

EVALUAREA ȘI EXPRIMAREA INCERTITUDINII DE MĂSURARE A PUTERII TERMICE A SCHIMBĂTOARELOR DE CĂLDURĂ

Anica ILIE, Valentin CUBLESAN, Florea CHIRIAC

UNIVERSITATEA TEHNICA DE CONSTRUCTII BUCURESTI – FACULTATEA DE INSTALATII

***Abstract.** This paper presents an experimental stand for testing different types of heat exchangers. The stand was built according to the European Standard SR EN 442/1996: Radiators and Convectors. Technical Specifications and Requirements. Test Methods and Rating. Evaluation of Conformity. This project is funded by the CE Ex National Research Program, launched by the Education & Research Ministry. This experimental stand aims to determine the thermal output in different operating conditions for radiators and convectors, so it is adequately equipped in order to reach and maintain the steady state regime, which is compulsory prior to any experimental data acquiring. As opposed to the classical method, indicated by the Romanian Standard 11247/2 - 79, regarding to the test booth construction, the European Standard SR EN 442/1996 indicates a new system, consisting of sandwich panels cooled by water. The panels are assembled so that the structure is self supporting; each panel is supplied with a variable cooled water flow rate, capable to accommodate any desired operating conditions. The measuring and checking instruments and devices provide high accuracy and safe documentation of measurements data and all the values may be recorded as electric values. As a consequence of complying to all the requirements of this European Standard, the measurement uncertainty associated to the thermal output experimental determination tends to take low values.*

INTRODUCERE

Așa după cum este cunoscut, se manifestă în prezent, cu intensitatea din ce în ce mai mare o presiune pentru alinierea standardelor românești cu cele europene, în general, și implicit în domeniul testării de echipamente termice. În același timp, se impune necesitatea funcționării unor laboratoare de încercări a căror capacitate să fie recunoscută de organisme naționale de acreditare.

Răspunzând acestor imperative ale momentului în cadrul Catedrei de Termotehnică ființează Laboratorului de Încercări Sisteme și Echipamente Termice, Hidraulice și Electrice (INSIST), care aparține Universității Tehnice de Construcții București. Standul de testare care face obiectul acestei prezentări este construit în cadrul Laboratorului INSIST, laborator care a fost evaluat și este în prezent acreditat *RENAR*, în conformitate cu SR ISO 17025 : 2000, pentru următoarele încercări:

- ✓ determinarea puterii termice a schimbătoarelor de căldură (cum ar fi: schimbătoare de căldură cu plăci, radiatoare, vaporizatoare și condensatoare de construcție clasică și cu microcanale etc.);
- ✓ determinarea nivelului de zgomot;
- ✓ cazane și aparate care funcționează cu combustibili solizi, lichizi și gazoși;
- ✓ determinarea securității la incendiu pentru uși, trape și elemente de instalații aferente construcțiilor.

Laboratorul emite rapoarte de încercări pentru echipamente termice care pot servi la atestarea conformității acestora și aplicării marcajului național de conformitate CS.

Importanța aplicării marcajului național de conformitate CS derivă din prevederile Legii 608/2001, care interzice punerea pe piață a produselor lipsite de marcajul CS aparținând unor domenii reglementate.

STANDUL EXPERIMENTAL

Standul de testare a echipamentelor termice realizat în cadrul Laboratorului INSIST este compus din camera de testare termostată (figura 1) și din instalația de deservire compusă din *chiller* de 40 kW, *cazan* de încălzire de 40 kW, *schimbătoare de căldură* de 20 kW respectiv 7 kW, pompe, butelie de amestec rezervor de stocare, montate conform schemei de principiu din figura 3.

Camera de testare este o încăpere neventilată care reprezintă spațiul de testare în care se montează echipamentul de verificat. Pereții, tavanul și podeaua acestei camere sunt confecționați din panouri tip sandwich, prevăzute la interior cu o serpentină din cupru Ø12×1.

Prin această serpentină circulă apă răcită, ca mediu de stabilizare a temperaturii interioare, independent de căldura degajată în interior de corpul de încălzire testat și indiferent de temperatura din exteriorul camerei. Această serpentină este protejată cu panouri de tablă din otel.

Temperatura în interiorul camerei este controlată cu ajutorul unei sonde de temperatură, montate în mijlocul încăperii, la $H = +1500$ mm și a unui regulator de temperatură, care variază debitul pompelor de alimentare a serpentinei de răcire.

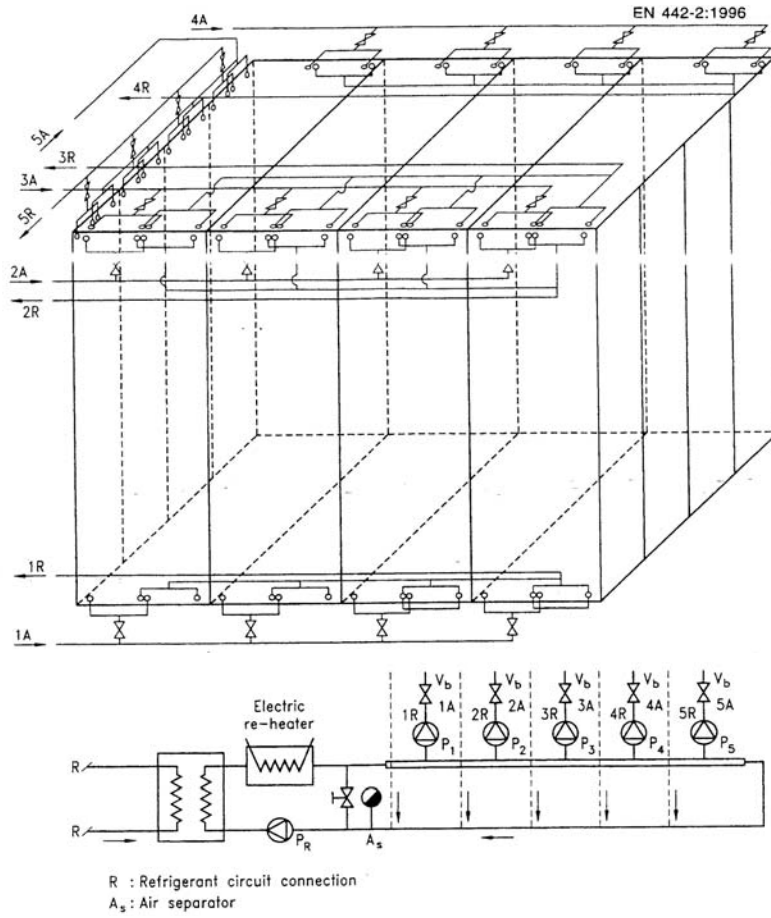


Fig. 1. Camera de testare echipamente termice.

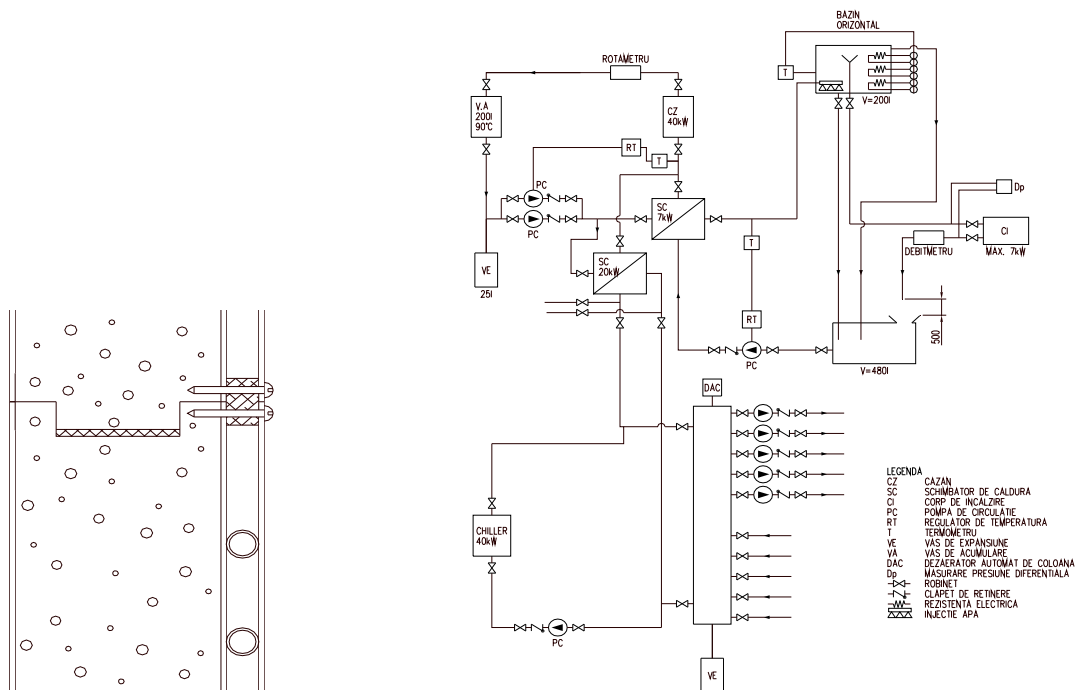


Fig. 2. Amplasare sistem de răcire pe panoul termoizolant.

Fig. 3. Schema de principiu a instalației care alimentează camera de testare cu agent termic apă caldă.

Camera are formă paralelipipedică, cu următoarele dimensiuni de gabarit: lungime $4 \text{ m} \pm 0,02 \text{ m}$; lățime $4 \text{ m} \pm 0,02 \text{ m}$; înălțime $4 \text{ m} \pm 0,02 \text{ m}$.

Pe perețele frontal, care nu are serpentine din țevă de cupru la interior, există o ușa de acces cu dimensiunile $2000 \times 1000 \text{ mm}$. Panourile de tip sandwich sunt de producție Kingspan Anglia, cu grosimea stratului de izolație termică, de tip spumă poliuretanică rigidă cu celule închise, de 80 mm grosime și protejate la exterior cu tablă zincată și vopsită. Grosimea tablei este de 0,6 mm la interior și 0,4 mm la exterior. Rezistența termică minimă a fiecărui perete al camerei de testare inclusiv a podelei și tavanului este de $2,5 \text{ m}^2\text{K/W}$.

SISTEMUL DE MĂSURĂ ȘI ACHIZIȚIE DE DATE

Sistemul de măsură și achiziție de date permite legarea tuturor aparatelor / senzorilor de măsură la un sistem centralizat de achiziție în semnal unificat. Acest sistem are avantajul efectuării de măsurări la distanță, în timp real, cu afișarea datelor măsurate pe display-ul unui computer. În plus, software-ul utilizat permite prelucrarea grafică a datelor pe măsura desfășurării experimentului.

Sistemul de măsură este reprezentat de aparatură de măsură de precizie, corespunzătoare cerințelor standardului SR EN 442/1996 și montată în secțiunile de măsurare specificate de acesta.

Aparatura constă din

- termocuple tip K (cromel-alumel Ni Cr - Ni) cu precizia de $\pm 0,1^\circ\text{C}$; termorezistențe tip Pt 100 (100Ω la 0°), cu precizia de $\pm 0,1^\circ\text{C}$;
- debitmetru cu ultrasunete marca UNIFLOW, produs de CONTROLON-USA, care este dotat cu un sistem computerizat de auto-calibrare și care oferă semnal unificat de $0 \dots 10\text{V}$, direct măsurabil cu sistemul existent de achiziție de date;
- manometre diferențiale pentru domeniul ($0 \dots 1$) bar și ($1 \dots 60$) bar.

Aparatura de măsură este etalonată și verificată metrologic înainte de utilizare.

Semnalele electrice de la termocuple, termorezistențe și debitmetrul cu ultrasunete sunt achiziționate cu ajutorul unui calculator PENTIUM echipat cu plăci de achiziție de date Keithley Metrabyte, cu rezoluția de 12 cifre binare. Programul de achiziție de date este conceput astfel încât să se poată realiza înregistrarea automată, cu o rată de urmărire a experimentului de 25s. Datele sunt înregistrate direct într-o fișă EXCEL, fiind astfel posibilă prelucrarea lor ulterioară.

INCERTITUDINEA DE MĂSURĂ

Printre cerințele principale privitoare la competența laboratoarelor de încercări (SR EN ISO 17025) figurează obligativitatea raportării rezultatelor experimentale ținând seama de valoarea incertitudinii de măsură. Pentru exprimarea incertitudinii de măsurare, Laboratorul INSIST aplică evaluarea de tip A a incerti-

tudinii standard, care se bazează pe analiza statistică a șirurilor de măsurări efectuate.

În urma aplicării acestei metode s-a evaluat incertitudinea pentru categoriile de măsuranzi reprezentați de temperatură, presiune sau debit masic:

Pentru un sir de n măsurări ale aceluiași măsurand, **abaterea standard experimentală** este mărimea $s(t_i)$, $s(p_i)$, respectiv $s(\dot{m}_i)$, care caracterizează dispersia rezultatelor și este exprimată, respectiv, de relațiile:

$$\begin{aligned} s(t_i) &= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})^2}{n-1}} \\ s(p_i) &= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (p_i - \bar{p})^2}{n-1}} \\ s(\dot{m}_i) &= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\dot{m}_i - \bar{m})^2}{n-1}} \end{aligned} \quad (1)$$

în care \bar{t} , \bar{p} , respectiv \bar{m} reprezintă temperatura medie, presiunea medie, respectiv debitul masic mediu de agent termic lichid, calculate ca medie aritmetică a celor n măsurări, cu relația:

$$\begin{aligned} \bar{t} &= \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n (t_i) \\ \bar{p} &= \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n (p_i) \\ \bar{m} &= \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n (\dot{m}_i) \end{aligned} \quad (2)$$

Nota: Numărul minim de măsurări consecutive, n , care trebuie efectuate la intervale de timp regulate de minimum 15 minute, este de patru (conform SR EN 442 / 1996).

Incertitudinea standard de tip A, notată $u(t_i)$, se determină cu relația:

$$\begin{aligned} u(t_i) &= \sqrt{\frac{s^2(t_i)}{n}} \\ u(p_i) &= \sqrt{\frac{s^2(p_i)}{n}} \\ u(\dot{m}_i) &= \sqrt{\frac{s^2(\dot{m}_i)}{n}} \end{aligned} \quad (3)$$

Pentru exemplul de față se consideră măsurandul puterea termică, care nu este măsurat direct, ci este determinat indirect, pe baza a 4 mărimi de intrare, între care există prin o relație matematică, de forma:

$$\Phi = f(\dot{m}, c_p, t_i, t_e) \quad (4)$$

unde: \dot{m}, c_p, t_i, t_e reprezintă 5 seturi de câte 4 valori măsurate ale mărimilor respective efectuate pe parcursul încercării, după intrarea în regim.

Pentru fiecare dintre aceste 5 seturi de măsurări se determină câte o valoare Φ a puterii termice.

Estimația măsurandului putere termică, notată cu Φ , se obține din ecuația (4), folosind estimațiile de intrare pentru un șir de n măsurări ale fiecăruia măsurand (debit masic, căldură specifică, temperatura apei la intrarea, respectiv ieșirea din schimbătorul de căldură).

Estimația de ieșire a puterii termice, care este rezultatul măsurării, este exprimată cu relația:

$$\bar{\Phi} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n f(\dot{m}, c_p, t_i, t_e) \quad (5)$$

Abaterea standard estimată asociată cu estimația de ieșire $\bar{\Phi}$ se numește **incertitudine standard compusă** și se notează cu $u_c(\Phi)$; ea se determină pe baza incertitudinii standard estimate, asociată cu fiecare incertitudine standard a mărimilor de intrare și este exprimată de relația:

$$u_c(\Phi) = \sqrt{\left(\frac{\bar{\Phi}}{\dot{m}}\right)^2 \cdot u_c^2(\dot{m}) + \left(\frac{\bar{\Phi}}{c_p}\right)^2 \cdot u^2(c_p) + \left(\frac{\bar{\Phi}}{t_i}\right)^2 \cdot u^2(t_i) + \left(\frac{\bar{\Phi}}{t_e}\right)^2 \cdot u^2(t_e)} \quad (6)$$

în care $u_c^2(\dot{m})$, $u^2(c_p)$, $u^2(t_i)$, $u^2(t_e)$, reprezintă incertitudinea standard de tip A aferentă fiecărei mărimi în parte.

BIBLIOGRAFIE

- [1] **Ignea A., Chivu, M., Borza, I.** - *Măsurări electrice și electronice în instalații*. Editura Orizonturi Universitare, Timișoara, 1998.
- [2] **SR EN ISO/CEI 17025 - 2001** - *Cerințe generale pentru competența laboratoarelor de încercare și etalonare*.
- [3] **SR 13434/1999**: *Ghid pentru evaluarea și exprimarea incertitudinii de măsurare*.
- [4] **SR-EN 30012-1/92** - *Condiții de asigurare a calitatii echipamentelor de măsurare*.

Radiator PANOU TIP MIREX (PKKP) 1000*600 [mm]: Regimul de temperaturi : 75/65°C

	T_i [°C]	T_e [°C]	T_{camera} [°C]	Δt	T_{mediu} [°C]	v [l/s]	c_p [J/(kg K)]	ρ [kg/m ³]	m [kg/s]	$Q=m \cdot c_p \cdot \Delta t$ [W]
	75,2	65,1	20,4	10,1	70,15	0,040703	4187	977,8	0,0398	1683
	75,2	65,1	20,5	10,1	70,2	0,040703	4187	977,8	0,0398	1683
	75,2	64,9	20,2	10,3	70,1	0,040703	4187	977,8	0,0398	1716
	75,2	64,8	20,3	10,4	70,0	0,040703	4187	977,8	0,0398	1733
	75,2	64,8	20,2	10,4	70,0	0,040703	4187	977,8	0,0398	1733
	75,1	64,9	20,3	10,2	70,0	0,040703	4187	977,8	0,0398	1700
	75,1	64,9	20,3	10,2	70,0	0,040703	4187	977,8	0,0398	1700
	75,2	64,8	20,3	10,4	70,0	0,040703	4187	977,8	0,0398	1733
	75,2	64,7	20,2	10,5	70,0	0,040703	4187	977,8	0,0398	1750
	75,2	64,7	20,3	10,5	70,0	0,040703	4187	977,8	0,0398	1750
	75,1	64,8	20,2	10,3	70,0	0,040703	4187	977,8	0,0398	1716
	75,1	64,8	20,2	10,3	69,95	0,040703	4184	977,8	0,0398	1715
Valori medii	75,2	64,9	20,3	10,3		0,0407	4187	977,8	0,0398	1718
Ab.st. exp	0,0	0,1				0,0000				
Incertit. simpla	0,01	0,04				0,0000				
Incertit. compusă							3	0,6	2,44188E-05	2
v [l/s]										
	Δp [mmCA]					Ab.st. Exp.	Incertit. simpla			
0,0199	30	30,1	29,95	30,1	29,95	30,02	0,076	0,03	0,0199	30
0,0398	65,0	62	64	64	64	63,8	1,095	0,49	0,0398	65,0
0,079	118	117,5	117,5	118	118	117,8	0,274	0,1224	0,079	118