



INCINTE TERMOSTATATE.

Metode de etalonare și de
evaluare a incertitudinii de
măsurare

Sonia Gaiță

INM - Laboratorul Termometrie

Subiecte

- ☀ Termeni și definiții
- ☀ Obiectivele etalonării
- ☀ Metodele de etalonare
- ☀ Procedurile de etalonare
- ☀ Mijloacele de măsurare
- ☀ Evaluarea incertitudinii de măsurare
- ☀ Sursele de incertitudine
- ☀ Modelarea măsurării
- ☀ Contribuțiile incertitudinii
- ☀ Bilanțul incertitudinii
- ☀ Prezentarea rezultatului complet al măsurării

Incinte termostatare

☀ **Incinte închise:**

- ☀ etuve de laborator,
- ☀ camere climatice controlate în temperatură și umiditate,
- ☀ incubatoare,
- ☀ frigidere,
- ☀ congelatoare
- ☀ camere sau laboratoare termostatare etc.

☀ **incinte deschise:**

- ☀ cuptoare,
- ☀ băi termostată.

Cerințe pentru etalonare

- ☀ Incintele termostatare pot fi etalonate numai dacă îndeplinesc următoarele cerințe:
 - ☀ Să fie prevăzute cu traductoare de temperatură; este de dorit – dar nu obligatoriu – să fie prevăzute și cu un indicator de temperatură;
 - ☀ Să fie prevăzute cu un sistem de control al temperaturii;
 - ☀ Să existe documente tehnice despre traductoarele de temperatură, de ex. despre tipul și amplasamentul acestora.

Termeni și definiții (1)

- ☀ **Volumul interior:** volumul delimitat de pereții interiori, adică de dimensiunile interioare ale înălțimii, lărgimii și adâncimii incintei.
- ☀ **Spațiul de lucru/ Volumul util:** o parte a volumului interior al incintei în care temperatura este menținută în limitele unor erori maxime admise.
- ☀ **Temperatură prestabilită/setată:** valoare selectată pe regulatorul de temperatură pentru a obține valoarea dorită sau specificată.

Termeni și definiții (2)

- ☀ **Abaterea temperaturii setate:** diferența dintre temperatura prestabilită și temperatura măsurată în interiorul incintei.
- ☀ **Indicator de temperatură:** aparat indicator integrat în incintă care afișează temperatura măsurată de traductorul de temperatură aparținând incintei
- ☀ **Regim stabilizat:** stare atinsă de mediul de lucru, în care toate valorile medii din spațiul de lucru sunt constante și temperatura setată este menținută în limitele unor erori maxime admise date

Termeni și definiții (3)

- ✱ **Uniformitate/omogenitate (Gradient**, conform specificațiilor producătorilor): caracterizează, în regim stabilizat, diferența maximă dintre valorile determinate între două puncte din spațiul de lucru, la un moment dat
- ✱ **Stabilitate (Fluctuație**, conform specificațiilor producătorilor): caracterizează, în regim stabilizat, variațiile temperaturii într-un punct din spațiul de lucru.
- ✱ **Mijloc de măsurare de referință**: mijloc de măsurare etalonat în prealabil, folosit pentru măsurarea temperaturii aerului din incintă

Obiectul etalonării/caracterizării

- ✱ Incinte închise, cu sau fără circulație forțată de aer (convecție forțată), care permit să se realizeze încercări de temperatură la presiunea atmosferică.
- ✱ Domeniul de temperatură:
(-100 ... +600) °C.

Scopul etalonării

- ✱ Etalonarea/caracterizarea unei incinte constă în evaluarea **caracteristicilor sale de funcționare**.
- ✱ Aceasta permite:
 - ✱ Constructorului să comunice performanțe definite în conformitate cu condiții convenționale și reproductibile
 - ✱ Utilizatorilor să cunoască performanțele reale ale incintei utilizate
 - ✱ Prin măsurări periodice, să se stabilească dacă incinta își conservă performanțele în timp.

Obiectivele etalonării

- ☀ Să se determine cel puțin
 - ☀ uniformitatea și stabilitatea temperaturii aerului,
 - ☀ abaterea temperaturii setate sau eroarea de indicație (dacă este aplicabilă),
 - ☀ incertitudinea de măsurare.
- ☀ La solicitarea clientului, etalonarea poate să includă evaluarea conformității.
- ☀ La solicitarea clientului, etalonarea poate fi efectuată numai în puncte de măsurare individuale.
- ☀ La solicitarea clientului, etalonarea poate fi efectuată în timpul desfășurării încercării.

Metode de etalonare

- A. Metodă de etalonare a incintei neîncărcate/goale
- B. Metodă de etalonare a incintei încărcate
- C. Metodă de etalonare a incintei în timpul încercării
- D. Metodă de etalonare în puncte individuale izolate din interiorul incintei

Alte definiții

- ☀ **Locul (punctul) de măsurare:** locul din interiorul incintei în care este plasat un traductor de temperatură.
- ☀ **Spațiul de lucru** este delimitat de punctele în care sunt plasate traductoarele de măsurare. Etalonarea incintei este valabilă numai pentru acest spațiu de lucru.
- ☀ **Locul (punctul) de măsurare de referință:** poziția din spațiul de lucru pentru care se declară rezultatul măsurării. Este valabil, în special, în cazul metodei D.
- ☀ **Probă:** corpul supus unei încercări la temperatură

A. Metoda de etalonare a incintei neîncărcate

★ Amplasarea traductoarelor de temperatură

- la o distanță de pereți egală cu $1/10$ din fiecare dintre dimensiunile volumului intern

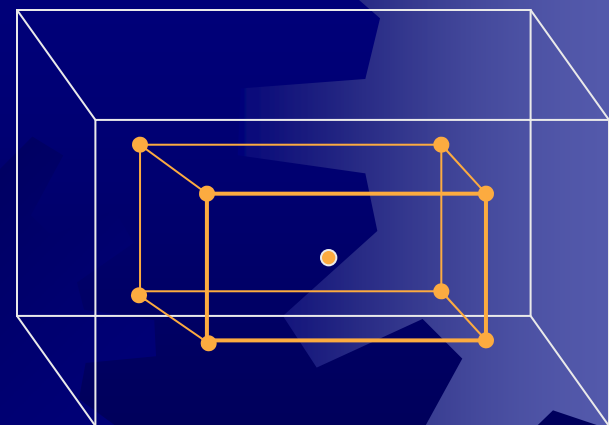


★ Numărul traductoarelor de temperatură:

- 9, pentru un spațiu de lucru mai mic de 2 m^3
- 15, pentru un spațiu de lucru cuprins între 2 m^3 și 20 m^3
- Alte volume, acord între părțile implicate

A. Metoda de etalonare a incintei neîncărcate

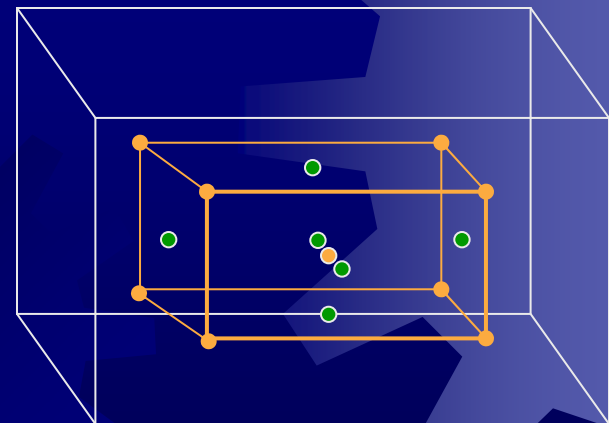
- ★ Amplasarea traductoarelor de temperatură
 - ***Volum mai mic sau egal cu 2 m^3***
 - Etalonarea este efectuată cu 9 traductoare:
 - 8 traductoare situate în colțurile spațiului de lucru,
 - un traductor situat în centrul volumului astfel delimitat



A. Metoda de etalonare a incintei neîncărcate

• *Volum cuprins între 2 m^3 și 20 m^3*

- 9 traductoare plasate așa cum s-a descris anterior;
 - 6 traductoare distribuite în centrul suprafețelor care delimitează spațiul de lucru
-
- Traductor de temperatură plasat în colțurile sau în centrul volumului definit
 - Traductor plasat în centrul suprafețelor definite



A. Metoda de etalonare a incintei neîncărcate

Implică:

- ✱ determinarea corecției temperaturii prestabilite sau a indicației aparatului indicator,
- ✱ determinarea uniformității temperaturii din spațiul de lucru,
- ✱ determinarea instabilității temperaturii în spațiul de lucru,
- ✱ determinarea efectului radiației,
- ✱ determinarea efectul încărcării (la solicitarea clientului).

A. Metoda de etalonare a incintei neîncărcate



Avantaje



Cost relativ scăzut.



Se etalonează tot spațiul de lucru.



Etalonarea poate fi efectuată o dată sau de 2 ori pe an.



Nu este necesară re-etalonarea atunci când se schimbă proba.



Dezavantaje



Efectul încărcării este dificil de cuantificat.

B. Metoda de etalonare a incintei încărcate

- ✱ Încărcarea poate fi realizată în conformitate cu aplicația utilizatorului sau prin umplerea a cel puțin 40% din spațiul de lucru cu probe standard.
- ✱ Efectul încărcării se determină printr-o măsurare suplimentară cu incinta neîncărcată.

B. Metoda de etalonare a incintei încărcate

- Pentru o încărcare tipică se folosesc 8 traductoare, câte unul în fiecare colț al încărcăturii.
- Pentru obiecte foarte mici trebuie să se folosească cel puțin patru traductoare.
- Pentru obiecte mari sau cu o formă neobișnuită ar trebui să se folosească traductoare suplimentare.
- Dacă nu se poate plasa un traductor în centrul spațiului de lucru, traductorul este plasat la 50 mm față de o latură a încărcăturii și trebuie să fie expus curentului de aer.

B. Metoda de etalonare a incintei încărcate

Implică:

- ☀ determinarea corecției temperaturii prestabilite sau a indicației aparatului indicator,
- ☀ determinarea uniformității temperaturii din spațiul de lucru încărcat,
- ☀ determinarea instabilității temperaturii în spațiul de lucru încărcat,
- ☀ determinarea efectului radiației,
- ☀ determinarea efectului încărcării, prin compararea temperaturilor din spațiul de lucru încărcat și neîncărcat.

B. Metoda de etalonare a incintei încărcate

☀ **Avantaje**

- Cost relativ scăzut
- Efectul încărcării asupra controlului incintei poate fi evaluat în mod exact
- Permite alegerea celei mai mici incinte termostatate care produce condiții satisfăcătoare

☀ **Dezavantaje**

- Este necesară re-etalonarea incintei dacă obiectul supus încercării diferă semnificativ de cel pentru care s-a făcut etalonarea.

C. Metodă de etalonare a incintei în timpul încercării

- ✴ Încărcarea este realizată în conformitate cu aplicația tipică a utilizatorului.
- ✴ Se folosesc pozițiile de măsurare definite la metoda B.
- ✴ Implică:
 - determinarea corecției abaterii temperaturii prestabilite sau a indicației aparatului indicator,
 - determinarea uniformității temperaturii din spațiul de lucru încărcat,
 - determinarea instabilității temperaturii în spațiul de lucru încărcat,
 - determinarea efectului radiației.

C. Metodă de etalonare a incintei în timpul încercării



Avantaje



Metoda dă cea mai bună estimatie a temperaturii la care este supus obiectul de încercat. Este ideală când sunt folosite tipuri diferite de obiecte și se efectuează tipuri diferite de încercări.



Permite evaluarea exactă a efectului încărcării.



Incinta nu este etalonată pentru condiții care nu sunt necesare.



Dezavantaje



Poate fi cea mai costisitoare metodă deoarece echipamentul de măsurare este necesar tot timpul.



Calculul incertitudinii trebuie să fie făcut pentru fiecare încercare.

D. Metodă de etalonare în puncte individuale izolate

- ✱ Etalonarea se referă la locuri de măsurare individuale izolate, ce nu delimitează un spațiu de lucru.
- ✱ Implică:
 - ✱ determinarea corecției abaterii temperaturii prestabilite sau a indicației aparatului indicator,
 - ✱ determinarea instabilității temperaturii în locul de măsurare,
 - ✱ determinarea efectului radiației în locul de măsurare,
 - ✱ determinarea influenței încărcării în locul de măsurare.

D. Metodă de etalonare în puncte individuale izolate

☀ Avantaje

- ☀ Cost scăzut. Este suficient un singur set de mijloace de măsurare pentru mai multe incinte sau, uneori, un singur mijloc de măsurare.
- ☀ Etalonarea poate fi efectuată numai o dată sau de 2 ori pe an.
- ☀ Nu este necesară re-etalonarea atunci când se schimbă obiectul supus încercării.

☀ Dezavantaje

- ☀ Efectul obiectului de încercat este dificil de cuantificat.

Condiții de etalonare

☀ Condițiile de mediu

- ☀ Cu excepția cazului în care există stipulări specifice, procedurile de caracterizare se vor desfășura în următoarele condiții de mediu:

- temperatura: (15 ... 35) °C;
- umiditatea relativă: (25 ... 75)%;
- presiunea atmosferică: (860 ... 1060) hPa.

☀ Alimentarea electrică

- ☀ Alimentarea electrică trebuie să satisfacă următoarele cerințe:
- tensiune: $230\text{ V} \pm 10\%$;
 - frecvență: 50 Hz.

Utilizarea și interpretarea rezultatelor

☀ **Etalonarea prin metoda A, B sau C:**

- ☀ Rezultatul etalonării este valabil numai pentru volumul cuprins între punctele de măsurare.
- ☀ Interpolarea spațială a valorilor determinate este admisă numai pentru spațiul de lucru.
- ☀ Extrapolarea rezultatelor măsurării în afara spațiului de lucru nu este admisă.
- ☀ Dimensiunile volumului incintei și poziția punctelor de măsurare trebuie să fie date în certificatul de etalonare într-o schiță.

Utilizarea și interpretarea rezultatelor

☀ Etalonarea prin metoda D:

- Efectuarea de etalonări în puncte individuale de măsurare este admisă numai la **cererea** clientului.
- Rezultatul etalonării este valabil numai pentru acele puncte de măsurare, fapt ce se consemnează în certificatul de etalonare.
- Neuniformitatea locală trebuie să fie determinată folosind două termometre plasate la o distanță de (2 ... 5) cm unul de celălalt.
- Dacă emisivitatea celor două termometre este semnificativ diferită, măsurarea poate servi și pentru determinarea efectului radiației.
- În cazul etalonării în mai multe puncte de măsurare, neuniformitatea locală poate fi estimată din indicațiile termometrelor plasate în diferitele puncte de măsurare. **Procedura trebuie să fie descrisă în certificatul de etalonare.**
- Dimensiunile volumului incintei și poziția punctelor de măsurare individuale trebuie să fie date în certificatul de etalonare într-o schiță.

Punctele de temperatură

- ✱ Numărul minim este de 2 puncte la valorile extreme ale domeniului de utilizare și un punct intermediar.
- ✱ În cazul metodei C, etalonarea se efectuează la valoarea temperaturii la care se face încercarea.
- ✱ Dacă incinta este folosită numai la câteva temperaturi specifice, etalonarea se poate efectua numai în aceste puncte.
- ✱ Dacă etalonarea se efectuează la alte valori ale temperaturii decât cele în care se efectuează încercările, este necesar să se interpoleze între două niveluri etalonate.

Procedura de înregistrare a datelor

- ✱ Se înregistrează cel puțin 30 de valori sau mai multe de la fiecare traductor, pentru fiecare temperatură setată.
- ✱ Înregistrările se fac pe o perioadă de cel puțin o jumătate de oră.
- ✱ Valorile trebuie să fie înregistrate la intervale de maximum un minut.
- ✱ Înregistrările se fac după ce incinta s-a stabilizat la fiecare temperatură setată.
- ✱ Pentru incintele termostatate fără circulație de aer, măsurările vor începe la 30 minute după ce a fost obținută stabilitatea.

Traductoarele de temperatură

- ☀ Principalele tipuri:

- ☀ termometre cu rezistență din platină;
- ☀ termocupluri.

- ☀ Traductoarele trebuie să fie de dimensiuni mici ($< 5 \text{ mm}$).

- ☀ Dimensiunea traductoarelor influențează timpul lor de răspuns. Acesta este de $(60 \leq 15) \text{ s}$ în aer liniștit, pentru un diametru de 3 mm.

- ☀ Traductoarele trebuie să fie impermeabile la apă

Termometre cu rezistență din platină

- ☀ Traductoarele cele mai folosite sunt de tipul Pt 100.
- ☀ Caracteristicile lor sunt date în EN 60751.
- ☀ Conectarea termometrului la sistemul de măsurare a rezistenței electrice trebuie să fie adecvat, pentru a minimiza efectele datorate firelor de conexiune (3 sau 4 fire).



Termocupluri

- ☀ Tipurile de termocupluri cele mai larg folosite sunt:
 - tip T: Cupru/Cupru-Nichel;
 - tip J: Fier/Cupru-Nichel;
 - tip K: Nichel-Crom/Nichel-Aluminiu.
- ☀ Caracteristicile lor sunt conform EN 60584-1.
- ☀ Sistemul de măsurare a t.t.e.m. trebuie:
 - să măsoare și să corecteze temperatura joncțiunii de referință;
 - Să fie foarte sensibil, din cauza t.t.e.m. foarte mici generate de termocupluri, de ordinul a $40\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$ până la $60\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$.

Neuniformitatea temperaturii

- ✱ Neuniformitatea temperaturii în spațiul de lucru este determinată ca diferența maximă dintre temperaturile măsurate între oricare 2 puncte de măsurare i și j , la un moment dat.
- ✱ Neuniformitatea se determină pentru toate temperaturile de etalonare.
- ✱ Neuniformitatea temperaturii în spațiul de lucru se determină numai în metodele A, B și C.
- ✱ În metoda D, se determină numai neuniformitatea locală iar valoarea obținută este folosită la evaluarea incertitudinii.

Instabilitatea temperaturii

- ☀ Instabilitatea temperaturii în spațiul de lucru este determinată ca diferența maximă dintre temperaturile măsurate în același punct de măsurare, pe durata măsurărilor.
- ☀ Este necesar ca măsurările să fie efectuate în toate punctele de măsurare, pentru fiecare temperatură de etalonare.
- ☀ Instabilitatea este determinată din înregistrările temperaturii, după s-a atins regimul stabilizat.

Efectul radiației

- ☀ La valori ale temperaturii incintei care diferă de temperatura mediului ambiant, peretele interior al incintei are întotdeauna o temperatură diferită de temperatura aerului **fl**
 - corpurile din spațiul util nu ajung la echilibru termic cu aerul din incintă datorită radiației.
- ☀ Acest transfer de căldură este valabil pentru:
 - încărcătura utilizată în timpul încercărilor
 - termometrele folosite la etalonare.
- ☀ Diferența dintre temperatura aerului și temperatura corpurilor depinde de emisivitatea suprafeței acestora și de diferența dintre temperatura aerului și cea a peretelui.

Efectul radiației

- ☀ La solicitarea clientului, se poate determina influența radiației asupra unei anumite probe, folosindu-se:
 - o probă tipică pentru încercările efectuate de client
 - un termometru cu emisivitate scăzută sau prevăzut cu un ecran de radiație, pentru a măsura temperatura aerului,
 - un termometru introdus în probă, pentru a măsura temperatura acesteia.
- ☀ Metoda trebuie să fie descrisă în certificatul de etalonare și restricționează rezultatul pentru aceste condiții tipice.

Proceduri pentru determinarea efectului radiației

Procedura 1

- ☀ Se măsoară temperatura în centrul spațiului de lucru cu 2 termometre:
 - unul cu emisivitate ridicată,
 - celălalt cu emisivitate scăzută.
 - Diferența constatată este o măsură a efectului radiației.

Procedura 2

- ☀ Se măsoară temperatura în centrul spațiului de lucru cu:
 - termometrul prevăzut cu un ecran de radiație,
 - termometrul fără ecran de radiație.
 - Diferența constatată este o măsură a efectului radiației.

Proceduri pentru determinarea efectului radiației

Procedura 3

- ✱ Se măsoară temperatura peretelui incintei
- ✱ Se măsoară temperatura aerului cu un termometru:
 - cu emisivitate scăzută sau
 - prevăzut cu ecran de radiație
- ✱ Diferența constatată estimează efectul maxim al radiației.

Procedura 4

- ✱ Pentru temperaturi cuprinse între 0 °C și 50 °C, s-a stabilit că efectul radiației aduce o contribuție de maximum 0,3 K.
- ✱ Rezultatele obținute cu termometre având emisivitatea scăzută sunt declarate drept rezultate ale măsurărilor
- ✱ Efectul estimat al radiației se ia în calculul incertitudinii de măsurare.

Efectul încărcării

- ☀ De regulă, incintele sunt etalonate fără încărcare **fl**
 - rezultatul etalonării se asociază cu starea neîncărcată
 - se va specifica în certificatul de etalonare că influența încărcării nu este inclusă în incertitudinea de măsurare.
- ☀ La solicitarea clientului, ele pot, să fie etalonate cu încărcare **fl**
 - rezultatul etalonării se asociază cu starea încărcată
 - încărcarea trebuie să fie descrisă în certificatul de etalonare
 - rezultatul etalonării este valabil numai pentru aceste condiții.
- ☀ Investigarea efectului încărcării poate fi efectuată
 - cu încărcarea specifică încercărilor clientului sau
 - cu o încărcare – standard, volumul acesteia reprezentând cel puțin 40% din volumul de lucru.
- ☀ Încărcarea folosită trebuie să fie descrisă în certificatul de etalonare.

Proceduri de etalonare

Metoda de etalonare	Incintă neîncărcată		Incintă încărcată	
	Poziții de măsurare	Poziția de măsurare de referință	Poziții de măsurare	Poziția de măsurare de referință
A	x	☀	-	(x)
B	-	x	x	☀
C	-	-	x	☀
D	-	☀	-	(x)

☀ = măsurare de referință

x = măsurare pentru a se determina contribuțiile incertitudinii și informațiile suplimentare din certificatul de etalonare

(x) = la solicitarea clientului

Incertitudine și eroare de măsurare

- ✱ Incertitudinea unei măsurări este o cuantificare a îndoielii asupra rezultatului măsurării.
- ✱ O „eroare” de măsurare este diferența dintre valoarea măsurată și „valoarea adevărată” a obiectului supus măsurării.
- ✱ Cea importantă sursă de informație pentru un mijloc de măsurare este certificatul său de etalonare.

Specificarea incertitudinii

- ☀ Pentru o specificare completă și corectă metrologic a rezultatului unei măsurări sunt necesare trei numere:
 - cea mai bună estimatie a valorii adevărate
 - intervalul de încredere
 - nivelul de încredere
- ☀ De exemplu, **rezultatul complet al măsurării:**
 $(40,0 \pm 0,5) ^\circ\text{C}$ pentru un nivel de încredere de 95%.

Specificarea incertitudinii

- ☀ Cea mai bună estimatie a valorii adevărate a mărimii măsurate
 - este indicația mijlocului de măsurare de referință sau, dacă incinta a fost etalonată, ar putea fi corecția regulatorului sau indicatorului de temperatură al incintei
- ☀ Intervalul de încredere
 - reprezintă limitele între care se poate afirma că se află valoarea adevărată a mărimii măsurate, pentru un nivel de încredere dat.
- ☀ Nivelul de încredere
 - este un număr care exprimă gradul de încredere în rezultat.
 - reprezintă probabilitatea ca valoarea adevărată să se afle între limitele specificate domeniul dat.

Evaluarea incertitudinii de măsurare

☀ Un proces în trei pași:

- Se stabilește **modelul matematic** al măsurării. Se identifică fiecare sursă de incertitudine, se cuantifică și se reprezintă ca **incertitudine standard**.
- Se compun incertitudinile standard folosind **legea de propagare** a incertitudinilor. Incertitudinea rezultantă este cunoscută ca **incertitudinea standard compusă**.
- Aceasta este multiplicată cu un factor de extindere, $k = 2$, pentru a da **incertitudinea extinsă**, care poate să fie interpretată ca un interval de încredere care va include valoarea adevărată a mărimii măsurate cu o probabilitate de 95 %.

Modelul matematic al măsurării

- ✱ Etalonarea unei incinte termostatate fără încărcare (Metoda A)

- ✱ Funcția de modelare:

$$\begin{aligned} Dt_{\text{incintă}} = & t_{\text{indicată}} - t_{\text{aer}} + \delta t_{\text{ref}} + \delta t_{\text{deriva}} + \delta t_{\text{rezoluție}} \\ & + \delta t_{\text{mediu}} + \delta t_{\text{neliniaritate}} + \delta t_{\text{parazite}} + \delta t_{\text{auto-încălzire}} \\ & (+ \delta t_0 \text{ } ^\circ\text{C}) + \delta t_{\text{neuniform}} + \delta t_{\text{instab}} + \delta t_{\text{radiație}} + \delta t_{\text{încărcare}} \\ & + \delta t_{\text{rezoluție incintă}} \end{aligned}$$

Componentele incertitudinii

- ☀ $Dt_{\text{incintă}}$ este corecția temperaturii incintei, indicată de afișajul indicatorului sau al regulatorului, după caz
- ☀ $t_{\text{indicată}}$ – temperatura indicată de afișajul indicatorului sau al regulatorului, după caz
- ☀ t_{aer} - temperatura aerului din interiorul incintei
- ☀ δt_{ref} – corecția temperaturii indicate de termometrul plasat în punctul de referință, corecție ce este dată în certificatul său de etalonare
- ☀ δt_{deriva} – corecția derivatei în timp a termometrului de referință

Componentele incertitudinii

- ☀ $\delta t_{\text{rezoluție ref}}$ - corecția de temperatură datorată rezoluției limitate a termometrului de referință;
- ☀ δt_{mediu} - corecția influenței temperaturii mediului ambiant asupra indicațiilor termometrului de referință;
- ☀ $\delta t_{\text{neliniaritate}}$ - corecția neliniarității termometrului de referință;
- ☀ $\delta t_{\text{parazite}}$ - corecția influenței tensiunilor parazite și a rezistențelor de contact din circuitul de măsurare al termometrului de referință;
- ☀ $\delta t_{\text{auto-încălzire}}$ — corecția efectului de auto-încălzire, în cazul în care termometrul de referință este un termometru cu rezistență din platină;

Componentele incertitudinii

- ✱ $\delta t_{0^{\circ}\text{C}}$ – corecția erorii de compensare a temperaturii joncțiunii de referință, în cazul în care termometrul de referință este un termocuplu;
- ✱ $\delta t_{\text{neuniformitate}}$ – corecția neuniformității temperaturii în spațiul de lucru;
- ✱ δt_{instab} – corecția instabilității temperaturii în spațiul de lucru;
- ✱ $\delta t_{\text{radiație}}$ – corecția efectului de radiație;
- ✱ $\delta t_{\text{încărcare}}$ – corecția efectului încărcării;
- ✱ $\delta t_{\text{rezoluție incintă}}$ – corecția de temperatură datorată rezoluției finite a indicatorului incintei

Corecția efectului de radiație, $\delta t_{\text{radiație}}$

Procedura 1: 20% din diferența determinată

$$|\delta t_{\text{rad}}| \leq 0,2 \times \text{Max} |t_{es} - t_{er}|$$

va fi luată în considerare ca semi-lărgimea unei distribuții dreptunghiulare unde

- ☀ t_{es} este temperatura corpului cu emisivitate scăzută;
- ☀ t_{er} – temperatura corpului cu emisivitate ridicată.

Procedura 2: 100% din diferența determinată

$$|\delta t_{\text{rad}}| \leq \text{Max} |t_{es} - t_{er}|$$

va fi luată în considerare ca semi-lărgimea unei distribuții dreptunghiulare

Corecția efectului de radiație, $\delta t_{\text{radiație}}$

Procedura 3: 10% din diferența determinată

$$|\delta t_{\text{rad}}| \leq 0,1 \times \text{Max} |t_{\text{es}} - t_{\text{perete}}|.$$

va fi luată în considerare ca semi-lărgimea unei distribuții dreptunghiulare

Procedura 4: valoarea de 0,3 K

$$|\delta t_{\text{rad}}| \leq 0,3 \text{ K}$$

va fi considerată semi-lărgimea unei distribuții dreptunghiulare

- ✱ În certificatul de etalonare, se declară diferențele maxime obținute, adică fără factorii de ponderare de mai sus.

Corecția efectului încărcării, $\delta t_{\text{încărcare}}$

- Se determină diferența dintre temperaturile măsurate în punctul de referință, în incinta neîncărcată și, respectiv, încărcată. 20% din această diferență

$$|\delta t_{\text{înc}}| \leq 0,2 \times \text{Max} |t_{\text{ref}} - t_{\text{ref, înc}}|$$

este considerată semi-lărgimea unei distribuții dreptunghiulare.

Bilanțul incertitudinii

Mărimea X_i	Estimația x_i	Incertitudinea standard $u(x_i)$	Distribuția de probabilitate	Contribuția la $u_c(y)$ $u_i(y) = c_i u(x_i)$
$t_{\text{indicată}}$	$t_{\text{indicată med}}$	$s(t_{\text{indicată med}})$	normală	$s(t_{\text{indicată med}})$
t_{aer}	$t_{\text{ref med}}$	$s(t_{\text{ref med}})$	normală	$s(t_{\text{ref med}})$
δt_{ref}	0 °C	$U_1/2$	dreptunghiulară	$U_1/2$
δt_{deriva}	0 °C	$a_4/(2\sqrt{3})$	dreptunghiulară	$a_4/(2\sqrt{3})$
$\delta t_{\text{rez. ref}}$	0 °C	$a_5/(2\sqrt{3})$	dreptunghiulară	$a_5/(2\sqrt{3})$
δt_{mediu}	0 °C	$\{n\}_{\text{°C}} \{a\}_{\text{°C}^{-1}} / (2\sqrt{3})$	dreptunghiulară	$\{n\}_{\text{°C}} \{a\}_{\text{°C}^{-1}} / (2\sqrt{3})$

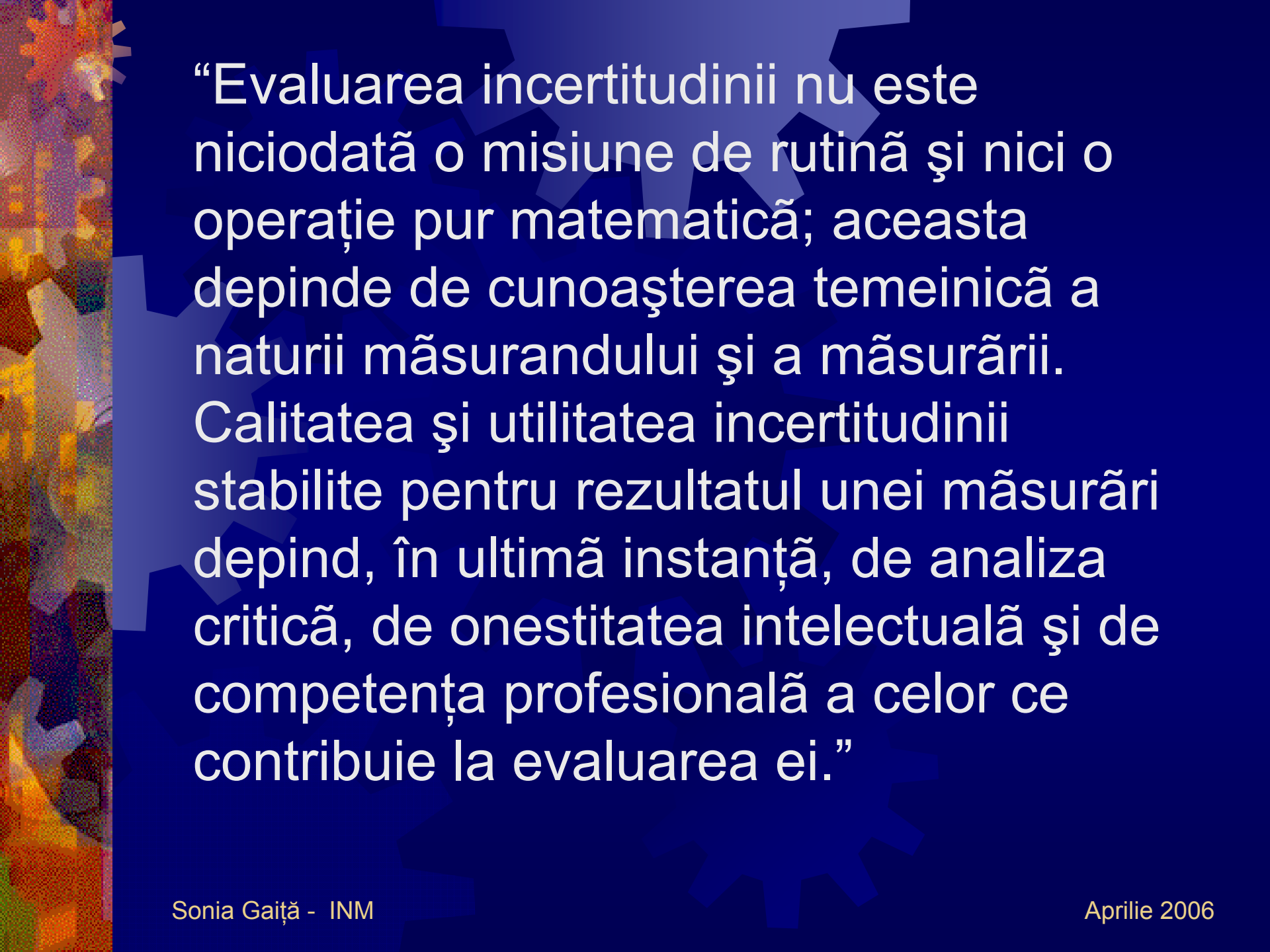
Bilanțul incertitudinii (continuare)

$\delta t_{\text{neliniaritate}}$	0 °C	$a_7/(2\sqrt{3})$	dreptunghiulară	$a_7/(2\sqrt{3})$
$\delta t_{\text{parazite}}$	0 °C	$a_8/(2\sqrt{3})$	dreptunghiulară	$a_8/(2\sqrt{3})$
$\delta t_{\text{auto-încălzire}}$	0 °C	$a_9/(2\sqrt{3})$	dreptunghiulară	$a_9/(2\sqrt{3})$
$(\delta t_{0\text{ °C}})$	0 °C	$a_{10}/(2\sqrt{3})$	dreptunghiulară	$a_{10}/(2\sqrt{3})$
$\delta t_{\text{neuniform}}$	0 °C	$a_{11}/\sqrt{3}$	dreptunghiulară	$a_{11}/\sqrt{3}$
δt_{instab}	0 °C	$a_{12}/\sqrt{3}$	dreptunghiulară	$a_{12}/\sqrt{3}$
$\delta t_{\text{radiație}}$	0 °C	$a_{13}/\sqrt{3}$	dreptunghiulară	$a_{13}/\sqrt{3}$
$\delta t_{\text{încărcare}}$	0 °C	$a_{14}/\sqrt{3}$	dreptunghiulară	$a_{14}/\sqrt{3}$
$\delta t_{\text{rezoluție incintă}}$	0 °C	$a_{15}/(2\sqrt{3})$	dreptunghiulară	$a_{15}/(2\sqrt{3})$
$Dt_{\text{incintă}}$	$t_{\text{indicată med}} - t_{\text{ref med}}$			$u_c(Dt_{\text{incintă}})$

Rezultatul etalonării

Un rezultat complet al măsurării constă din:

- ☀ Corecția indicației față de punctul de măsurare de referință sau față de pozițiile de măsurare individuale izolate (în cazul metodei D);
- ☀ Incertitudinea asociată corecției;
- ☀ Rezultatele detaliate ale investigațiilor, și anume:
 - Omogenitate, stabilitate, efectul radiației, efectul încărcării.
 - Metodele de măsurare ale efectului radiației și efectului încărcării trebuie să fie descrise cât mai clar.
- ☀ Conformitatea cu specificațiile (numai la solicitarea clientului);
- ☀ Condițiile de măsurare.



“Evaluarea incertitudinii nu este niciodată o misiune de rutină și nici o operație pur matematică; aceasta depinde de cunoașterea temeinică a naturii măsurandului și a măsurării. Calitatea și utilitatea incertitudinii stabilite pentru rezultatul unei măsurări depind, în ultimă instanță, de analiza critică, de onestitatea intelectuală și de competența profesională a celor ce contribuie la evaluarea ei.”



INCINTE TERMOSTATATE.

Metode de etalonare și de
evaluare a incertitudinii de
măsurare

Sonia Gaiță

INM - Laboratorul Termometrie