

SISTEM DE ACHIZIȚIE A TEMPERATURILOR PENTRU UN STAND DE ÎNCERCARE A LAGĂRELOR AXIALE DE ALUNECARE

Ioan ȚARCĂ, Naiana ȚARCĂ, Radu ȚARCĂ

Universitatea din Oradea, nelut@uoradea.ro, ntarca@uoradea.ro, rtarca@uoradea.ro

Cuvinte cheie: lagăre axiale, sistem de achiziție, termocuplu, Visual Basic

Abstract. This paper presents both theoretical and practical aspects regarding data acquisition of an experimental apparatus used to measure temperature distribution in tilting pad axial bearings. K-type thermocouples were used as temperature sensors, the signals being conditioned with instrumentation amplifiers and then multiplexed, in the end a National Instruments PCI-6023E I/O board delivering signals to be processed to a personal computer. Data acquisition software is also presented.

1. DESCRIEREA PRINCIPIULUI ȘI A METODOLOGIEI DE REALIZARE A ÎNCERCĂRILOR

Principal, studiul experimental al curgerii lubrifianului în interstițiul fus-cuzinet poate fi realizat printr-una din următoarele metode:

1. determinarea experimentală a distribuției de temperaturi, realizată de regulă pe suprafața fixă (cuzinet), în cazul în care nu se urmăresc efectele tranziției ale curgerii pe ambele suprafețe (ca de exemplu variații locale bruște de temperatură), întrucât se poate considera cu bună aproximație că pe suprafața în mișcare (fus) temperatura poate fi considerată egală în toate punctele și constantă în cazul unui regim de curgere staționar (cel dorit a fi studiat). Această distribuție urmează să fie comparată cu rezultatele teoretice obținute cu ajutorul modelului matematic și pe baza acestuia pot fi determinate restul mărimilor caracteristice procesului analizat.
2. determinarea pe cale experimentală a distribuției de presiuni, restul parametrilor putând fi determinați teoretic în cazul în care între valorile măsurate experimental și cele calculate teoretic ale presiunii există o corespondență univocă bine determinată;
3. determinarea pe cale experimentală atât a distribuției de temperaturi cât și a celei de presiuni, urmând a verifica experimental veridicitatea modelului teoretic și măsura în care rezultatele teoretice corespund cu cele experimentale;
4. determinarea pe cale experimentală a distribuției de viteze și confruntarea valorilor experimentale cu cele teoretice, rezultate în urma calculului analitic sau numeric din cadrul modelului matematic.

Principal, oricare dintre metodele experimentale 1, 2 sau 3 este aleasă, schema bloc de realizare a măsurătorilor este aceeași, fiind prezentată în fig.1. [Tar 04].

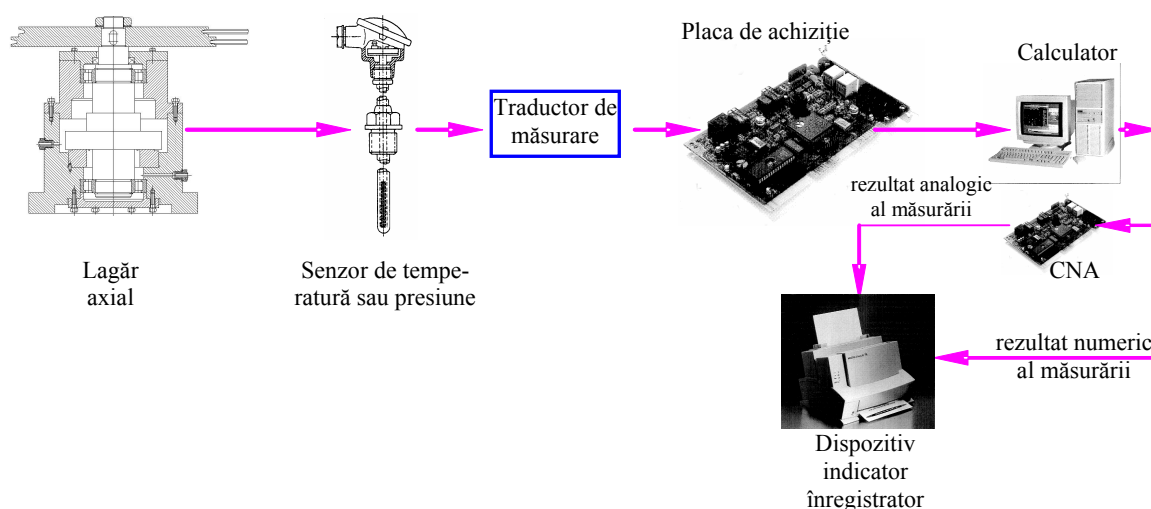


fig.1 Schema de principiu a instalației de măsurare a distribuției de temperaturi și/sau presiuni în lagăre axiale

Senzorii de temperatură și/sau presiune se montează în segmentii lagărului axial astfel încât să poată determina valoarea temperaturii în imediata apropiere a interfeței segment înclinat-lubrifiant, fiind dispuși într-o rețea de formă convenabilă pentru determinarea distribuției de temperaturi pe întreaga suprafață, urmărind în general liniile de viteză constantă ale curgerii lubrifianului.

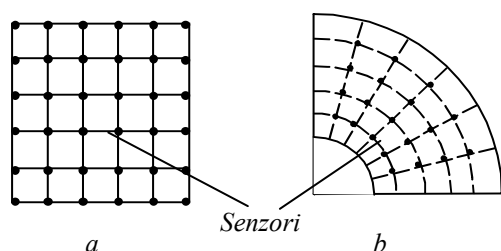


fig.2 Dispunerea senzorilor de temperatură și/sau presiune pe suprafața segmentului înclinat

Teoretic, acestea sunt repartizate în cazul lagărelor radiale ca în fig.2a iar în cazul lagărelor axiale ca în fig.2b. Semnalele provenite de la acești senzori sunt preluate de un traductor de măsurare, care poate fi un dispozitiv de măsurare, dacă nivelul semnalului este suficient de mare ca să poată fi măsurat, un amplificator de măsurare sau un dispozitiv de calcul analogic, utilizat în cazul în care mărimile

perturbatoare sunt de natură să influențeze rezultatul măsurării, sau un dispozitiv de integrare, dacă se urmărește un semnal cu viteză mare de variație și se dorește doar valoarea sa medie pe intervalul de timp pe care se face măsurarea.

În continuare semnalul va fi aplicat unui convertor analog-numeric aflat pe placa de achiziție, care constituie interfața cu un calculator numeric utilizat pentru prelucrarea datelor. Rolul principal al calculatorului este de a corecta valorile măsurate. Necesitatea acestei corecții este determinată de imperfecțiunea constructivă a senzorilor de măsurare, sau a neconcordanței dintre caracteristica reală a senzorului și etalonarea sa, sau, în ultimă instanță pentru liniarizarea caracteristicii de măsurare a acestuia.

Rezultatele pot fi stocate ca atare în fișiere de date de unde prin programe specializate să se realizeze analiza datelor obținute în urma măsurătorii (de exemplu reprezentarea grafică a distribuției de temperaturi sau presiuni la diferite momente de timp pentru un regim nestăionar de funcționare – înainte de atingerea regimului de lucru – sau în regimul staționar, pentru diverși parametri luați în considerare). De asemenea, prin intermediul unui convertor numeric-analogic (CNA) se poate transmite unui înregistrator sau indicator valorile măsurate în scopul vizualizării lor.

Această observație este cea care a determinat alegerea temperaturii ca parametru principal pentru studiul fenomenelor din filmul de lubrifiant.

Principiul sistemului de achiziție a datelor este relativ simplu. Se utilizează un senzor de temperatură a cărei informație este preluată și prelucrată de o placă de achiziție și salvată într-un fișier pe calculator. Schema de principiu a sistemului de achiziție este prezentată în fig.3.

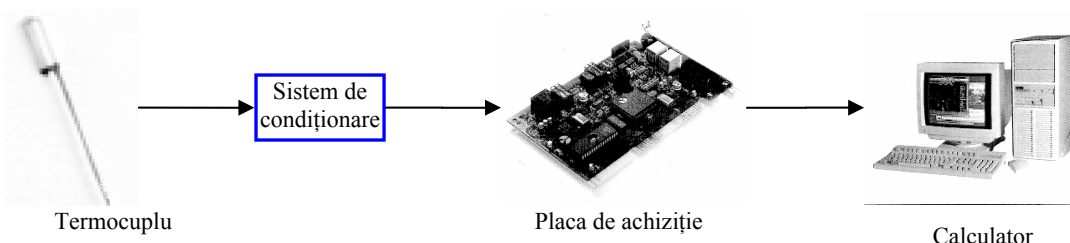


fig.3 Schema de principiu a sistemului de achiziție a temperaturilor

El este alcătuit din termocuplu, un sistem de condiționare și amplificare a semnalului, placa de achiziție și calculatorul. În cazul de față termocuplul este de tip K (chromel-alumel), având un coeficient Seebeck de aproximativ $39,48\mu\text{V}$ la 0°C . Tensiunea de ieșire a acestuia variază neliniar cu temperatura, astfel încât este necesară o activitate de liniarizare a valorilor măsurate. Acest lucru se poate realiza prin intermediul tabelelor sau prin intermediul unor polinoame de interpolare, indicate de NIST (Institutul American de Știință și Tehnologie). Pentru termocuplul de tip K acesta este:

$$T = 2,508355e-2 \cdot v + 7,860106e-8 \cdot v^2 - 2,503131e-10 \cdot v^3 + 8,315270e-14 \cdot v^4 - 1,228034e-17 \cdot v^5 + 9,804036e-22 \cdot v^6 - 4,413030e-26 \cdot v^7 + 1,057734e-30 \cdot v^8 - 1,052755e-35 \cdot v^9, \quad (1)$$

unde temperatura T rezultă în grade Celsius iar tensiunea v este exprimată în volți, pentru care se garantează o precizie a conversiei de $\pm 0,05^\circ\text{C}$ pe întreg domeniul de măsură ($-270^\circ\text{C} - 1372^\circ\text{C}$). Pentru aplicațiile pe calculator este utilă folosirea valorii calculate cu ajutorul polinomului, folosind direct datele obținute prin intermediul plăcii de achiziție. Întrucât termocuplul măsoară diferența de temperatură între joncțiunea caldă și cea rece, în mod obișnuit se utilizează o compensare a joncțiunii reci prin metode electronice sau prin program. În cazul de față s-a utilizat compensarea prin program, prin citirea temperaturii mediului ambiant cu ajutorul unui senzor integrat cu siliciu (LM35 de la National Instruments), care s-a adunat la valoarea citită de termocuplu. Semnalul oferit de termocuplu este foarte mic (între $1,5\text{mV}$ și $3,9\text{mV}$ pentru domeniul de temperaturi cuprins între 40°C și 100°C), fiind supus influenței câmpurilor magnetice și electrice din mediu. Reducerea perturbațiilor poate fi realizată prin ecranarea corespunzătoare a firelor de legătură între senzor și placa de achiziție, scurtarea acestora, sau utilizarea unui sistem de condiționare a semnalului oferit de producătorul plăcii de achiziție [NIC96]. Studiarea modului de funcționare a plăcii de achiziție și a manualelor de utilizare a plăcii [NIC98], [NIC99], precum și a principiilor de măsurare a semnalelor oferite de termocupluri [NIC96], [Koe95], au permis realizarea unui sistem de condiționare și amplificare de concepție proprie [Tar04].

În scopul minimizării erorilor de măsurare, suplimentar, la începutul fiecărei măsurători se execută o compensare a tensiunii de decalaj (offset) de la intrarea în amplificatorul plăcii de achiziție. Această tensiune este stocată temporar în memoria RAM a calculatorului pentru fiecare tandem amplificator de instrumentație – canal multiplexor.

2. PLANIFICAREA ȘI DESFĂȘURAREA EXPERIMENTULUI

Experimentul constă în achiziția temperaturilor din imediata apropiere a stratului limită de lubrifiant de la interfața segment-lubrifiant. Preluarea temperaturii s-a realizat prin intermediul unor termocupluri Chromel-Alumel (tip K) de 1,5mm diametru.

Semnalele măsurate au fost preluate de o placă de achiziție de tip PCI6023-E produsă de National Instruments și, în urma prelucrării, stocate pe hard-disc, conform schemei de lucru din fig.4, pentru fiecare din cele 48 experimente menționate anterior.

Principalele probleme care au trebuit rezolvate în această fază și premergător ei au fost:

- etalonarea termocuplurilor;
- stabilirea ratei de eșantionare a semnalului.
- stabilirea perioadei de citire a datelor oferite de termocupluri. Întrucât a fost utilizată o singură intrare a plăcii și numărul punctelor de măsură este 16, s-a realizat multiplexarea citirii, ceea ce a scăzut performanțele de viteză în achiziția datelor ale plăcii, fără efecte asupra măsurătorilor, întrucât mărimile măsurate au fost staționare.

Pentru minimizarea erorilor de citire s-au realizat în perioadă de 100 de citiri ale valorii temperaturii unui termocuplu la fiecare achiziție, valoarea înscrisă în fișier fiind media aritmetică a valorilor menținute în șirul de măsurători, după eliminarea celor necorespunzătoare utilizând criteriul lui Chauvenet. Numărul total de citiri în perioada de minim 1 secundă este de 16 termocupluri x 100 citiri = 1600 citiri/secundă. Se poate observa că frecvența citirilor nu produce încărcarea la capacitate a plăcii.

- stabilirea frecvenței de achiziție a datelor. Pentru a permite realizarea unui regim staționar de lucru, între două citiri consecutive s-a efectuat o "pauză de uniformizare", necesară pentru reducerea influenței fluctuațiilor temperaturii în timpul funcționării. Totodată este utilă obținerea unui număr cât mai mare de măsurători în cadrul aceluiași regim de funcționare. Pentru a realiza un compromis între acuratețea măsurătorilor și timpul alocat funcționării modelului, s-au efectuat, după intrarea ansamblului în regim de funcționare staționar (modificarea temperaturii cu mai puțin de 1°C/5min.) 100 citiri de la fiecare termocuplu la un interval de 1 minut, timp de 100 de minute. Astfel s-au obținut 100 de valori medii ale citirilor pentru fiecare termocuplu, în cadrul unui experiment. Fiecare experiment s-a repetat de 3 ori, în condiții pe cât posibil identice ale valorilor mărimilor caracteristice ale mediului înconjurător (temperatură, umiditate, presiune, etc.).

Pentru preluarea datelor de la termocupluri prin intermediul plăcii PCI-6023E s-a realizat un program în Visual Basic care permite concomitent cu preluarea datelor

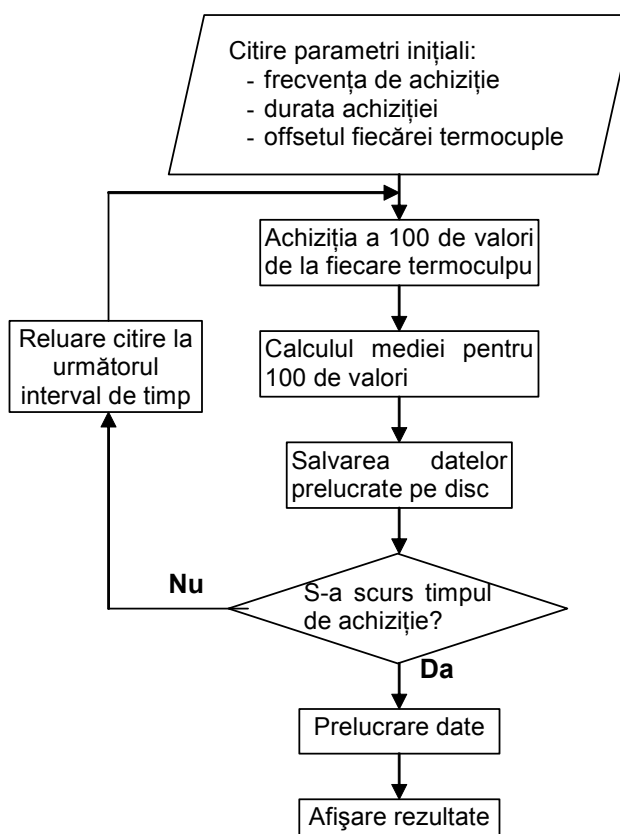


fig.4 Schema desfășurării unui experiment

salvarea lor într-o bază de date ACCESS, în vederea manipulării lor ulterioare într-un mod facil. O captură a interfeței de achiziție este prezentată în fig.5.

Realizarea unei măsurări (achiziția temperaturii de la cele 16 termocupluri împreună cu cea a temperaturii mediului ambiant) se face manual, prin intermediul butonului de comandă START, butonul STOP fiind utilizat pentru anularea înregistrării citirilor. El poate fi eficient numai dacă a fost apăsat înainte de terminarea achiziției temperaturii termocuplului 16.

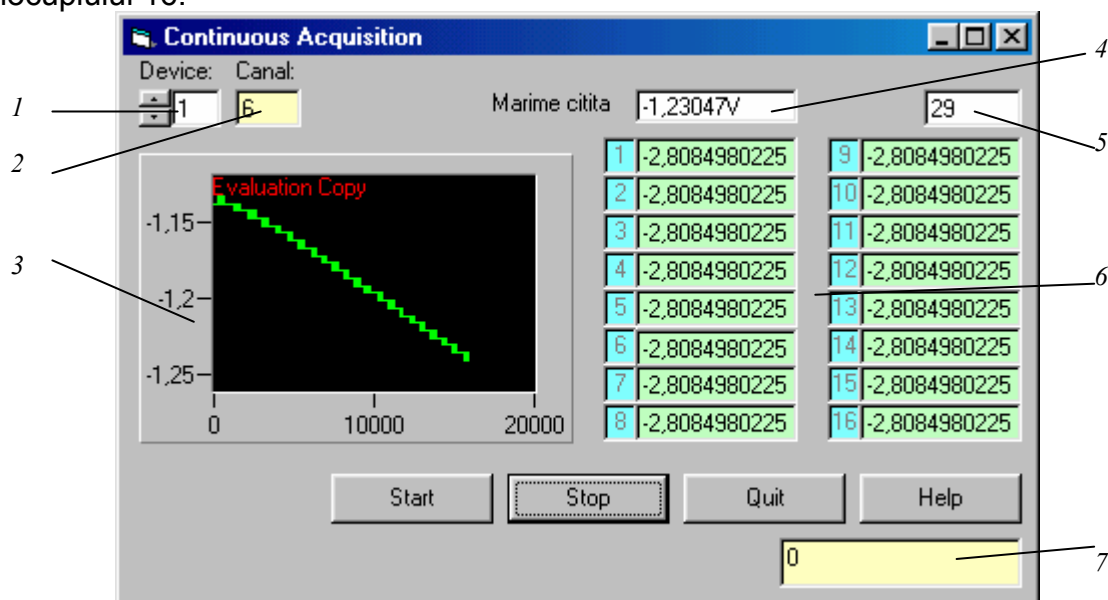


Fig.5. Interfața programului de achiziție a datelor. 1. Buton incremental de selectare a dispozitivului de achiziție; 2 Casetă de vizualizare a canalului pe care se realizează achiziția; 3. Fereastră de vizualizare grafică a semnalului achiziționat; 4. Casetă de vizualizare a mărimii citite curent; 5 Casetă de vizualizare a numărului achiziției; 6 Casete de vizualizare a celor 16 mărimi citite (temperaturile termocuplurilor); 7 Casetă de vizualizare a temperaturii mediului ambiant

3. PROGRAMUL DE ACHIZIȚIE A DATELOR

Baza de pornire pentru realizarea programului de achiziție a datelor a constituit-o documentația oferită de National Instruments legată de utilizarea plăcii de achiziție PCI-6023E și a manualului de utilizare a plăcilor de achiziție realizate de firmă pentru calculatoare PC [NIC98], [NIC00]. Schema bloc a plăcii de achiziție este compusă în principal dintr-un multiplexor analogic de 8/16 canale, care eșantionează semnalele de intrare multiple, astfel încât măsurătorile efectuate să poată fi prelucrate de un singur amplificator de instrumentație cu câștig programabil. Pot fi multiplexate 16 canale în modul de intrare asimetric (specific semnalelor de nivel mare, neinfluențate de factorii perturbatori de mediu), sau 8 canale în mod diferențial, care este modul indicat de fabricant pentru semnale de nivel scăzut, în scopul realizării rejecției de mod comun a semnalului măsurat și de reducere a perturbațiilor din mediu. Întrucât semnalele oferite de termocupluri au un nivel de aproximativ $40\mu\text{V}/^\circ\text{C}$, este neapărat necesară utilizarea modului diferențial de intrare. În acest scop s-a utilizat un multiplexor de configurație proprie, care să poată organiza cele 16 semnale de intrare de la senzorii de temperatură. Ținând cont de necesitatea acestei particularități de funcționare, s-a ales varianta multiplexării celor 16 semnale oferite de termocupluri cu un multiplexor comandat de calculator, utilizând în acest mod o singură intrare diferențială. Ca atare, programarea plăcii de achiziție a fost făcută astfel încât să poată prelua semnalele multiplexate pe o

singură intrare diferențială, pentru comoditatea manevrării conectorilor aceasta fiind cea simbolizată în schema prezentată de firmă [NIC98] cu ACH5, în tandem cu intrarea ACH13, pentru realizarea configurației diferențiale. O a doua intrare diferențială a fost programată pentru achiziționarea temperaturii mediului ambiant, tot în mod diferențial. Sincronizarea citirilor cu ajutorul multiplexorului a fost realizată prin intermediul programului, prin generarea unui cuvânt de patru biți la porturile de intrare/ieșire ale plăcii de achiziție (DIO0-DIO3), necesar pentru selectarea uneia dintre cele 16 intrări la ieșirea multiplexorului către calculator. Programul realizează secvențele de comandă astfel: la lansarea programului are loc crearea bazei de date și a tabelului de salvare a datelor (procedura `Form_Load`), prin intermediul lansării în execuție a procedurilor `CreateDB`, respectiv `AddTable`; apăsarea butonului de comandă *Start* de pe interfața utilizator lansează în execuție procedura `Start_Click`, și procedura `Masurari`. Această procedură adaugă cele două canale de achiziție 5 și 6, precizează numărul de scanări realizate și frecvența acestora (1000 Hz), după care apelează procedura de formare a cuvântului de comandă a multiplexorului `Digit(lngNr)`, și achiziția datelor la cele două canale, conform codului generat pentru citire. Apelul procedurii `SaveData` permite salvarea datelor în tabelul creat în baza de date la momentul lansării programului în execuție. Citirea efectivă a datelor, realizarea mediei lor și conversia în grade Celsius a tensiunii citite, precum și afișarea valorilor măsurate în cele 16 casete de text ale interfeței corespunzătoare celor 16 termocuple, respectiv în caseta de afișare a temperaturii mediului înconjurător, se realizează în procedura `CWAI1_Progress`. Tot aici se realizează un apel la subrutina `Digit` în scopul incrementării cuvântului de comandă al multiplexorului, pentru realizarea conexiunii la următorul termocuplu. Dacă în timpul citirii datelor apar diverse incidente, procesul citirii poate fi întrerupt prin intermediul butonului *Stop* de pe interfața utilizator. Acest lucru previne salvarea datelor citite în baza de date, dacă butonul a fost accesat înainte de citirea ultimei valori a termocuplului. Procesul de citire se întrerupe la terminarea unui ciclu de citire, putând fi reluat printr-o nouă apăsare a butonului *Start*. Ieșirea din program se face prin acționarea butonului *Quit*.

Rezultatele măsurărilor sunt stocate într-un tabel dintr-o bază de date ACCESS, sub forma de mai jos (tab.1).

Baza de date este identificată prin nume, în cadrul căruia este specificată data și ora deschiderii ei (corespunzător datei de realizare a primei măsurători din cadrul experimentului), de exemplu `10_9_05_12_43.mdb`, indicând faptul că experimentul a fost realizat în 10 sept 2005, prima măsurare a celor 16 temperaturi încheindu-se la ora 12:43. Acest lucru poate fi verificat în ultima coloană din tabel, în care este trecută ora de realizare a fiecărei măsurători. Structura tabelului este următoarea: prima coloană arată numărul măsurătorii realizate. O măsurare este reprezentată de totalitatea achizițiilor realizate la cele 16 termocupluri, pentru fiecare termocuplu fiind achiziționate 100 de valori, cărora li se realizează media aritmetică după ce au fost eliminate valorile necorespunzătoare. Cele 16 achiziții ale unei măsurători sunt stocate pe câte o coloană, începând cu coloana a treia, împreună cu data și valorile coloanei a doua formând o înregistrare în baza de date. În coloana a doua este trecută valoarea temperaturii punctului rece al termocuplului, necesară pentru măsurarea corectă a temperaturii, citită pe un canal separat al plăcii de achiziție.

Prin punerea în corespondență a numelui fișierului (datei de realizare a experimentului) cu parametrii utilizați conform programului de încercări, se obțin rezultatele testelor care se pot supune prelucrării.

tab.1 Rezultatele unei măsurători

ID	Text	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15	S16	Ora
1	17,7	6,0	8,7	2,0	24,8	25,5	1,8	5,6	3,8	7,5	12,7	13,5	15,1	5,4	8,8	9,5	6,7	12:43:50
2	19,1	0,9	5,9	6,2	26,1	25,7	13,5	4,0	7,7	6,1	13,1	6,9	0,5	5,5	5,8	3,7	8,1	12:43:53
3	15,1	7,4	11,8	5,3	24,6	24,5	9,2	7,8	8,0	5,6	11,3	0,1	5,3	8,3	7,9	9,5	3,1	12:43:56
4	18,6	1,9	10,5	7,5	26,6	24,9	9,5	6,5	6,5	6,5	16,6	10,3	13,3	3,0	3,7	7,1	8,4	12:43:59
5	19,0	5,9	6,0	13,6	26,3	25,4	9,4	4,9	4,3	6,8	11,3	5,7	13,5	3,3	6,3	5,5	7,8	12:44:02
6	21,3	26,5	24,1	25,9	22,8	21,9	22,4	23,6	24,0	25,3	5,0	23,5	22,0	25,4	25,9	26,0	24,3	12:45:41
7	21,2	23,2	20,9	18,3	21,3	22,3	23,1	25,8	20,8	23,4	23,0	22,6	12,4	25,1	25,5	23,4	22,6	12:46:36
8	19,6	22,3	19,0	22,3	22,0	21,5	22,9	22,0	21,7	19,4	22,8	20,7	40,9	23,9	21,3	23,4	23,2	12:46:55
9	18,9	23,0	19,6	24,8	24,9	23,4	21,4	19,8	19,6	34,5	22,4	21,4	24,3	22,8	20,6	21,9	18,0	12:47:04
10	21,1	23,4	16,3	22,6	21,9	21,8	20,7	24,8	22,8	24,0	18,4	28,0	28,4	25,3	23,4	23,5	25,7	12:47:11
11	20,8	29,4	20,6	21,1	20,3	20,6	21,4	22,9	20,1	14,1	21,2	20,1	24,5	22,4	23,9	21,3	22,0	12:47:19
12	21,1	26,6	20,2	17,5	21,4	21,3	8,9	22,5	24,0	20,0	20,1	24,7	27,8	20,0	15,8	21,5	22,0	12:47:42

Prelucrarea constă în principal din două activități: punerea în concordanță a numelui fișierului cu condițiile de măsurare, respectiv realizarea bazei informaționale necesare verificării și interpretării rezultatelor. În acest scop se identifică în tabele momentele de început ale funcționării în regim staționar (condiția fiind cea de modificare cu mai puțin de 1°C într-o perioadă de 5 minute a temperaturii filmului de lubrifiant), după care sunt eliminate din date valorile corespunzătoare regimului tranzitoriu, de intrare în regim. Restul valorilor rămase sunt supuse din nou procesului de condiționare, după care urmează realizarea mediilor citirilor efectuate pentru fiecare termocuplu. Se obține astfel un vector de dimensiune 16 care conține valorile medii ale temperaturilor citite în timpul regimului staționar de funcționare. Din acest vector se reface matricea 4×4 corespunzătoare punctelor de citire, care se salvează pentru realizarea verificării rezultatelor. Rezultatul final al activității de încercare a lagărului va consta în 48 de asemenea fișiere, corespunzător planificării experimentului.

4. CONCLUZII

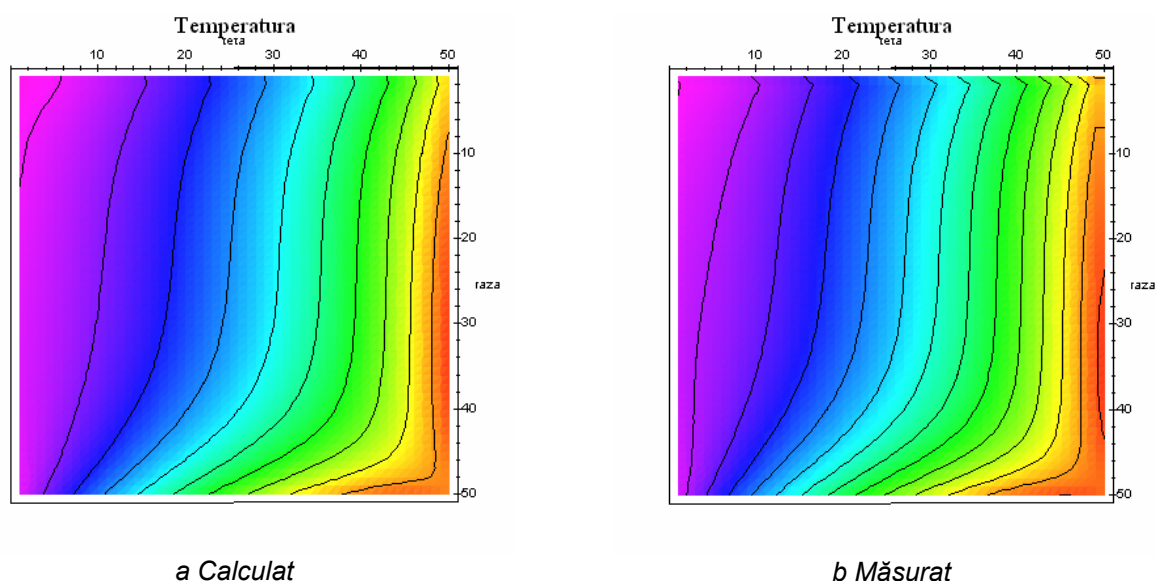


fig.6 Distribuția de temperaturi pentru $\eta=0,04\text{Ns/m}^2$; $W=500\text{N}$, $n=1000\text{rot/min}$

Sistemul de achiziție a temperaturilor din filmul de lubrifiant din interstițiul fus-cuzinet permite vizualizarea facilă a distribuției de temperaturi din filmul portant al unui lagăr axial. S-a încercat simplificarea la maximum a sistemului de condiționare și achiziție,

fără a impieta asupra acurateții măsurărilor efectuate. Rezultatele achizițiilor au fost comparate cu cele obținute pe cale teoretică, prin integrarea ecuațiilor lui Reynolds și a energiei, după metodologia prezentată în [Tar98], în fig.6 prezentându-se graficele corespunzătoare celor două metode. Poate fi observată o bună corespondență între valorile determinate experimental (b) și cele determinate prin integrare numerică (a).

BIBLIOGRAFIE

- | | | |
|---------|---|---|
| [Bak00] | Baker, B. C. | Microchip Technology Inc. Application Note684. Single Supply Temperature Sensing with Thermocouples, 2000, www.microchip.com |
| [Con80] | Constantinescu, V. N., Nica, Al., Pascovici, M. D., Ceptureanu, Gh., Nedelcu, Șt. | Lagăre cu alunecare, Editura Tehnică, București, 1980 |
| [Mad86] | Mădărășan, T. | Cercetări asupra proceselor de transmitere a căldurii rezultată prin frecare cu aplicații la lagărele cu alunecare. Teză de Doctorat, Institutul Politehnic Cluj Napoca, 1986 |
| [NIC96] | National Instruments Corporation | Application Note 007, Data Acquisition Fundamentals. Austin, Texas, 1996 |
| [NIC98] | National Instruments Corporation | PCI-6023E/6024E/6025E User Manual. Austin, Texas, 1998 |
| [NIC99] | National Instruments Corporation | PCI E Series User Manual. Austin, Texas, 1999 |
| [Koe95] | Koenig, D. | National Instruments Application Note 023. Digital Signal Processing Fundamentals. Austin, Texas, 1996 |
| [Tar98] | Țarcă, I., Țarcă, R., | Asupra modelului matematic al lagărelor axiale cu alunecare cu ungere hidrodinamică, Analele Universității din Oradea, Fascicola Mecanică, partea I, II, 1998 |
| [Tar04] | Țarcă, I., Țarcă, R., | Stand de încercare a lagărelor axiale de alunecare, Analele Universității din Oradea, Fascicola Mecanică, 2004 |
| [WEB01] | www.allaboutcircuits.com | Lessons in Electric Circuits. Volume III – Semiconductors |