlbom - Novikov - Chambadal).

Revenirea puternică în actualitate a conceptului de putere a impuls reconsiderarea poziției noștiunii de pierdere cauzată de ireversibilitate. Se constată că aceste pierderi pot fi pasive, eliminabile la limită din punct de vedere tehnic (domeniul tribologiei) și active care permit interacțiunea, respectiv, evoluția sistemului analizat.

Implicațiile decisive ale aspectelor de natură termică în analiza diferențelor tipuri de sisteme au condus la apariția a numeroase direcții de cercetare științifică interdisciplinară precum termoelasticitatea, termoplasticitatea, termotribologia, termohidrodinamica, termoeconomia, termoaerochimia, termoterapia și.a. Din acest punct de vedere se poate afirma, fără exagerare, că secolul care s-a încheiat „ieri” a fost un secol care a schimbat „totul” iar termodinamica și-a consolidat poziția de „regină a științelor”.

Prof. dr. ing. Vsevolod RADCENCO
Președintele Societății Române a Termotehnicienilor