

INCERTITUDINEA DE MASURARE – CERINTA A VALIDITATII REZULTATELOR ÎNCERCARILOR

Monica Lilioara CHERECHES, Maria Luminita SCUTARU

Institutul National de Cercetare Dezvoltare în Constructii si Economia Constructiilor

INCERC Filiala Iasi, putina_monica@yahoo.com

Universitatea Transilvania Brasov, lscutaru@unitbv.ro

Keywords: incertitudine, erori de masurare, conductivimetru

Abstract: Measurement uncertainty is the parameter associated with the result of a measurement that characterizes the dispersion of the values that could be attributed to the measurand. The uncertainty of measurement includes many components. The standard ISO/IEC 17025 used for laboratory accreditation requires for all measurements an estimate of the uncertainty of its measurements using accepted methods of analysis, through the production and application of suitable uncertainty of measurement procedures. This requirement is relevant not only to any thermal conductivity measurements made but also to any in-house calibrations.

1. INTRODUCERE

Raportarea rezultatelor unei masurari implica obligativitatea prezentarii unei indicatii cantitative asupra calitatii rezultatului, astfel încât potentialii utilizatori sa îi poata evalua credibilitatea. Fara o asemenea indicatie, rezultatele masurarilor nu pot fi comparate, fie între ele, fie cu valorile de referinta mentionate în standardele sau specificatiile tehnice.

În strânsa legatura cu „eroarea” si „analiza erorilor”, care fac parte de mult timp din practica stiintei masurarilor, conceptul „incertitudine”, ca atribut exprimabil numeric, este relativ nou în istoria masurarilor.

Incertitudinea (de masurare) se defineste ca fiind un parametru asociat rezultatului unei masurari, care caracterizeaza dispersia valorilor, ce în mod rezonabil, pot fi atribuite masurandului, reflectând imposibilitatea cunoasterii exacte a valorii acestuia [1].

Sursele posibile de incertitudine care trebuie luate în calcul într-o masurare includ:

- definitia incompleta a masurandului;
- realizarea imperfecta a definitiei masurandului;
- esantionarea nereprezentativa a materialelor pentru încercari;
- cunoasterea insuficienta a efectelor conditiilor de mediu asupra masurarii sau masurarea imperfecta a marimilor de mediu;
- eroarea de justete a observatorului la citirea indicatiei mijloacelor de masurare;
- rezolutia limitata a mijloacelor de masurare sau pragul de discriminare al acestora;
- valorile inexacte ale constantelor si ale altor parametri preluate din surse de informare externe si folosite în algoritmul de prelucrare a datelor;
- aproximatiile si presupunerile introduse în metoda si în procedura de masurare.

Incertitudinea de masurare este deci o estimatie a domeniului valorilor în care se gaseste valoarea adevarata a unei marimi masurate.

2. EVALUAREA ERORILOR

Din multitudinea parametrilor ce caracterizeaza din punct de vedere higrotermic materialele de constructie si în special cele izolatoare, mentionam conductivitatea termica, ca o caracteristica de baza a acestora. Desi se cunosc numeroase metode de determinare a acestui parametru, care sunt însa dificil de clasificat, s-a adoptat considerarea a doua

mari grupe, si anume a procedeeelor în regim stationar sau permanent si a celor în regim nestationar sau variabil.

Alegerea procedeeului pentru determinarea conductivitatiei unui material depinde de temperatura, natura, umiditatea materialului, precum si de aparatura de care se dispune. În principiu, metodele în regim stationar sunt cele mai sigure. Metodele în regim nestationar sunt indicate pentru stabilirea conductivitatiei materialelor în stare umeda, deoarece determinarile în regim stationar modifica umiditatea.

Cele mai uzuale aparate de masura a conductivitatiei termice produse pe plan mondial sunt de tip „placa calda gardata”, al carui principiu este de a reproduce conditiile transferului de caldura ce traverseaza o placa infinita, limitata de doua planuri paralele si izoterme: este cazul câmpului termic uniform si unidirectional (densitate de flux termic uniforma si constanta în fiecare punct).

În conditiile necesitatii cunoasterii cât mai exacte a caracteristicilor termofizice a materialelor de constructie se pune accent pe exactitatea rezultatelor obtinute în urma masuratorilor.

Ghidurile pentru estimarea incertitudinii recomanda ca, în situatiile în care natura metodelor de încercare nu permite un calcul riguros, metrologic si statistic valid al incertitudinii de masurare, sa fie cel putin identificate componentele de incertitudine si sa se efectueze o estimare rezonabila, bazata pe cunoasterea modului de efectuare a încercarii în domeniul de masurare, utilizând experienta anterioara si datele de validare, atunci când acestea exista [2].

Sursele recunoscute care contribuie la incertitudine cuprind referiri legate de materialele folosite, metodele si echipamentele utilizate, conditiile de mediu, proprietatile si starea obiectului de încercat si nu în ultimul rând, operatorul.

3. ESTIMARE TEORETICA A INCERTITUDINII DE MASURARE A CONDUCTIVITATII TERMICE DETERMINATE CU AJUTORUL APARATULUI CU PLACA CALDA GARDATA

Utilizarea aparatului cu placa calda gardata este limitata prin conceptie (posibilitate de mentinere a unei densitati de flux termic constant, uniform si unidirectional în epruveta, posibilitate de masurare a puterii, temperaturii si dimensiunilor în limitele de precizie necesare), fie prin natura si forma epruvetelor (uniformitatea structurii epruvetelor, ca si calitatea suprafetei: planeitate si paralelism).

Rezistenta termica de contact: pentru epruvete de rezistenta termica slaba si rigide, unde forma nu poate fi modificata în mod apreciabil de presiunea placilor aparatului, daca suprafetele în contact cu placile prezinta neregularitati, introducem rezistente termice de contact repartizate neuniform. Pentru a înțelege importanta acestui aspect, trebuie sa stim ca conductivitatea termica a materialelor asemenea plasticelor rigide, betonului sau sticlei sunt de 10 pâna la 100 de ori mai mari ca cea a aerului. Iar o lama de aer de câteva zeci de milimetri grosime este echivalenta cu rezistenta termica de câteva milimetri sau centimetri de material constituind epruveta.

Limita superioara pentru rezistenta termica: rezistentele termice implicate în disiparea puterii electrice care trebuie sa ramâna în toate cazurile superioara pierderilor laterale, la pierderile datorate dezechilibrului de temperatura între zona centrala si zona de garda, ca si stabilitatea instrumentelor de masura a puterii electrice si a sistemului controlat.

Limitari ale diferentelor de temperatura: micile diferente de temperatura implica mici disipari ale puterii electrice, ceea ce conduce la problema cazului precedent. În plus, trebuie mentionata dificultatea masurarilor diferentelor mici de temperatura. În practica,

pentru masurari pe materiale izolante, diferentele de temperatura utilizate în mod curent sunt în jurul a 20 K; pentru materialele relativ conductoare (sticla, beton) putem cobori pâna la 10 sau 5 K.

Limita superioara depinde de posibilitatea sistemului de încalzire de a furniza puterea necesara.

Grosimea epruvetelor: epruvetele au o mare suprafata laterala expusa împrejurimii placilor de masura, deci pierderile laterale pot fi importante. Daca materialul este de tip multistrat (constituit din straturi de conductivitati termice foarte diferite), controlul pierderilor laterale devine aproape imposibil de stapânit.

Limita inferioara a epruvetelor este legata de limita inferioara a rezistentei termice a epruvetei, caz deja considerat, ca si de dificultatea realizarii unei bune planeitati a suprafetelor.

Ordinele de marime ale epruvetelor depind de rezistenta termica a materialului si de geometria aparatului. Pentru materiale izolante usoare, fibroase sau alveolare, putem considera ca epruveta groasa cea având o grosime de 15cm (dimensiuni 50 x 50cm) si ca limita inferioara de 2–3cm.

Definitia suprafetei de masura: suprafata de masura (adica suprafata epruvetei traversata de fluxul termic furnizat de zona centrala de masura a placii calde) este în functie de grosimea epruvetei si de spatiul între zona centrala si inelul de garda. Pentru epruvete foarte mici, suprafata de masura tinde catre suprafata limitata de marginea zonei centrale a placii calde. Pentru epruvete groase, suprafata de masura se apropie de cea limitata de linia mediana ideala care trece prin mijlocul spatiului. Pentru evitarea calculelor complicate si incerte, putem limita grosimea minima la de zece ori largimea spatiului.

Omogenitatea epruvetelor: atunci când efectuam masurarea rezistentei termice a epruvetelor neomogene, distorsiunile câmpului termic existent în epruvete poate conduce la erori serioase. Zona epruvetelor apropiata zonei de masura, în mod particular cea apropiata de marginea acestei zone este cea mai delicata. Este foarte dificil de a da criterii cantitative pentru fixarea limitelor de heterogenitate a epruvetelor pentru a asigura masurari de calitati acceptabile sau pentru a evalua prin calcul erorile care rezulta.

Un caz particular este heterogenitatea uniform distribuita, cum este cazul materialelor celulare, fibroase sau în vrac. În acest caz este necesar ca dimensiunea heterogenitatilor sa fie cu mult mai mica, de 10 – 20 de ori, ca grosimea epruvetei.

Pentru calcularea rezistentei termice a unei epruvete, trebuie sa cunoastem puterea electrica disipata în zona de masura, suprafata traversata de fluxul termic F si diferenta de temperatura între suprafetele epruvetei. În plus, daca putem defini o conductivitate termica a epruvetei, trebuie sa cunoastem de asemenea grosimea ei. În concluzie, trebuie analizate erorile de masura ale acestor patru marimi.

În ceea ce priveste puterea electrica si grosimea, experienta a dovedit ca eroarea de masura este mica si poate fi neglijata.

Erorile datorate pe de o parte dezechilibrului de temperatura între centrul si garda placii calde, si pe de alta parte, pierderilor termice pe la marginile epruvetei (pierderi laterale) necesita o analiza aprofundata.

Aceste erori pot fi evaluate cantitativ cu ajutorul relatiilor aproximative ale lui Woodside, dar doar pentru a obtine un ordin de marime a acestor erori si de a aprecia daca acestea pot fi considerate ca fiind neglijabile sau nu. În nici un caz, rezultatele de masura nu trebuie corectate cu valorile astfel obtinute.

Totusi, validitatea modelului Woodside a fost verificata experimental în analiza materialelor izolatoare la care transferul de caldura este predominant conductiv. În alte cazuri, aplicatiile sale pot conduce cu succes la o evaluare cantitativa riguroasa a

incertitudinii de masura functie de conditiile de functionare ale aparatului si de tipul materialului utilizat.

Analize mai riguroase au fost propuse de diferiti autori, dar trebuie notat ca, în toate cazurile, rezultatele au fost obtinute tinând cont doar de aspectul conductiv al transferului de caldura, ceea ce limiteaza validitatea rezultatelor.

Mentionam în continuare principalele tipuri de erori care contribuie la stabilirea incertitudinii de masurare [3].

Erori datorate pierderilor laterale pe la marginea epruvetei: notata E_e , se exprima ca raportul între fluxul termic pierdut F_e si fluxul termic F care ar fi transmis în conditii ideale.

$$E_e = \frac{\Phi_e}{\Phi} = \left\{ \frac{d}{pl} \left[e \ln \frac{ch[p(b+l)/d]+1}{ch(pb/d)+1} + (1-e) \ln \frac{ch[p(b+l)/d]-1}{ch(pb/d)-1} \right] \right\}^2 - 1 \quad (1)$$

cu (folosirea notatiilor din figura 1):

b – largimea (latimea) inelului de garda (plecând de la axa de separare);

$2l$ – lungimea suprafetei de masura între doua axe paralele de separatie;

d – grosimea epruvetei;

e – coeficient adimensional, considerat astfel ca temperatura T la marginea epruvetei, presupusa uniforma, sa fie:

$$T = T_2 + e(T_1 - T_2), \text{ unde } T_1 > T_2 \quad (2)$$

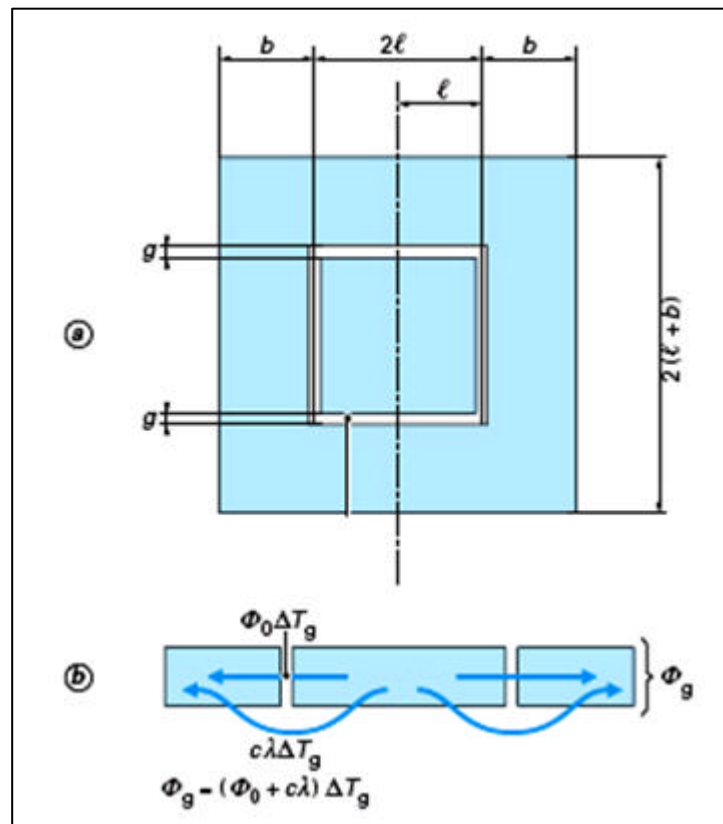


Fig. 1 - Notatii ale placii calde gardate si dezechilibrului termic între centru si garda

Erori datorate dezechilibrului între temperaturile zonei centrale de masura si inelul de garda notata E_g se exprima prin raportul între fluxul termic de dezechilibru F_g (pierderi termice în placa de masura) si fluxul termic F care ar fi transmis în conditii ideale:

$$E_g = \frac{\Phi_g}{\Phi} \quad (3)$$

F_g – poate fi calculat prin relatia:

$$\Phi_g = (\Phi_0 + Ic)\Delta T_g \quad (4)$$

unde:

Φ_0 ? T_g – reprezinta fluxul termic direct datorat conductiei prin circuitele de încălzire, prin cablurile de captare a temperaturii sau legaturilor mecanice;

c ? T_g - reprezinta fluxul termic pierdut ce traverseaza o epruveta de conductivitate ? (sau în doua epruvete în astfel de aparate);

T_g – diferenta de temperatura la bornele de separatie de grosime g ;

c – coeficient care poate fi calculat cu expresia:

$$c = \frac{16l}{P} \ln \frac{4}{1 - \exp\left(-\frac{Pg}{d}\right)} \quad (5)$$

Expresia lui F_g permite determinarea experimentală a lui F_0 si c prin masurari cu epruvete de diferite conductivitati termice si pentru mai multe diferente de temperatura de dezechilibru T_g .

Erori datorate valorilor de temperatura si diferentelor de temperatura

Ele depind de precizia etalonarii traductorilor de temperatura, precizia si zgomotul de fond a instrumentelor de masura, de precizia din definitia punctului de masura a temperaturii în mijlocul traductorilor si de erorile datorate rezistentei de contact între epruvete si traductorii de temperatura. Este o sursa foarte importanta de erori, care necesita o analiza atenta, fiind legata pe de o parte de pozitionarea traductorilor în aparat dar si de caracteristicile epruvetei.

Erori datorate conditiilor nesimetrice

În aparatele cu doua epruvete, grosimile d sau diferentele de temperatura între epruvete pot sa nu fie identice. Daca presupunem ca cele doua epruvete au aceeasi conductivitate termica λ si ca aceasta este constanta cu temperatura, eroarea $E_s = \frac{\Delta I}{I}$ datorata conditiilor nesimetrice poate fi scrisa în urmatorul mod:

$$E_s = \frac{\Delta I}{I} = \left(\frac{d_A - d_B}{2d}\right)^2 - \frac{(T_{1A} - T_{2A}) - (T_{1B} - T_{2B})}{2(T_1 - T_2)} \cdot \frac{d_A - d_B}{2d} \quad (6)$$

unde indicele A arata cantitatile masurate relativ la prima epruveta, B cantitatile masurate relativ la a doua, în timp ce termenii fara indice reprezinta valorile medii.

Daca conductivitatea termica a doua epruvete este diferita sau daca ea depinde de temperatura, formulele care definesc E_s sunt mai complexe. Putem deduce expresii similare pentru alte proprietati de transfer termic.

4. PREGATIREA ESANTIOANELOR

Înainte de toate trebuie sa stim ca exista specificatii pentru materialele cercetate în laborator. De acestea trebuie tinut cont pentru alegerea conditiilor de masura si a metodei de esantionare. În cazul în care nu putem face referire la anumite specificatii, trebuie sa examinam gradul de omogenitate al esantionului, nivelul de încredere asteptat din

rezultate si, plecând de la aceste date, determinarea numarului de epruvete ce alcatuiesc esantionul cercetat în laborator.

Un alt aspect este cel legat de omogenitatea esantionului în interiorul lotului de material, în functie de care alegem epruveta pentru masuratori, daca atribuim esantionului proprietatea masurata. Aceasta nu este o problema de metrologie, ci mai mult o problema de esantionaj.

Mai trebuie definite conditiile dinaintea masurarii, specificând daca epruveta trebuie uscata (si la ce temperatura maxima) sau daca o lasam în echilibru, la temperatura aerului de 23 °C si 50 % umiditate (conditii standard de laborator).

Trebuie verificata calitatea planeitatii suprafetelor. De obicei, presiunile impuse epruvetelor sunt destul de slabe. Limita de planeitate este de ordinul a 0, 25mm pentru 1m distanta între doua puncte considerate pe suprafata epruvetei. Aceasta exigenta este imperativa pentru a reduce cât mai mult rezistentele termice de contact.

De asemenea, trebuie verificat paralelismul între doua suprafete ale fiecărei epruvete. În general este cerut un paralelism de ordinul a 1 % din grosime.

4. CONCLUZII

În mod normal, la majoritatea materialelor omogene, incertitudinea de masurare se asteapta a fi mai putin de $\pm 3 \%$ pentru conductivitati mai mici de 0, 15 W / mK si mai putin de $\pm 5 \%$ pentru conductivitati pâna la 2 W / mK.

Pentru betoane, nivelul incertitudinii este între urmatoarele limite [4]:

- a) betonul autoclavizat având densitati de pâna la 900 kg / m³ si conductivitati mai mari de 0,25 W / mK: de la $\pm 3 \%$ la $\pm 5 \%$;
- b) betoane din agregate având densitati între 900 si 1500 kg / m³ si conductivitati de la 0, 2 la 0, 6 W / mK: de la $\pm 5 \%$ la $\pm 7, 5 \%$;
- c) betoane având densitati între 1500 si 1850 kg / m³: de la $\pm 7, 5 \%$ la $\pm 15 \%$;
- d) betoane dense având densitati mai mari de 1850 kg / m³: de la $\pm 10 \%$ la $\pm 20 \%$;

În prezent, se admite faptul ca, dupa ce toate componentele cunoscute sau presupuse ale erorii au fost evaluate si s-au aplicat corectiile corespunzatoare, ramâne înca o incertitudine asupra validitatii rezultatului exprimat, adica o îndoiala referitoare la cât de corect reprezinta acest rezultat valoarea marimii masurate.

Bibliografie

1. SR ENV 13005: 2003 – Ghid pentru estimarea incertitudinii de masurare;
2. SR EN ISO / CEI 17 025: 2005 – Cerinte generale pentru competenta laboratoarelor de încercari si etalonari;
3. Ponte F., Klarsfeld S., Conductivité thermique des isolants, Techniques de l'ingénieur, Fiche R 2 930;
4. Uncertainties associated with imperfect surfaces in thermal conductivity measurements using standard hot-plate equipment, United Kingdom Accreditation Service, 2001.