

DOUĂ ÎNTREBĂRI FUNDAMENTALE PRIVIND ESENȚA METODEI DIRECTE DIN TERMODINAMICA CU VITEZĂ FINITĂ ȘI DEOSEBIREA EI FAȚĂ DE ALTE METODE DIN TERMODINAMICA IREVERSIBILĂ

Stoian PETRESCU¹, Monica COSTEA², Alexandru DOBROVICESCU²,
Valeriu JINESCU³, Cătălina DOBRE²

¹Membru titular al Academiei de Științe Tehnice din România,

²Universitatea „Politehnica“, București,

³Membru titular al Academiei de Științe Tehnice din România

Rezumat. Lucrarea se constituie, în esență, din răspunsurile la două întrebări foarte importante legate direct de fundamentele Termodinamicii cu Viteză Finită (TVF) și Metoda Directă (MD), anume, (1) Ce este Metoda Directă? De ce se numește astfel? Există și o „metoda indirectă”?, respectiv, (2) Cum poate prinde Principiul I pentru procesele cu viteză finită ireversibilitățile acestor procese, având în vedere faptul că Principiul I nu face altceva decât un bilanț al energiilor care intră și ies din sistem, și respectiv „prinde și ce rămâne în sistem”? Discuția prezentată în lucrare este atât de natură istorică, cât și de natură epistemologică. Ambele întrebări sunt extrem de importante pentru dezvoltarea, înțelegerea, propagarea, învățarea și aplicarea Metodei Directe de către tot mai mulți „utilizatori”, fie că sunt profesori, studenți, masteranzi, doctoranzi, ingineri, cercetători, designeri/proiectanți ai mașinilor termice și aparatelor electrochimice (electrolizoare, baterii, pile de combustie), inventatori, etc. Prezenta lucrare încearcă să răspundă cât mai clar acestor întrebări fundamentale pentru dezvoltarea și aplicarea Termodinamicii cu Viteză Finită și a Metodei Directe.

Cuvinte cheie: Metoda Directă, Termodinamica cu Viteză Finită, Principiul I cu Viteză Finită, Cauzele ireversibilităților interne, Epistemologia Termodinamicii Ireversibile.

Abstract: The paper essentially consists of the answers to two important questions related directly to Fundamentals of the Finite Speed Thermodynamics (TVF) and Direct Method (DM), namely, (1) what is the Direct Method? Why is it called so? There is also an "indirect method"?, respectively (2) how can First Law for processes with Finite Speed catch irreversibility of these processes, knowing that First Law represents an energy balance of the system, and that it also "catches what remains in the system?". The discussion presented in this paper is both of historical and epistemological nature. The two questions are extremely important for the development, understanding, promotion, learning and applying of the Direct Method by more and more "users", whether they are teachers, students, master students, PhD students, engineers, researchers, designers of thermal machines and electrochemical devices (electrolysers, batteries, and fuel cells), inventors, etc. This paper tries to clearly answer these fundamental questions for the development and application of the Finite Speed Thermodynamics and the Direct Method.

Keywords: Direct Method, Thermodynamics with Finite Speed, First Law with Finite Speed, Internal Irreversibilities Causes. Epistemology of Irreversible Thermodynamics.

1. INTRODUCERE

În cadrul unui referat științific¹ prezentat în 2010 de doctoranda Dobre Cătălina (care a finalizat o teză excepțională în septembrie 2012 [1], urmată de articole foarte importante pentru dezvoltarea TVF [2-14]), profesorul Alexandru Dobrovicescu a adresat **două întrebări esențiale**, legate direct de fundamentele **Termodinamicii cu Viteză Finită (TVF) și Metoda Directă (MD)**:

- 1) Ce este **Metoda Directă**? De ce se numește astfel? Există și o „metodă indirectă”?
- 2) Cum poate prinde **Principiul I pentru procesele cu viteză finită** ireversibilitățile acestor procese? Se cunoaște că Principiul I nu face altceva decât un bilanț al energiilor care intră și ies din sistem, și respectiv „prinde și ce rămâne în sistem”.

Ambele întrebări sunt extrem de importante pentru **dezvoltarea, înțelegerea, propagarea, învățarea și aplicarea Metodei Directe** de către tot mai mulți „utilizatori” (fie că sunt profesori, studenți, masteranzi, doctoranzi, ingineri, doctori, cercetători, designeri/proiectanți ai mașinilor termice și aparatelor electrochimice (electrolizoare, baterii, pile de combustie), inventatori, etc.

Prezenta lucrare încearcă să răspundă cât mai clar acestor întrebări fundamentale pentru dezvoltarea și aplicarea TVF și a Metodei Directe. „Creatorii” și „utilizatori” TVF sunt obligați să răspundă la aceste *întrebări fundamentale*, atât pentru ei înșiși, cât și pentru cei interesați să o înțeleagă și să încerce să o folosească, să o aplice în *activitatea de cercetare și proiectare*, având ca obiectiv principal *optimizarea mașinilor termice și a aparatelor electrochimice* sau a sistemelor foarte complexe de tipul numit de noi [15,16,17] SEHE (Soare→Energie Electrică→Hidrogen (produs în electrolizor și stocat în butelii)→Energie electrică la utilizator (folosind pile de combustie).

S. Petrescu, ca tânăr asistent și apoi ca șef de lucrări la Catedra de Termotehnică din cadrul Institutului Politehnic București (1962-1972), urmărind să-și pregătească *seminariile, laboratoarele* și apoi *cursurile* cât mai bine, astfel încât să înțeleagă mai întâi el, ca apoi să fie capabil să-i facă și pe studenții săi să înțeleagă Termotehnica, respectiv, mai întâi *fundamentele termodinamicii* - Principiile (0, I, II, III) - și ecuațiile de bază ale acesteia (ecuațiile termice și calorice de stare) a încercat, astfel, să înțeleagă esența Principiului I și apoi, esența Principiului II.

Din această încercare și cu ajutorul materialului documentar extrem de important pentru înțelegerea esenței acestor ecuații, furnizat de profesorul A. Dobrovicescu, fără de care scrierea acestor capitole ar fi fost practic imposibilă, au rezultat două cărți fundamentale [18,19], ce prezintă necesitatea introducerii **parametrilor medii instantanei** (presiune medie instantanee p_{mi} , temperatura medie instantanee T_{mi}) fără de care **Termodinamica cu Viteză Finită și Metoda Directă** nu ar fi fost posibile a fi *construite în întregime analitic*.

Prin preocuparea de înțelegere a Principiilor Termodinamicii a ajuns să ia cunoștință de existența celor 3 *scheme de tratare clasice ale Principiului I și II*, despre care cea mai mare parte a profesorilor de Termotehnică și, în consecință, a inginerilor mecanici nu auziseră încă sau nu li se predaseră în facultățile ingineresti.

2. CONSECINȚE ALE „DESCOPERIRII” CELOR 3 SCHEME CLASICE DE TRATARE A PRINCIPIULUI I ȘI II

Din această „descoperire a lui S. Petrescu ca tânăr inginer”, anume că **mai există și alte tratări ale Principiilor în afară de cea învățată la cursul de Termotehnică**, au rezultat câteva consecințe

¹ C. Dobre, „Analiza generării de entropie și evaluarea performanțelor ciclului cvasi-Carnot inversat, utilizând Metoda Directă din Termodinamica cu Viteză Finită”, conducători științifici: prof. Stoian Petrescu, prof. Pierre Rochelle, prof. Lavinia Grosu.

extrem de importante care, desigur, au o strânsă legătură cu cele două întrebări fundamentale puse de profesorul A. Dobrovicescu.

2.1. Fundamentarea Termodinamicii cu Viteză Finită

În 1983, Stoian Petrescu, împreună cu Valeria Petrescu au scris prima carte de Termotehnică [18], în care au prezentat *toate aceste 3 scheme clasice de tratare a Principiilor Termodinamicii (I și II)*, carte care, ulterior, a inspirat mulți profesori de Termotehnică, atât din țara, cât și din străinătate. Ar fi suficient să-l menționăm aici pe renumitul profesor american de origine română Adrian Bejan (Duke University, NC, USA), care în renumita sa carte [20] (care l-a făcut faimos în întreaga lume), citează cartea [18], și prezintă de asemenea diversele scheme de tratare clasice ale Principiilor Termodinamicii. {Schemele clasice de tratare a Principiilor Termodinamicii au fost reluate și dezvoltate, împreună cu cele mai recente (moderne) scheme de tratare ale acestora și în cartea recentă [19]}.

Probabil că acesta a fost motivul pentru care, ulterior S. Petrescu a fost invitat de către prof. Adrian Bejan în USA la Duke University, NC, în cadrul programului pe care l-a inițiat „Duke în România” (1991-1997) împreună cu prof. Charles Harman – Directorul Școlii Doctorale (cu care a devenit ulterior buni prieteni și colaboratori în numeroase cărți și articole [21-29]). Evident că acea invitație pentru doi ani consecutiv (1991-1993) „i-a schimbat complet viața”, deoarece pe baza activității sale de la Duke University (colaborând cu A. Bejan și C. Harman), S. Petrescu a fost apoi invitat ca visiting professor timp de 10 ani la Bucknell University, Lewisburg, PA, USA (1993-1998 și apoi din nou în perioada 2001-2006). Acolo, predând multe cursuri (Energy Conversion, Advanced Energy Conversion, Thermodynamics, Thermodynamics and Heat Transfer, Thermal Design, Internal Combustion Engines, Mechanics, Engineering-100) a înțeles mai bine esența Principiilor Termodinamicii și a contribuit la fundamentarea cât mai riguroasă a Termodinamicii cu Viteză Finită (TVF), și a Metodei Directe (MD) [21,40], validată și dezvoltată succesiv în tezele lui G. Stănescu [30], M. Costea [31], C. Petre (Stanciu) [15] și, în final, validată excepțional în teza lui T. Florea [32] pentru 12 motoare Stirling (și 16 regimuri de funcționare), și publicată în câteva articole extrem de importante pentru dezvoltarea și promovarea Termodinamicii cu Viteză Finită (TVF) [16,25-29], cu dezvoltările ulterioare din tezele Georgianeii Țircă-Dragomirescu [33] și Cătălina Dobre [1].

2.2. Formularea Principiului I pentru sisteme simple în Termodinamica cu Viteză Finită

S. Petrescu a încercat chiar să dezvolte o *nouă schemă de tratare a Principiului II* [34], propunând o nouă formulare a Principiului II „într-o formă cât mai clară și intuitivă”, apropiată de ceea ce observăm „chiar cu ochiul liber”, dar mai ales cu aparatele de măsură, și anume, că: „*orice sistem aflat în stare de dezechilibru tinde de la sine către echilibru*”.

Plecând de la această „nouă formulare a Principiului II”, S. Petrescu a încercat să ajungă la conceptul de *entropie* [18], pe o cale cât mai simplă și mai ușoară de înțeles de către studenți și apoi „de către profesori” (colegii de catedră și nu numai).

Aceste cercetări au condus la:

➤ Scrierea pentru prima oară a **Principiului I pentru procesele cu Viteză Finită**, (de către S. Petrescu în colaborare cu conducătorul său de doctorat, prof. Stoicescu Lazăr) în articolele publicate în 1964 [35,36], apoi în teza sa de doctorat în 1969 [35] și ulterior în cartea: *Principiile Termodinamicii*, publicată în 1983 [18]:

$$dU = \delta Q - p \left(1 \pm \frac{av}{c} \right) dV \quad (1)$$

➤ Elaborarea a 11 articole fundamentale pentru dezvoltarea Termodinamicii cu Viteză Finită în perioada de „pionierat“ 1964-1973 [36-39, 40-46], și ulterior a Metodei Directe [16, 26, 27, 28, 29, 47], cu toate aplicațiile care au rezultat de aici.

2.3. Formularea Principiului I pentru sisteme complexe în Termodinamica cu Viteză Finită

Toate aceste cercetări au condus mai târziu, „în perioada de maturizare” (1991-1993) la scrierea *Principiului I pentru procesele ireversibile în care apar 3 cauze de ireversibilitate internă (viteza finită – termenul aw/c , frecarea cu viteză finită – termenul $\Delta P_f / p_{mi}$, laminarea cu viteză finită – termenul $\Delta P_{lam} / p_{mi}$)*. [21-33, 47, 48].

$$dU = \delta Q - p_{mi} \left(1 \pm \frac{aw}{c} \pm \frac{\Delta P_f}{p_{mi}} \pm \frac{\Delta P_{lam}}{p_{mi}} \right) dV \quad (2)$$

2.4. Formularea interacțional-cauzală a Principiului I pentru procese cu viteză finită

Toate aceste cercetări s-au bazat pe *Formularea Interacțional-Cauzală a Principiului I*, publicată mai întâi în cartea **Principiile Termodinamicii** [18]. Este remarcabil faptul că prof. Valeriu Jinescu ulterior a adoptat (și citează cartea [18]) și a dezvoltat această tratare și pentru *fenomenele termodinamice ireversibile din solide și lichide* [49,50]. Cu această ocazie, prof. V. Jinescu introduce conceptele noi de « *energie cauză* » și « *energie efect* », în tratarea interacțional-cauzală a Principiului I al Termodinamicii. Recent, pe baza acestor concepte, V. Jinescu, S. Petrescu și C. Jinescu [51, 52] au ajuns la unele similitudini între tratarea fenomenelor ireversibile din gaze, lichide și solide. Aceste lucrări [51,52] deschid o perspectivă extrem de importantă privind: „*Unificarea tratării proceselor ireversibile în cadrul Termodinamicii cu Viteză Finită atât pentru gaze cât și pentru lichide și solide*”, folosind aceleași concepte, o formulare matematică a Principiului I pentru procesele cu Viteză Finită similară pentru orice corpuri/sisteme (gaze, lichide, solide, solide visco-elastice), și o metodologie similară cu cea ce numim astăzi „doar pentru gaze și vapori deocamdată” *Metoda Directă*. Întrucât o astfel de unificare a tratării proceselor ireversibile a fost realizată deja între mașinile termice și aparatele electrochimice (baterii, electroizoare și pile de combustie) [29, 45, 46], perspectiva menționată mai sus va conduce practic la generalizarea Termodinamicii cu Viteză Finită și a Metodei Directe, atât pentru orice corpuri (gaze, vapori, lichide, solide) cât și pentru orice mașini termice sau/și aparate electrochimice.

3. CONSECINȚE ALE FORMULĂRII INTERACȚIONAL - CAUZALE A PRINCIPIULUI I AL TERMODINAMICII PENTRU DEZVOLTAREA TERMODINAMICII CU VITEZĂ FINITĂ (TVF) ȘI A METODEI DIRECTE (MD)

În prezenta lucrare, folosind formularea *interacțional - cauzală a Principiului I*, vom încerca să răspundem celor două întrebări fundamentale ridicate de profesorul Dobrovicescu, în speranța că aceste răspunsuri ne vor ajuta atât pe noi (cei care am creat această nouă ramură a Termodinamicii

Ireversibile, Termodinamica cu Viteză Finită și cei care au folosit-o și o folosesc deja), cât și pe cei care doresc să înțeleagă mai bine TVF și Metoda Directă, și desigur intenționează să o folosească.

În cursurile mele (n.r. Stoian Petrescu) de Termodinamică (atât în România, în Franța, în Finlanda și în USA) începeam prin introducerea a 5 *concepte fundamentale (sistem, stare, structură, interacțiune, proces)*. Aceste concepte sunt „interconectate între ele” prin următoarea frază:

„Orice *proces este determinat (cauzal) prin interacțiunile dintre sistem și mediul ambiant și constă în schimbarea stării (și uneori, a structurii) acestuia*”.

Apoi arătam că există de fapt doar două tipuri de interacțiuni: *căldura Q și lucrul W_i* , (care poate fi: mecanic, electric, magnetic, electrochimic, etc.), de unde a rezultat scrierea lui Planck [aici se poate constata influența tratării lui Planck a Principiului I asupra mea când am scris cele două ecuații (1) și (2) în același format ca și Planck] și nu în formatul „clasic ingineresc” al lui Clausius: $\delta Q = dU + \delta W$. De remarcat faptul că în această ecuație Clausius folosea litera „d” în loc de notația actuala cu „ δ ” în fața lui Q și W . Asta înseamnă că la Clausius încă mai existau confuzii între o energie U și formele de transfer de energie prin interacțiuni, adică Q și W a Principiului I. Planck a fost acela care a făcut „lumină” în utilizarea notației cu δ în loc de „d” pentru a distinge între mărimea de stare U – energia internă, care admite o diferențială, și cele două interacțiuni energetice Q și W , care nefiind mărimi de stare, nu admit diferențiale, motiv pentru care el introduce formatul „nou” la acea vreme:

$$dU = \delta Q - \sum \delta W_i \quad (3)$$

Scrisă fără explicații, doar simbolic, formula (3) devine ceea ce a scris Planck pentru prima oară în istoria Termodinamicii, care, deși pare doar o „transformare algebrică, este crucială pentru înțelegerea esenței Principiului I, și anume:

$$\begin{aligned} dU \text{ (schimbarea de stare a sistemului exprimată prin variația energiei interne)} = \\ = \delta Q \text{ (măsura energetică a interacțiunii neordonate prin căldură)} + \\ - \sum \delta W_i \text{ (suma interacțiunilor ordonate prin diverse forme de lucru)} \end{aligned} \quad (4)$$

În cazul în care procesul este *reversibil și cvasistatic*, viteza procesului w tinde către zero și din ecuațiile (1) și (2) și din (4) se regăsește *expresia clasică a Principiului I pentru sistemele închise cu un singur tip de lucru, anume lucrul mecanic reversibil (pdV)*:

$$dU = \delta Q - pdV \quad (5)$$

În cazul în care *procesele se desfășoară cu viteză finită*, cauza acestora, care constă în *dezechilibrele între sistem și mediul ambiant* (exprimate prin căderile de presiune: ΔP_w , ΔP_f , ΔP_{lam}) se regăsește în paranteza din ecuația (2).

Aceste căderi de presiune (diferențe de presiune între sistem și mediul ambiant) sunt *cauzele ireversibilităților interne* și, de aceea, ele intervin în *transferul de energie cu viteză finită între sistem și mediul ambiant*, deoarece *depind de viteza procesului* și, de fapt, *determină viteza procesului*:

$$\Delta P_w = \frac{aw}{c}; \quad \Delta P_f = A + Bw; \quad \Delta P_{lam} = Cw^2 \quad (6)$$

Când am făcut cercetări teoretice pentru a găsi primul termen ΔP_w , pe cale cinetico-moleculară [35, 36, 40] și, apoi, pe baza Termodinamicii Fenomenologice Ireversibile Liniare (TFIL) (Onsager-Prigogine), S. Petrescu a folosit, de fapt, Principiul II, prin *sursa de entropie* introdusă de Onsager [53] ca bază de plecare a primei Termodinamici Ireversibile de succes.

Astfel, în lucrările [35,41], S. Petrescu a găsit că, „chiar și numai pe baza TFIL se poate demonstra că ΔP_w depinde într-adevăr de viteza procesului w , având expresia:

$$\Delta P_w = Kw \quad (7)$$

Folosirea Principiului II, pentru a deduce formula (7) „demonstrează” faptul esențial că formulele (1) și (2) combină pentru procesele ireversibile cu viteză finită, Principiul I cu Principiul II al Termodinamicii. Astfel se explică „forța” Metodei Directe bazată pe aceste expresii (1) și (2), cât și corespondența lor cu realitatea acestor procese, fapt care a făcut posibilă **validarea** spectaculoasă a acestei noi metode de tratare a proceselor ireversibile din mașinile termice.

A doua formulă din ec.(6) se bazează pe *mii de experimente* efectuate pe motoarele cu ardere internă, descrise cantitativ de Heywood [54] ca funcție de turație și „reexprimate” de S. Petrescu și M. Costea [27,29,31] în funcție de viteza medie a pistonului w . A treia formulă din ecuația (6) are la bază sute de experimente de curgere prin sitele regeneratoarelor prezentate de Organ [55] într-un grafic ce corelează căderea de presiune ΔP_{lam} cu criteriul Reynolds Re , „reprezentând multe puncte” ca rezultate din aceste experimente, dar fără să stabilească o corelație (expresie analitică, formulă) matematică între acestea. Pornind de la acel grafic al lui Organ [55], S. Petrescu și M. Costea [29,31,47] au exprimat pentru prima oară analitic această *cădere de presiune ΔP_{lam} în regeneratorul Stirling* ca funcție de viteza medie a pistonului w prin formula:

$$\Delta P_{lamR} = 15\rho w^2 N_s \quad (8)$$

Aceste trei exprimări analitice, ecuațiile (6) ale căderilor de presiune funcție de viteza procesului au fost esențiale pentru succesul remarcabil al Metodei Directe în validarea schemei de calcul a performanțelor (randament și putere) pentru 12 dintre cele mai performante motoare Stirling (și 16 regimuri de funcționare) în lucrările [27, 32], precum și validările ulterioare pentru motorul Stirling Sunmachine [4,33] și pentru motorul Stirling WisperGen [1, 13], cât și validarea realizată de cercetătorii mexicani [56] pentru motorul Robinson (menționată mai jos).

După validarea prezentată în articolul IJER [27,32], Metoda Directă din TVF a devenit cunoscută în întreaga lume și în prezent tot mai mulți cercetători (chinezi, irlandezi, iranieni, irakieni, mexicani) o folosesc pentru optimizarea mașinilor termice [57-65]. Cea mai recentă validare au realizat-o cercetătorii mexicani: Ignacio Carvajal, Georgiy Polupan, Guillermo Jarquin, Jorge Vázquez, după ce au cuplat-o cu *schema profesorului american Senf*, dedicată mașinilor Stirling de mică putere funcționând cu *diferențe foarte mici de temperatură (de câteva grade)* și cu *schema profesorului german Schmidt*, generând *o nouă schemă de calcul a performanțelor acestor tipuri de mașini Stirling*, pe care au numit-o [56]: *Schema Senf – Schmidt – Petrescu*, în lucrarea lor recentă [56].

Evident că prin dezvoltarea acestei noi scheme de calcul a performanțelor mașinilor Stirling se recunoaște importanța deosebită a **Metodei Directe**, și, implicit, importanța Termodinamicii cu Viteză Finită (pentru optimizarea mașinilor termice) - creație a Școlii de Termodinamică Românească.

4. CUM ȘI DE CE AM CONSTRUIT TVF ASTFEL ÎNCÂT „SĂ FIE SIMILARĂ” CU TERMODINAMICA CLASICĂ REVERSIBILĂ?

Am numit **Metoda Directă** [21,25,26,48] schema de calcul elaborată și folosită prima oară pentru a calcula *performanțele ciclului unui motor Otto cu viteză finită* [29], deoarece și-a propus chiar din start, „să fie similară” metodei de găsire a expresiilor performanțelor ciclurilor termodinamice (randament/COP și putere) din Termodinamica Clasică Reversibilă (TCR).

Ce înțelegem de fapt „prin a fi similară”?

Metoda Directă a fost construită intenționat (de la început) „să fie similară” cu *Metoda Cicurilor* din *Termodinamica Clasică* de studiu a ciclurilor mașinilor termice (producătoare sau consumatoare de lucru mecanic), și anume să fie capabilă **să studieze pas cu pas fiecare transformare de stare** din orice ciclu. *Structura TVF este în întregime analitică*, ca și cea a TCR.

Pentru a putea face acest lucru era absolut necesară găsirea unor *noi ecuații ale celor 5 procese fundamentale din Termodinamica Clasică* (izocoră, izotermă, izobară, adiabată, politropă) dar nu reversible, ci *ireversibile cu viteză finită*. Acest lucru nu a fost posibil decât pornind, ca în Termodinamica Clasică, de la Principiul I, dar *scris pentru procesele cu viteză finită*, adică tocmai ceea ce am reușit să facem mai întâi în ecuația (1) cu o singură cauză de ireversibilitate internă (aw/c), și mai târziu, (în perioada 1991-1994): prin cartea lui S. Petrescu publicată în 1991 în Finlanda [47], apoi prin lucrarea fundamentală realizată de colectivul de la Universitatea Politehnică București, catedra Termotehnică: S. Petrescu, G. Stănescu, R. Iordache, A. Dobrovicescu și comunicată la Congresul Internațional organizat de ASME (American Society of Mechanical Engineering) din Zaragoza (Spania) în 1992 [48] și apoi prin lucrarea lui S. Petrescu și C. Harman, publicată în Japonia în 1994 [21] generând formula (2) în care apar cele 3 cauze de ireversibilitate: (aw/c , $\Delta P_f / p_{mi}$, $\Delta P_{lam} / p_{mi}$).

În acest mod se obțin „direct” performanțele oricărui ciclu format din aceste 5 transformări cu viteză finită, randamentul (sau COP-ul) și puterea putând fi astfel în final exprimate analitic, în funcție de viteza procesului, și de alți parametri constructivi - geometrici și funcționali (de ex: temperaturile de la surse: T_H și T_L).

Nicio altă metodă folosită în cadrul diverselor ramuri ale Termodinamicii Ireversibile nu a reușit încă această performanță, de aceea ele se pot numi „metode indirecte”, chiar dacă ajung la unele formule de evaluare sau calcul al performanțelor, pentru care pot obține chiar „validări parțiale”, pentru cazuri particulare de mașini termice sau cicluri termodinamice. Celebru este, de exemplu, codul NASA pentru mașinile Stirling, valabil doar pentru un singur motor Stirling cu pistoane libere (cel cu care NASA dorea să ajungă pe planeta Marte), care folosește 9 parametri de ajustare, față de doar 3 folosiți inițial sau chiar 2 în final, în validarea Metodei Directe pentru motoarele Stirling [27, 32].

Metodele acestea se pot numi „indirecte” și datorită faptului că *nu pornesc de la o ecuație fundamentală a Termodinamicii*, cum este ecuația (2) care include pierderile interne generatoare de ireversibilitate (și care combină de fapt Principiul I cu Principiul II), ci folosesc diverse ipoteze ad-hoc, valabile „mai mult sau mai puțin” doar pentru acele cazuri particulare studiate (de către fiecare cercetător în parte), care urmează să fie validate de fiecare dată.

Uneori această validare „nu se poate realiza” (indiferent de eforturile făcute) cum a fost cazul multor lucrări dezvoltate în cadrul Termodinamicii în Timp Finit (TTF), criticată tocmai din aceasta cauză „atât de dur” de către renumiții profesori americani Moran [66,67] și Giftopolous [68]. Ei au criticat tocmai imposibilitatea validării, care a dus la incapacitatea de folosire eficientă a rezultatelor acesteia (TTF) de care inginerii proiectanți/designeri în optimizarea performanțelor oricărei mașini termice. Așa cum remarcă prof. Michel Feidt, această incapacitate a TTF se datorează faptului că „din start” nu ține cont de ireversibilitățile interne, ci ține cont doar de ireversibilitățile externe generate de ΔT -uri la surse.

În opoziție cu aceste „insatisfacții” ale TTF, reușita Metodei Directe din TVF prin validarea menționată pentru 15 mașini Stirling [1,4,12,13,27,32,33,56] face din aceasta, în momentul de față, *cea mai eficientă ramură a Termodinamicii Ireversibile Inginerești, pentru Optimizarea Mașinilor Termice și a Aparatelor Electrochimice sau a sistemelor SEHE (Combinăție între Mașini Termice și Aparate Electrochimice)*.

Evident că se impune „unificarea” TTF cu TFS pentru a combina avantajele fiecăreia. Prof. Michel Feidt împreună cu C. Petre (Stanciu) propun ca acest lucru să se realizeze prin folosirea

sursei de entropie internă ca parametru ce prinde/generează ireversibilitățile interne [15]. La acest proiect lucrează în momentul de față echipa noastră româno-franceză.

5. CONCLUZII

Ne exprimăm speranța că prin explicațiile de mai sus, care sunt *în esență, atât de natură istorică, precum și de natura epistemologică* (știința descoperirii) am reușit să răspundem cât mai clar la cele două întrebări fundamentale formulate foarte inspirat de prof. A. Dobrovicescu, întrebări esențiale pentru oricine încearcă mai întâi să pătrundă în această nouă ramură a Termodinamicii Ireversibile (TVF), apoi să o înțeleagă, pentru ca, în final să o folosească/aplice cu succes în **optimizarea mașinilor termice și a aparatelor electrochimice**.

Bibliografie

- [1] C. Dobre, „*Contribuții la dezvoltarea unor metode ale Termodinamicii Ireversibile Inginerești, aplicate în studiul analitic și experimental al mașinilor Stirling și cvasi-Carnot*”, U. P. București-Universite Paris Ouest Nanterre La Défense, septembrie 2012, PhD Thesis, 223 pag, (Advisers: S. Petrescu, P. Rochelle, L. Grosu).
- [2] S. Petrescu, L. Grosu, M. Costea, P. Rochelle, C. Dobre, C. Petre, „*Analyse Théorique et Expérimentale d'une Machine à Froid de Stirling*”, B. I.Politehnic din Iași, Tom LVI (LX), Fascicola 3, 2010, pp.145-154.
- [3] S. Petrescu, C. Harman, M. Costea, C. Petre, C. Dobre, „*Irreversible Finite Speed Thermodynamics (FST) in Simple Closed Systems. I. Fundamental Concepts*”, Termotehnica, Anul XV, nr. 2/2009, pp. 8-18.
- [4] G. Tîrcă-Dragomirescu, M. Feidt, M. Costea, A. Dobrovicescu, C. Dobre, A. Marin, „*Calculation scheme of a Thermodynamical Time dependent model of the heat regeneration process in a solar Stirling engine*”, Environmental Engineering and Management Journal, vol. 10, iss. 9, 2011, pp. 1371-1378.
- [5] S. Petrescu, C. Dobre, G. Tîrcă-Dragomirescu, M. Costea, C. Stanciu, M. Feidt, „*Performances Evaluation for a Reversed Quasi-Carnot Cycle (Refrigeration Machine) by Using the Direct Method from Finite Speed Thermodynamics*”, Advanced Materials Research II, vols. 463-464, 2012, pp. 1658-1662.
- [6] S. Petrescu, C. Dobre, C. Stanciu, M. Costea, G. Tîrcă-Dragomirescu, M. Feidt, „*The Direct Method from Thermodynamics with Finite Speed used for Performance Computation of quasi-Carnot Irreversible Cycles. I. Evaluation of coefficient of performance and power for refrigeration machines with mechanical compression of vapor*”, Revista de Chimie, vol. 63, nr.1, 2012, pp. 74-81.
- [7] S. Petrescu, C. Harman, A. Bejan, M. Costea, C. Dobre, „*Carnot cycle with external and internal irreversibilities analyzed in Thermodynamics with Finite Speed with the Direct Method*”, Termotehnica, anul XV, nr. 2/2011, pp.7-17, AGIR, 2012, ISSN-L: 1222-4057, ISSN (online) 2247-1871.
- [8] L. Grosu, S. Petrescu, C. Dobre, P. Rochelle, „*Stirling Refrigerating Machine. Confrontation of Direct and Finite Physical Dimensions Thermodynamics methods to experiments*”, IJEE, vol. 20, iss. 3, 2012, pp. 195-206, IJEEE-2011-RB-F2-4, Ed. Nova Publishers, ISSN: 1054-853X.
- [9] S. Petrescu, C. Dobre, G. Tîrcă-Dragomirescu, M. Costea, „*Performance evaluation of a reversed quasi-Carnot irreversible cycle, using the Direct Method from TFS*”, Termotehnica, anul XV, nr. 2/2011, nr.1, pp.47-52, 2012, AGIR, ISSN-L: 1222-4057, ISSN (online) 2247-1871.
- [10] S. Petrescu, C. Dobre, M. Costea, A. Dobrovicescu, G. Tîrcă-Dragomirescu, „*Entropy generation analysis and COP evaluation for a reversed quasi-Carnot cycle by using the Direct Method from TFS*”, UPB Bull., Series D, vol. 74, iss. 4, 2012, ISSN 1454-2358.
- [11] C. Dobre, S. Petrescu, M. Costea, „*Refrigeration cycles with vapor treated with the Direct Method from Thermodynamics with Finite Speed*”, Termotehnica, nr.2, pp. 70-79, 2012, ISSN-L: 1222-4057.
- [12] C. Dobre, L. Grosu, M. Costea, N. Martaj, „*Beta type Stirling engine. Confrontation of Schmidt and Finite Physical Dimensions Thermodynamics methods to experiments*”, Environmental Engineering and Management Journal – In Press. *Certificate of Acceptance* din 10 iulie 2013.

- [13] C. Dobre, L. Grosu, S. Petrescu, A. Marin, „*Micro-cogenerator with Stirling engine. The study of the system geometry and numerical simulation*”, in IJER, *in press*.
- [14] S. Petrescu, M. Costea, V. Petrescu, O. Malancioiu, N. Boriaru, C. Stanciu, E. Banches, C. Dobre, V. Mariș, C. Leontiev, „*Development of Thermodynamics with Finite Speed and Direct Method*”, Editura AGIR, 2011.
- [15] C. Petre, „*Finite Speed Thermodynamics use in the study and optimization of Carnot cycle and Stirling machines*”, PhD Thesis, PUB-UHPNancy, 2007 (Adv: S. Petrescu, M. Feidt, A. Dobrovicescu).
- [16] S. Petrescu, C. Petre, M. Costea, O. Malancioiu, N. Boriaru, A. Dobrovicescu, M. Feidt, C. Harman, „*A Methodology of Computation, Design and Optimization of Solar Stirling Power Plant using Hydrogen/Oxygen Fuel Cells*”, Energy, vol 35, no. 2, pp. 729-739. 2010.
- [17] Stanciu, C., Petrescu, S., Costea, M., Dobrovicescu, A., Stanciu, D., Tîrcă-Dragomirescu, G., „*Thermodynamic Design and Optimization of a Solar-Dish Powered Stirling Engine*”, Environmental Eng. and Management J, Vol. 10, nr. 9, 1325-1343, 2011
- [18] S. Petrescu, V. Petrescu, „*Principiile Termodinamicii. Evoluție, Fundamentări, Aplicații*”, Ed. Tehnică, București, 1983.
- [19] S. Petrescu, „*Tratat de Inginerie Termică. Principiile Termodinamicii. Abordări Clasice și Moderne*”, Editura AGIR, București, 2007.
- [20] A. Bejan, „*Advanced Engineering Thermodynamics*”, 1998, John Wiley & Sons, Inc.. Tradusă în limba română de : S. Petrecu, M. Costea, R. Dănescu, G. Stănescu, G. Stoian, cu titlul : „*Termodinamică Tehnică Avansată*”, în Editura Tehnică, București, 1996.
- [21] S. Petrescu, C. Harman, „*The Connection between the First and Second Law of Thermodynamics for Processes with Finite Speed. A Direct Method for Approaching and Optimization of Irreversible Processes*”, Journal of the Heat Transfer Society of Japan, vol.33, no.128, 1994.
- [22] S. Petrescu, C. Harman, A. Bejan, „*The Carnot Cycle with External and Internal Irreversibility*”, Proc. of Florence World Energy Research Symposium, Firenze, Italy, 1994.
- [23] S. Petrescu, C. Harman, V. Petrescu, „*Stirling Cycle Optimization Including the Effects of Finite Speed Operation*”, Proc. of ECOS' 96, Stockholm, Sweden, pp.167-173, 1996.
- [24] M. Costea, S. Petrescu, C. Harman, „*Effect of Irreversibilities on Solar Stirling Engine Cycle Performance*”, Proc. of ECOS' 98, Nancy, France, pp. 821-828, 1998.
- [25] S. Petrescu, T. Florea, C. Harman, M. Costea, „*A Method for calculating the coefficient for the regenerative losses in Stirling Machines*”, Proceedings of the 5th European Stirling Forum 2000, Osnabruck, Germany, p. 121-129, 2000.
- [26] S. Petrescu, C. Harman, M. Costea, T. Florea, „*A Method For Determining the Performance of Stirling Machines based on the First Law for Processes with Finite Speed and Using a PV / Px Diagram*”, Proceedings Fifth World Conference on Integrated Design & Process Technology, Dallas, USA, 2000.
- [27] S. Petrescu, M. Costea, C. Harman, T. Florea, „*Application of the Direct Method to Irreversible Stirling Cycles with Finite Speed*”, International Journal of Energy Research, Vol. 26, p. 589-609, 2002.
- [28] S. Petrescu, C. Harman, M. Costea, M. Feidt, „*Thermodynamics with Finite Speed versus Thermodynamics in Finite Time in the Optimization of Carnot Cycle*”, Proc.6-th ASME-JSME Conf., Hawaii, USA, March 16-20, 2003.
- [29] S. Petrescu, C. Harman C., M. Costea, T. Florea, C. Petre, „*Advanced Energy Conversion*”, Vol.I and Vol.II, Lewisburg, Bucknell University, USA, 2006.
- [30] G. Stănescu, „*The study of the mechanism of irrev. generation in order to improve the performances of thermal machines and devices*”, PhD Thesis, (Adv: S. Petrescu), U. P. B, 1992.
- [31] M. Costea, „*Improvement of Heat Exchangers Performance in view of the Thermodynamic Optimization of Stirling Machine. Unsteady-state Heat Transfer in Porous Media*”, PhD Thesis, (Advisers: S. Petrescu, M. Feidt) P. U. B. & U. H. P. Nancy 1, 1997.
- [32] T. Florea, „*Grapho-Analytical Method for the study of the operating processes irreversibility in Stirling Engines*”, PhD Thesis, (Adviser: S. Petrescu), P.U. Bucharest, 1999.
- [33] G. Tîrcă – Dragomirescu, „*Optimizarea exergoeconomică a sistemelor de trigenerare a energiei*”, 206 pag, septembrie 2012, P. U. B. & U. H. P. Nancy 1, (Adv: A. Dobrovicescu, M. Feidt).
- [34] S. Petrescu, „*On Introducing Entropy and the Second Law*” (This study was done in USA, at Rensselaer Polytechnic Institute, Troy, New York, USA, with the help of Prof. H. C. Van Ness, when I was there as a Fulbright Visiting Scholar in 1968). Revue Romaine des Sciences Techniques – Serie Electrotechnique et Energetique, Romanian Academy, Bucharest. 17, 1, pp. 145-154, 1972.

- [35] S. Petrescu, „*Contribution to the study of Thermodynamic Non-equilibrium Interactions and Processes in Thermal Machines*”, PhD Thesis, (Adviser: L. Stoicescu) I.P.B., Bucharest, 1969.
- [36] L. Stoicescu, S. Petrescu, „The First Law of Thermodynamics for Processes with Finite Speed, in Closed Systems”, *Bul. I.P.B.*, 16, No. 5, pp. 87-108, 1964.
- [37] L. Stoicescu, S. Petrescu, „*Thermodynamic Processes with Constant Finite Speed*”, *Bul. IPB. Vol. XXVI*, Nr.6, pp.79-119, 1964.
- [38] L. Stoicescu, S. Petrescu, „*Thermodynamic Processes with Variable Finite Speed*”, *Bul. IPB.*, Vol. XXVII, Nr. 1, pp. 65-96, 1965.
- [39] L. Stoicescu, S. Petrescu, „*Thermodynamic Cycles with Finite Speed*”, *Polytechnic Institute of Bucharest Bulletin*, Vol. XXVII, Nr. 2, pp. 82-95, 1965.
- [40] S. Petrescu, „*Considerații cinetice privind presiunea pe un piston mobil*”, *Studii și Cercetări de Energetică și Electrotehnică, Academia Română*, Vol. 21, 1, pp. 93-107.
- [41] S. Petrescu, „*Determinarea lucrului mecanic în procesele termodinamice de viteză finită folosind metoda termodinamicii ireversibile fenomenologice*”, *Studii și Cercetări de Energetică și Electrotehnică, Academia Română*, Vol. 19, Nr. 2, p. 249-254, 1969.
- [42] L. Stoicescu, S. Petrescu, „*Verificarea Experimentală a Noii Expresii a Primului Principiu pentru Procesele cu Viteză Finită*” (The Experimental Verification of The New Expression of the First Law for Thermodynamic Processes with Finite Speed), *Buletinul IPB*, Vol. XXVII, Nr. 2, pp. 97-106, 1965.
- [43] S. Petrescu, „*Studiul interacțiunii de viteză finită în cazul proceselor de curgere*”, *Studii și Cercetări de Energetică și Electrotehnică. Academia Română*, 23, 2, pp. 299-312. 1973.
- [44] S. Petrescu, „*Studiul experimental al interacțiunii gaz-piston mobil, în cazul unui sistem deschis*”, *Studii și Cercetări de Mecanică Aplicată, Academia Română*, 31, 5, pp. 1081-1086, 1972.
- [45] V. Petrescu, S. Petrescu, „*A Treatment of the Concentration Overpotential using the Thermodynamics of Irreversible Processes*”, *Revue Roumaine de Chimie, Romanian Academy*, 16, 9, pp. 1291-1296, 1971.
- [46] S. Petrescu, V. Petrescu, G. Stanescu, M. Costea, „*A Comparison between Optimization of Thermal Machines and Fuel Cells based on New Expression of the First Law of Thermodynamics for Processes with Finite Speed*”, *Proc. First International Thermal Energy Congress, Marrakech, Marokko*, 1993.
- [47] S. Petrescu, „*Lectures on New Sources of Energy*”, *Helsinki University of Technology, Finland*, 1991.
- [48] S. Petrescu, G. Stănescu, R. Iordache, A. Dobrovicescu, „*The First Law of Thermodynamics for Closed Systems, considering the Irreversibilities generated by the Friction Piston-Cylinder, the Throttling of the working Medium and Finite Speed of the Mechanical Interaction*”, *Proc. of ECOS'92, Zaragoza, Spain, ASME*, pp. 33-39, 1992.
- [49] V.V. Jinescu, „*Principiul conservării energiei în formulare cauzală*”, *Revista de Chimie*, 38, nr.6, pp. 469-474, 1987.
- [50] V.V. Jinescu, „*Energonică*”, pp. 26-27, editura Semne, Bucuresti, 1997.
- [51] V. V. Jinescu, S. Petrescu, C. Jinescu, „*Energy, Work, Heat and Efficiency in Processes with Gases, Viscos and Viscoelastic Liquids and Solids, I*”, *Revista de Chimie*, 64, nr. 5, pp. 457-467, 2013.
- [52] V. V. Jinescu, S. Petrescu, C. Jinescu, „*Energy, Work, Heat and Efficiency in Processes with Gases, Viscos and Viscoelastic Liquids and Solids, II*”, *Revista de Chimie*, 64, nr. 6, pp. 630-638, 2013.
- [53] L. Onsager, *Phys Rev.(a)*, 37, 405; 6, 38, 2265, 1931.
- [54] J. B. Heywood, „*Internal Combustion Engine Fundamentals*”, McGraw-Hill Book Company, USA, 1988.
- [55] J. A. Organ, „*Thermodynamic design of Stirling cycle machine*”, *Proc. Mech. Engrs.*, vol. 201, nr. C2, pp.107-116, 1987.
- [56] Ignacio Carvajal, Georgiy Polupan, Guillermo Jarquin, Jorge Vázquez, „*Optimization of the Thermal Efficiency of a Robinson Engine Applying the Senft-Schmidt-Petrescu Model*”, *Información Tecnológica Vol. 24 (3)*, 85-94 (2013), On-line version ISSN 0718-0764, *Inf. Tecnol. vol.24 no.3 La Serena, MEXIC*, 2013, <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642013000300010>.
- [57] H. Feng, L. Chen, F. Sun, „*Effects of unequal finite speed on the optimal performance of endoreversible Carnot refrigeration and heat pump cycles*”, *Int. J. of Sust. Energy*, vol. 30, no. 5, p. 289-301, 2011.
- [58] H. Feng, L. Chen, F. Sun, „*Optimal ratio of the piston for a finite speed irreversible Carnot heat engine cycle*”, *International Journal of Sustainable Energy*, vol. 30, no. 6, p.321-335, 2011.
- [59] H. Feng, L. Chen, F. Sun, „*Optimal ratio of the piston for a finite speed endoreversible Carnot heat engine cycle*”, *Revista Mexicana de Fisica*, vol. 56, no. 2, p.135-140, 2010.

- [60] Chen L. G., Feng H. J., Sun F. R., „*Optimal piston speed ratio analyses for irreversible Carnot refrigerator and heat pump using finite time thermodynamics, finite speed thermodynamics and direct method*”, International Journal of Energy Institute, 2011.
- [61] H. Feng, L. Chen, F. Sun, „*Performance analysis and optimization for an endoreversible Carnot heat pump cycle with finite speed of the piston*”, International Journal of Energy Environment, 2011.
- [62] B. Cullen, J. McGovern, S. Petrescu, M. Feidt, „*Preliminary Modelling Results for Otto-Stirling Cycle*”, Proc. ECOS -2009, Foz de Iguasu, Parana, Brazil, p. 2091-2100, Aug. 31 - Sept. 3, 2009.
- [63] J. McGovern, B. Cullen, M. Feidt, S. Petrescu, „*Validation of a Simulation Model for a Combined Otto and Stirling Cycle Power Plant*”, Proc. of ASME 2010, 4th International Conference on Energy Sustainability, ES-2010, May 17-22, Phoenix, Arizona, USA 2010.
- [64] M. Feidt, B. Cullen, J. McGovern, S. Petrescu, „*Thermodynamics Optimization of the Endoreversible Otto / Stirling Combined Cycle*”, ECOS-2010, 15-17 June, Lausanne, Switzerland, 2010.
- [65] V. Siva Reddy, S. C. Kaushik, K. R. Ranjan, S. K. Tyagi, „*State-of-the-art of solar thermal power plant*”, Renewable&Sustainable Energy Reviews, vol. 27, pp. 258-273, 2013.
- [66] M. J. Moran, „*A Critique of Finite Time Thermodynamics*”, Proc ECOS' 98, Nancy, France, Ed: A. Bejan, M. dt, M. J. Moran , G. Tsatsaronis, Nancy, France, pp. 1147-1150, 1998.
- [67] M. J. Moran, „*On Second Law Analysis and the failed Promises of Finite Time Thermodynamics*”, Energy, vol. 23, pp. 517-519, 1998.
- [68] E.P. Gyftopoulos, „*Fundamentals of Analysis of Processes*”, Energy Conversion & Management, vol. 38, pp. 1525-1533, 1997.