

ALGORITM ȘI PROGRAM PENTRU CALCULUL CÂMPULUI TERMIC ÎN REGIM NESTAȚIONAR

Nicolaie OANCEA*, Mihai JĂDĂNEANȚ**

*Germania, **UNIVERSITATEA POLITEHNICA din Timișoara

Abstract. In the paper there is described a computational program for the temperature distribution in a non homogenous and non steady system. In the program can be defined more structural types and more heat sources types.

1. INTRODUCERE

În multe cazuri este necesară cunoașterea structurii câmpului termic din interiorul unui corp, deoarece prin depășirea anumitor limite ale temperaturii se pot produce efecte nedorite. Uneori temperatura surselor cu care corpul vine în contact se modifică în timp, ceea ce complică tematica.

Rezolvările propuse în literatura de specialitate cuprind soluții aproximative și rezultă prin studiul unor cazuri simple asemănătoare.

În teoria clasică a transferului termic conductiv, se consideră cazul cu totul particular al unei perete plan, străbătut de un flux termic transversal, constant în timp. Corpul are proprietăți termice uniforme și coeficienți termici convectivi alfa (prin care se realizează transferul termic între cele două surse termice exterioare, cu care corpul este în contact) constanți.

Folosind asemănarea dintre ecuația elementară ce definește transferul termic conductiv și ecuația elementară ce definește procesul electric rezistiv (în cazul regimului termic stabilizat și a regimului electric stabilizat, deci atunci când temperaturile, respectiv tensiunile, nu se modifică în timp), s-a dezvoltat așa zisa „analogie electrică a transferului termic conductiv”. Cu ajutorul acestei metode, pentru un corp de o formă impusă, folosind un model electric, de aceeași formă cu cea a corpului termic dat, se poate determina alura câmpului termic din interiorul corpului, atunci când, pe contur, sau în interior, se găsesc surse termice de temperaturi constante. Structura corpului termic poate fi omogenă sau neomogenă. Cu ajutorul modelării electrice se pot determina câmpuri termice stabilizate.

O altă metodă folosită pentru determinarea câmpului termic dintr-o structură solidă, este metoda numerică de calcul. În acest caz, se operează cu un „model numeric” de calcul, model care utilizează elemente finite de dimensiuni cât mai mici, cărora li se aplică algoritmul dezvoltat la definirea sistemului infinitesimal de calcul, enunțat în teoria transferului termic. În plus, cu ajutorul ecuației de bilanț termic, $Q_{\text{tau}} = m.c.dt$, se poate modela modificarea în timp a temperaturii unui corp, atunci când este cunoscut aportul termic Q (W), ceea ce extinde natura tematicii. Se pot rezolva în acest mod procese termice stabilizate, cât și procese termice tranzitorii, ceea ce nu este posibil în

cazul analogiei electrice. Modelarea numerică permite și studiul câmpurilor termice din interiorul volumelor, folosindu-se matrici tridimensionale. Calculatoarele moderne, rapide, echipate cu memorii mari, permit creșterea numărului elementelor finite din care este alcătuită structura corpului și reducerea dimensiunilor acestor elemente; de asemenea pasul elementar de timp (Δt) se poate micșora, prin creșterea numărului de cicluri.

Rezultă că, pentru realizarea unui program de calcul, în scopul determinării structurii câmpului termic într-un corp, supus unui regim termic variabil, construit cu ajutorul modelării numerice, este nevoie doar de găsirea unei formule prietenoase pentru construirea modelului și de existența unui calculator corespunzător, neexistând probleme teoretice deosebite în elaborarea programului de calcul.

2. ALCĂTUIREA STRUCTURII CORPULUI

Autorii au elaborat un program de calcul, destul de general, definit cu ajutorul unei structuri plane, alcătuită din pînă la $30 \times 24 = 720$ volume elementare, dispuse într-un dreptunghi. Cu ajutorul acestuia, se modelează atât construcția corpului (formă, alcătuire a proprietăților termice conductive, lamda) cât și cea a zonelor ocupate de agenții termici cu care aceasta este în contact (temperaturi, coeficienți de transfer termic spre elementele din construcția corpurilor alăturate, alfa). Folosind acest cadru, se pot construi modele plane de diverse forme și alcătui.

Corpul din fig. 1, este alcătuit din $4 \times 4 = 16$ volume elementare, având dimensiunea perpendiculară pe planul hârtiei egală cu unitatea și dimensiunile în plan dx și dy egale:

$$dx = dy = l_{\text{gros}} \text{ (m)} \quad (1)$$

Fiecare volum elementar poate fi în plan în contact cu alte 4 volume elementare identice ca dimensiuni, situate lângă cele patru laturi ale sale (cu excepția volumelor marginale și de colț care sunt în contact numai cu trei, respectiv cu două volume elementare). Acestea pot fi de două feluri :

– volume elementare de tip 1, de proprietăți termice: densitate – (ρ), caldură specifică – (c_{sp}) și conductivitate termică – (λ) constante, cunoscute. În

cele ce urmează volumele de tip 1 vor fi denumite „volum corp”.

← L gros →			
El 11 El mod 1	El 21 El mod 1	El 31 El sur 1	El 41 El mod 1
El 12 El sur 1	El 22 El mod 1	El 32 El sur 1 T (i, j-1)	El 42 El sur 1
El 13 El mod 2	El 23 El mod 2 T (i-1, j)	El 33 El mod 1 T (i, j)	El 43 El mod 1 T (i+1, j)
El 14 El mod 2	El 24 El mod 2	El 34 El sur 2 T (i, j+1)	El 44 El mod 1

Fig. 1. Alcătuirea unui corp format din 16 elemente, 2 tipuri de surse și 2 tipuri de structuri.

- volume elementare de tip 2, prin care circulă surse. Acestea se deosebesc de volumele de tip 1 prin aceea că au temperatură constantă în timpul unei baleieri (definită printr-un anumit pas de timp, tau) și coeficienți de convecție (alfa) cu ajutorul cărora se cedează căldură volumelor învecinate de tip 1 (cu care eventual vin în contact) constanți. În cele ce urmează acestea vor fi denumite „volum sursă”.

Structura din cadrul fig.1 conține 11 volume de tip 1 (corp) și 5 volume de tip 2 (sursă).

Volumele de tip corp pot fi de 5 feluri, fiecare fel fiind definit prin proprietăți termotehnice, lamda (W/m.grd.C) constante. În cazul din Fig.1 cele 11 volume corp sunt de 2 feluri (7 volume sînt de fel Elmod1 și 4 volume sunt de fel Elmod2). În alcătuirea structurii, este posibil ca volumele de tip corp să nu formeze un tot unitar. Spre exemplu, volumul corp El 41 din Fig.1, nu este în contact cu restul volumelor corp din cadrul structurii. Folosind acest principiu, se pot imagina diverse forme și alcătuirii ale structurii a cărui câmp termic urmează a fi determinat.

Volumele de tip sursă pot fi de 3 feluri, fiecare tip dintre acestea fiind definit printr-o anumită temperatură și un anumit coeficient de convecție alfa (W/mp.grd.C). Temperaturile surselor se pot modifica la schimbarea ciclului (deci între două baleieri), după o lege stabilită de programator (creșteri sau descreșteri de temperatură cu o rație -grad Celsius/ciclu- dată), dar se păstrează constante în timpul rulării unui ciclu. Sursele termice de feluri diferite nu pot fi așezate alăturat, deci nu pot fi în contact unele cu altele, deoarece ele pot avea temperaturi diferite. În cazul din Fig.1 volumele sursă sunt de 2 feluri (4 volume sunt de fel sur 1 și 1 volum este de fel sur 2).

3. MODUL DE CALCUL AL TEMPERATURILOR DIN VOLUMELE DE TIP CORP PENTRU UN CICLU

În cele ce urmează se va prezenta detaliat modul în care, în interiorul programului, se efectuează calculul, pentru volumul El 33. Acesta este pus în contact cu două volume de tip corp (stînga El23- dreapta El43) și cu două volume de tip sursă (sus El 32 - jos El 34). Atît volumele de tip corp, cît și volumele de tip sursă, cu care volumul El 33 este pus în contact, sunt de feluri diferite: Elmod1, Elmod2 și Elsur1 și Elsur2. Temperatura volumului El 33 și a volumelor alăturate, existente la începerea calculului, sunt indicate în fig. 1.

Volumul El 33, este pus pe rînd în contact cu volumele limitrofe în ordinea următoare: sus, jos, stînga dreapta. Calculul descris mai jos are loc în cuprinsul unui pas de timp (tau). Căldura schimbată cu volumul El 32 (de sus) în timpul (tau) este:

$$\text{Cald1} = (\text{alfa32}) \times \text{lgros} \times 1 \times (T(i,j-1) - T(i,j)) \times \text{tau} \quad (\text{J}) \quad (1)$$

Această energie este preluată de volumul El 33 prin creșterea temperaturii sale după timpul (tau) cu (deltat33s):

$$\text{Cald1} = (\text{ro33}) \times (\text{lgros}) \times (\text{lgros}) \times 1 \times (\text{caldsp33}) \times (\text{deltat33s}) \quad (\text{J}) \quad (2)$$

Rezultă că temperatura volumului El 33 după consumarea acestei faze (după timpul tau) nu va mai fi T(i,j) ci T(i,j) + (deltat33s).

Pentru faza următoare vom nota noua temperatură a volumului El 33 :

$$t_x = T(i,j) + (\text{deltat33s}) \quad (\text{grd.C}) \quad (3)$$

Căldura schimbată cu volumul El 34 (de jos) în timpul (tau) este :

$$\text{Cald2} = (\text{alfa3}) \times \text{lgros} \times 1 \times (T(i,j+1) - t_x) \times \text{tau} \quad (\text{J}) \quad (4)$$

Această energie este preluată de volumul El 33 prin creșterea temperaturii sale după timpul (tau) cu (deltat33j):

$$\text{Cald2} = (\text{ro33}) \times (\text{lgros}) \times (\text{lgros}) \times 1 \times (\text{caldsp33}) \times (\text{deltat33j}) \quad (\text{J}) \quad (5)$$

Rezultă că temperatura volumului El33 după consumarea acestei faze (după timpul tau) nu va mai fi t_x ci t_x + (deltat33j).

Pentru faza următoare vom nota noua temperatură:

$$t_{xx} = t_x + (\text{deltat33j}) \quad (\text{grd.C}) \quad (6)$$

Căldura schimbată cu volumul El 23 (din stînga) în timpul (tau) este :

$$\text{Cald3} = (\text{lamda23}) \times 1 \times (T(i-1,j) - t_{xx}) \times \text{tau} \quad (\text{J}) \quad (7)$$

Această energie este preluată de volumul El 33 prin creșterea temperaturii sale după timpul (tau) cu (deltat33st):

$$\text{Cald3} = (\text{ro33}) \times (\text{lgros}) \times (\text{lgros}) \times 1 \times (\text{caldsp33}) \times (\text{deltat33st}) \quad (\text{J}) \quad (8)$$

Rezultă că temperatura volumului El 33 după consumarea acestei faze (după timpul tau) nu va mai fi t_{xx} ci t_{xx} + (deltat33st).

Pentru faza următoare vom nota noua temperatură a volumului El 33:

$$t_y = t_{xx} + (\text{deltat33st}) \quad (\text{grd C}) \quad (9)$$

Energia termică Cald3 extrasă din cuprinsul volumului El 23 va afecta nu numai temperatura volumului El 33, conform relațiilor (7- 9) ci și pe aceea a volumului El 23 conform relației:

$$\text{Cald3} = (\text{ro23}) \times (\text{lgros}) \times (\text{lgros}) \times 1 \times (\text{caldsp23}) \times (\text{deltat33st}) \quad (\text{J}) \quad (10)$$

Deoarece volumul din stânga are proprietăți termice (ro23 si caldsp23) diferite de acelea ale volumului El 33 (ro33 si caldsp33), modificările de temperatură ale celor două volume (deltat33st) și (deltat33st) vor fi diferite.

Programul corectează temperatura volumului din stânga El 23 :

$$t_{xxst} = T(i-1,j) + (\text{deltat33st}) \quad (\text{grd.C}) \quad (11)$$

Această nouă temperatură stabilită cu ajutorul rel.11 va fi luată în considerație la faza următoare de calcul, când va fi atribuită ca și temperatură de start pentru volumul El 23.

Căldura schimbată cu volumul El 43 (din dreapta) în timpul (tau) este :

$$\text{Cald4} = (\text{lmda43}) \times 1 \times (T(i+1,j) - t_y) \times \text{tau} \quad (\text{J})(12)$$

Această energie este preluată de volumul El33 prin creșterea temperaturii sale după timpul (tau) cu (deltat33dr) :

$$\text{Cald4} = (\text{ro33}) \times (\text{lgros}) \times (\text{lgros}) \times 1 \times (\text{caldsp33}) \times (\text{deltat33dr}) \quad (\text{J}) \quad (13)$$

Rezultă că temperatura volumului El 33 după consumarea acestei faze (după timpul tau) nu va mai fi ty ci ty + (deltat33dr).

Pentru faza următoare vom nota noua temperatură a volumului El 33 :

$$t_{yy} = t_y + (\text{deltat33dr}) \quad (\text{grd C}) \quad (14)$$

Energia termică Cald4 extrasă din cuprinsul volumului El 43 va afecta nu numai temperatura volumului El 33, conform relațiilor (12 - 13) ci și pe aceea a volumului El 43 conform relației :

$$\text{Cald4} = (\text{ro43}) \times (\text{lgros}) \times (\text{lgros}) \times 1 \times (\text{caldsp43}) \times (\text{deltat33dr}) \quad (\text{J}) \quad (15)$$

Deoarece volumul din dreapta are proprietăți termice (ro43 si caldsp43) identice cu acelea ale volumului El 33 (ro33 si caldsp33) - ambele volume au același fel de structură - modificările de temperatură ale celor două volume (deltat33dr) și (deltat33dr) vor fi identice.

Programul corectează temperatura volumului din dreapta, El 43 :

$$t_{yydr} = T(i+1,j) + (\text{deltat33dr}) \quad (\text{grd.C}) \quad (16)$$

Această nouă temperatură stabilită cu rel.16 va fi luată în considerație la faza următoare de calcul, când va fi atribuită ca și temperatură de start a volumului El 43.

Rezumând, temperatura inițială a volumului elementar, T(i,j), a devenit pe rând tx, txx, ty, tyy, de

fiecare dată considerându-se același pas de timp (tau). Totodată s-au modificat și temperaturile structurilor de tip corp adiacente (El 23 și El 43) datorită schimbului termic realizat.

Programul baleiază pe rând întreg câmpul de volume, pornind de la colțul din stânga sus și sfârșind cu colțul din dreapta jos, folosind același tip de raționament. Atunci când se întâlnește un volum de tip sursă, se sare peste acel volum, iar atunci când se întâlnește un volum de tip corp, se efectuează suita de calcule descrisă mai sus.

4. MODUL DE CALCUL PENTRU MAI MULTE CICLURI

Calculul de la capitolul 3 se efectuează conform descrierii pentru un pas de timp (tau).

Pentru mai mulți pași de timp, se fac suite de astfel de calcule, absolut identice cu cele descrise mai sus, cu observația că, temperaturile din toate volumele, atât de tip sursă cât și de tip corp, rezultate din calculul anterior, sunt preluate ca mărimi de intrare în noul ciclu.

Temperaturile surselor se pot modifica de la un ciclu la altul, deci între două baleiaje, cu un pas de temperatură constant stabilit de programator.

5. CAZURI PARTICULARE

Cazul regimurilor termice stabilizate se poate realiza ușor stabilindu-se rații de creștere a temperaturilor surselor egale cu zero.

Problema care se pune este aceea a determinării, pentru un timp de rulare dat (secunde), a numărului de cicluri și a pasului de timp (sec/ciclu), care trebuie introduse în program, pentru a se obține rezultate satisfăcătoare, fără a supraîncărca excesiv durata rulării. Aceasta se face prin încercări. Se ia ca referință temperatura finală a unui anumit volum definitoriu și se urmărește valoarea acelei temperaturi odată cu modificarea numărului de cicluri (nr. cicluri) și a pasului de ciclu (secunde/ciclu), păstrând produsul lor (secunde) constant. Pe măsura creșterii numărului de cicluri, diferențele de temperatură se mișcorează. Se poate considera satisfăcător acel număr de cicluri și acel pas de timp, pentru care diferența este mai mică decât eroarea propusă să se realizeze în efectuarea calculului.

6. FOLOSIREA PROGRAMULUI

Pentru proiectarea structurii ce urmează a fi studiată, trebuie atribuită pentru fiecare volum cifra 1-5 (pentru volume de tip corp), sau cifra 6-8 (pentru volume de tip sursă), corespunzător caracteristicilor structurii elementului de volum respectiv. În cazul în care programatorul dorește să folosească un număr mai mic de tipuri de structuri (fie de tip corp, fie de tip sursă, fie din ambele tipuri), cifrele ce pot fi atribuite se modifică. Programul afișează de fiecare dată cifrele admise pentru definirea structurilor, pe baza opțiunilor anterioare făcute. În cazul în care se încearcă să se introducă alte cifre decât cele admise, programul dă un avertisment.

În cazul structurilor cu multe elemente, operațiunea de scriere este laborioasă. Autorii au construit programul astfel încât o structură, odată creată, să poată fi memorată și apoi refolosită sau modificată. Ceea ce nu se poate modifica la o structură odată creată este numărul de elemente din cuprinsul ei. La refolosire se pot aduce modificările dorite și apoi structura rezultată se poate stoca sub un nou nume sau sub același nume, caz în care alcătuirea vechii structuri se pierde. În felul acesta se pot studia variante asemănătoare, cu un consum mai redus de timp pentru scrierea programelor.

În interiorul programului se poate pilota între diverse secțiuni ale acestuia pentru a se ușura folosirea lui.

Pentru afișarea temperaturilor finale s-a ales un format cu 3 zecimale.

7. EXEMPLU DE CALCUL

Autorii oferă beneficiarilor atât programul „Caldura” în extensie .exe cât și fișierul auxiliar „Exemplu”; ambele se pot obține cu ajutorul internetului, printr-o simplă apelare prin email la una din adresele: nc-oanceadu@netcologne.de sau mihaij@mec.utt.ro. Autorii vor expedia la scurt timp după primirea cererii Dvs. cele două programe. Transmiterea lor nu ocupă linia un timp prea mare, extensia lor fiind de sub 500 kB.

După apelarea programului, acesta vă pilotează pentru introducerea datelor și apoi pentru efectuarea calculelor. De cele mai multe ori programul vă ajută să introduceți corect mărimile de intrare, arătându-vă eventualele erori făcute. Trebuie să aveți grijă și să stocați fișierele create și programul Caldura în același director. După primirea programului trebuie să creați un director și acolo să transferați cele două fișiere. Programul stochează automat fișierele pentru structuri, pe care le creați ulterior, în directorul în care se găsește programul „Caldura”.

În cadrul fișierului „Exemplu” se tratează cazul din fig.1 cu următoarele date, alese pentru o structură de tip materiale de construcție (cărămizi) în contact cu aer :

lgros = 0.05 m. temp.init a corpului: 100 grd.C
tau = 60 sec/ciclu nr.dr cicluri = 180 (3 ore)

Datele pentru volumele de tip corp :

	densitate	căld. spec.	lamda
El mod 1	2000	700	0,7
El mod 2	1000	1500	1,2

Date pentru volumele de tip sursă :

	temperatura	alfa	ratie (dt/ciclu)
El Sur1	20	5	0
El Sur2	-10	6	0

Prin rularea programului se obțin următoarele temperaturi finale:

	1	2	3	4
1	47,559	47,543	20,000	30,105
2	20,000	48,026	20,000	20,000
3	62,843	56,626	40,031	37,401
4	67,989	59,679	-10,000	30,637

Timpul pentru care s-au efectuat calculele a fost de $60 \times 180 = 10\ 800 \text{ sec} = 3 \text{ ore}$. În cadrul exemplului nu s-a folosit funcția de variație a temperaturii surselor în timp pentru a simplifica expunerea.

Pentru a se evidenția importanța ordinului de mărime al pasului de timp (tau) asupra preciziei rezultatelor, s-au efectuat 6 seturi de calcule, cu aceleași date de intrare, pentru o durată constantă a stocării de 3 ore (10 800 sec) dar cu pas de timp tau (sec/ciclu) și număr de cicluri diferite – astfel încât produsul lor să fie constant. S-au obținut următoarele rezultate, pentru temperatura din volumul El 33, ales pentru explicarea mersului calculului:

Caz	tau (sec/ciclu)	nr. cicl.	timp (ore)	temp.vol El 33	eroare rel%
1	2160	5	3	30,456	24,296
2	1080	10	3	36,959	8,131
3	600	18	3	38,097	5,302
4	60	180	3	40,031	0,495
5	6	1800	3	40,213	0,042
6	1	10800	3	40,230	-

Așa după cum rezultă din tabelul de mai sus, nu se justifică folosirea unei pas de timp (tau) mai mic de 60 sec/ciclu. Prin reducerea pasului de timp de la 60 la 1 sec/ciclu, numărului de rulări crește de la 180 la 10800, de cca 60 de ori, ceea ce modifică sensibil timpul de rulare. Considerând că valoarea adevărată a temperaturii este 40.23 grd. C. (cazul 6), rulând programul cu pasul de timp (tau) de 60 sec/ciclu, rezultă o temperatură de 40.031 grd.C și se introduce o eroare de 0.495%.

Pe de altă parte, rulând programul cu un pas de timp mare, de 2160 sec/ciclu, temperatura obținută este de 30.456 grd.C. sensibil diferită de valoarea adevărată. În cazul alegerii unui pas de timp tau (sec/ciclu) exagerat de mare, există în plus și posibilitatea ca, din ecuațiile de bilanț termic, să rezulte încălziri sau răcirii prea mari, iar temperaturile rezultate din ecuația de bilanț termic să iasă din zona ($t_1 - t_2$), ce definește domeniul posibil. Astfel de situații trebuie evitate prin alegerea rațională a măririi de calcul (tau).

Se recomandă ca, pentru fiecare tip de structură, să se facă un test prealabil și să se aleagă mărimile (tau) și (număr de cicluri) pentru o durată a calculului dată, în funcție de precizia dorită pentru calcule.

CONCLUZII

Fără a avea pretenția că soluționează în totalitate problema enunțată, programul poate folosi pentru studiul unor structuri de câmpuri termice, în interiorul copurilor solide plane, de formă cunoscută, alcătuite din până la 5 tipuri de structuri, în contact cu până la 3 tipuri de agenți termici.

Folosind aceeași bază logică, se pot elabora programe asemănătoare, pentru corpuri spațiale, sau pentru corpuri având mai multe tipuri de structuri, folosind de exemplu coordonate polare sau sferice. Prezentarea din această lucrare, rezolvă operativ tema abordată și este relativ simplă în folosire.

Numărul de elemente din alcătuirea structurii plane a modelului se poate extinde cu ușurință. Autorii au elaborat programe și pentru alte variante, cu un număr mărit de elemente și cu alte premize de elaborare. În cadrul acestei lucrări, dimensiunea structurii s-a limitat la valoarea $24 \times 30 = 720$ elemente, din dorința de a oferi o variantă care se poate rula pe computere de performanțe medii.

BIBLIOGRAFIE

[1] OANCEA N., NEISS Fr., *Determinarea câmpului de temperaturi în panouri radiante cu ajutorul analogiei electrice*. Conf. IX de Instalații, Vol. I, Sinaia 1975, p. 222 – 229.

[2] OANCEA N. ș.a., *Modelarea electrică a proceselor de transfer termic la încălzirea prin radiație*. Sesiunea de comunicări I. P. Timișoara 1978, p. 73 – 80.

[3] OANCEA N., NEISS Fr., BALACI L., *Modelarea electrică a proceselor de transfer termic prin conducție în cazul tavanelor radiante*. Lucrare de laborator, (p. 1 – 9), Îndrumător pentru lucrări de Laborator Instalații pentru Construcții, Lit. I.P. Timișoara 1984.

[4] OANCEA N. ș.a., *Modelarea termică a funcționării rezervoarelor de stocaj a apei calde menajere*. Rev. Constr – Instalații Nr. 12 – 1984.

SEMINARIILE DE TERMODINAMICĂ, FIZICĂ STATISTICĂ ȘI APLICAȚII organizate de Societatea Română a Termotehnicienilor

Lista lucrărilor care s-au ținut în perioada ianuarie – decembrie 2003 la Catedra de Termotehnică, Mașini termice și Frigorifice, Facultatea de Inginerie Mecanică, Universitatea POLITEHNICA din București, în sala CG125

Informații suplimentare se pot obține de la domnul conf. dr. ing. Viorel Bădescu la adresa email: badescu@theta.termo.pub.ro.

Marți 28 ianuarie 2003 orele 14.00

Prof. dr. ing. Dragoș Isvoranu (Catedra de Termotehnică, Mașini termice și Frigorifice, Facultatea de Inginerie Mecanică, Universitatea POLITEHNICA din București)
Modelarea numerică a unei trepte de turbină cu ardere in situ

Marți 25 martie 2003 orele 14.00

Prof. Alexandru Stamatiu (Universitatea Tehnică de Construcții din București)
Modelarea entropică a unor fenomene ale naturii

Marți 22 aprilie 2003 orele 14.00

Dr. Mihai Zamfir (Institutul de Cercetări Chimice, București)
Aspecte energetice ale evoluției biosistemelor. Bioenergetica – precursor al energiei

Marți 27 mai 2003 orele 14.00

Ing. Cătălin Flueraru (Intertermo Concept, București)
Centrale termice districtuale pe biomasă

Joi 17 iulie 2003 orele 14.00

Prof. Gheorghe Popescu (Catedra de Termotehnică, Mașini Termice și Frigorifice, Facultatea de Inginerie Mecanică, Universitatea POLITEHNICA din București)
Asupra naturii probabilistice – informaționale a entropiei și căldurii (prelucrarea articolului ce urma să fie prezentat de Prof. Vsevolod Radenco)

Joi 30 octombrie 2003 orele 14.00

Dr. Mihail Dan Staicovici (ICPET CERCETARE SA București)
Efectul Marangoni, explicație și modelare numerică

Joi 20 noiembrie 2003 orele 14.00

Prof. Dan Iordache (Departamentul de Fizică, Universitatea POLITEHNICA din București)
Elemente de termodinamica proceselor ireversibile

Joi 27 noiembrie 2003 orele 14.00

Prof. Michel Feidt (Université de Nancy, France)
ELa thermodynamique en temps fini, son histoire et son devenir

Joi 18 decembrie 2003 orele 14.00

Dr. Gabriel Ivan (Catedra de Termotehnică, Facultatea de Instalații, Universitatea Tehnică de Construcții din București)
Tehnici de intensificare a transferului de căldură