INCERTITUDINEA DE MĂSURARE ÎN PROCEDURILE DE EVALUARE A CONFORMITĂŢII PRODUSELOR

LUMINIŢA CATELI, VASILE MÎRZA, ALEXANDRU TARLAJANU

Universitatea Tehnică a Moldovei

Abstract: *Această lucrare se referă la o metodă mai puţin studiată de evaluare a conformităţii produselor, atunci când rezultatele măsurărilor sunt exprimate prin incertitudinea de măsurare. În cazul dat decizia de conformitate se ia în baza comparării a două diapazoane care reprezintă incertitudinea specificată şi incertitudinea calculată a caracteristicilor produsului supus evaluării. În scopul dat, s-au propus noţiunile de bază şi formulele de calcul referitor la estimarea incertitudinii, precum şi consecutivitatea activităţilor care asigură efectuarea cu succes a procedurii de evaluare a conformităţii. În urma testărilor efectuate s-a demonstrat fiabilitatea metodei propuse.*

Cuvinte cheie: *evaluarea conformităţii, eroare de măsurare, incertitudine de măsurare, etalonarea mijloacelor de măsurare, incertitudine calculată, incertitudine specificată.*

1. Instroducere

Evaluarea conformităţii este o procedură prin care se stabileşte îndeplinirea cerinţelor specificate pentru un anumit produs. Această evaluarea se efectuează în scopul asigurării calităţii prin procedurile de certificare, de inspecţie, de încercări sau de declaraţie de conformitate a producătorului. Evaluarea conformităţii rezultă într-o operaţie de comparare a cerinţelor pentru produs, specificate în documentele tehnice şi caracteristicile efective ale produsului, stabilite în rezultatul măsurărilor sau prin observare şi judecare. Cu toate că procedurile de evaluare a conformităţii menţionate deferă una de alta, în fond, ca dovadă a îndeplinirii cerinţelor specificate aceste proceduri folosesc rezultatele măsurărilor caracteristicilor produselor în laboratoare competente şi autorizate. Prin urmare, corectitudinea şi precizia măsurărilor influenţează în mod direct rezultatele evaluării conformităţii. Important este că metodele de măsurare şi prelucrare a datelor utilizate la elaborarea specificaţiei pentru produs să fie identice cu cele practicate în laboratoarele de încercări a produselor.

Deci, dacă se utilizează metoda de exprimare a preciziei măsurărilor prin eroarea de măsurare în procesul de proiectare şi elaborare a specificaţiei produsului, tot această metodă trebuie folosită şi la încercările acestuia. Această afirmaţie este valabilă şi pentru cazul exprimării preciziei măsurărilor prin incertitudinea de măsurare. De menţionat că eroarea de măsurare prezintă abaterea rezultatului măsurării faţă de valoarea adevărată a măsurandului, iar incertitudinea de măsurare este parametrul asociat rezultatului unei măsurări, care caracterizează dispersia valorilor ce în mod rezonabil, pot fi atribuite măsurandului.

Prezenta lucrare se referă la evaluarea conformităţii atunci când rezultatele măsurării caracteristicilor produselor sunt exprimate prin incertitudinea de măsurare.

2. Estimarea incertitudinii de măsurare

Exprimarea rezultatelor măsurărilor prin eroarea de măsurare a fost utilizată timp îndelungat în calitate de metodă de bază pentru caracterizarea preciziei de măsurare. Însă, aşa cum eroarea de măsurare este abaterea rezultatului măsurării faţă de valoarea adevărată a măsurandului, valoare care nu poate fi determinată cu o precizie absolută, determinarea abaterii de la valoarea adevărată este şi ea imposibilă.

Adăugător, datorită progresului tehnic şi implementării pe larg a abordărilor de proces şi de sistem, s-a stabilit că procedurile existente de măsurare în baza erorii de măsurare, având un caracter static, nu pot fi utilizate la măsurarea caracteristicilor proceselor, cărora le este specifică variaţia în timp. Cu atât mai mult, că din punct de vedere a acestor noi abordări, însăşi procedura de măsurare este un proces variabil, şi pentru determinarea caracteristicilor de calitate ale acestuia sunt necesare metode bazate pe tehnicile statistice de măsurare, prelucrare a datelor şi exprimare a rezultatelor.

Aceste premise au stat la temelia dezvoltării unui nou concept al măsurărilor, corespunzător metodelor statistice de control al proceselor, şi bazat pe determinarea preciziei de măsurare prin estimarea şi exprimarea incertitudinii de măsurare.

Trecând prin multiple etape de concepere, fundamentare şi dezvoltare acest concept a fost sistematizat în prestandardul european ENV 13005 „Ghid pentru exprimarea incertitudinii de măsurare”, care specifică următoarele:

1) *incertitudinea de măsurare* este parametrul asociat rezultatului unei măsurări, care caracterizează dispersia valorilor ce în mod rezonabil, pot fi atribuite măsurandului;

2) *incertitudinea standard* - incertitudine a rezultatului unei măsurari exprimată printr-o abatere standard;

3) *evaluare **de tip A** a incertitudinii* - metodă de evaluare a incertitudinii prin analiza statistică a şirurilor de observaţii, care include:

- calculul mediei aritmetice "$\bar{q}$" a unui şir de “n” măsurări cu rezultatele $q_1,,,q_n$

$$\bar{q} = \frac{1}{n}\sum_{k=1}^{n} q_x \qquad (1.1)$$

- evaluarea variaţiei experimentale a observaţiilor

$$S^2(q_k) = \frac{1}{n-1}\sum_{k=1}^{n}(q_k - \bar{q})^2 \qquad (1.2)$$

- calcularea abaterii standard experimentale

$$S(q_k) = \pm\sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{k=1}^{n}(q_k - \bar{q})^2} \qquad (1.3)$$

*Estimaţia **variaţiei** distribuţiei de probabilitate* a lui q şi a abaterii standard experimentale $S(q_k) = \sqrt{S^2(q_k)}$, caracterizează variabilitatea valorilor q_k observate sau, mai adecvat, dispersia acestora în jurul mediei $\bar{q}$.

Estimaţia cea mai bună a lui $\overline{\sigma^2(\bar{q})} = \sigma\, 2/n$, respectiv a variaţiei medii teoretice este exprimată prin

$$S^2(\overline{q}) = \frac{S^2(q_k)}{n} \qquad (1.4)$$

Variaţia experimentală a mediei $S^2(\overline{q})$ şi *abaterea standard a mediei* $S(\overline{q})$, egală cu rădăcina pătrată pozitivă a lui $S^2(\overline{q})$, exprimă cantitativ cât de bine estimează $\bar{q}$ media teoretică μ_q a lui q şi oricare din ele poate fi folosită drept măsură a incertitudinii lui q.

Pentru o mărime de intrare X_i determinată pe baza a *n* observaţii (măsurări) repetate independente $X_{i,k}$, ***incertitudinea standard***

$$U(x_i) = S(\overline{x_i}), \qquad (1.5)$$

unde $S(X_i) = \sqrt{S^2(\overline{x_i})} = \sqrt{\frac{S^2(x_i)}{n}}$ (1.6)

Din comoditate, $U^2(x_i) = S^2(\bar{x}_i)$ şi $U(x_i)$ sunt uneori denumite ***varianţă de tip A*** şi, respectiv, ***incertitudine standard de tip A.***

4) *evaluarea de **tip B** a incertitudinii* - metodă de evaluare a incertitudinii prin alte metode decât analiza statistică a şirurilor de observaţii.

Pentru o estimaţie x_i a unei mărimi de intrare X_i care nu a fost obţinută pe baza unor observaţii repetate, ***varianţa estimată*** $U^2(x_i)$ ***asociată*** sau ***incertitudinea standard*** $U(x_i)$ este evaluată printr-o analiză ştiinţifică bazată pe toate informaţiile de care se dispune despre posibila variabilitate a lui x_i.

Ansamblul de informaţii acumulate poate include:

- rezultatele unor măsurări anterioare;
- experienţă sau cunoaşterea generală referitoare la comportarea şi proprietăţile materialelor şi mijloacelor de măsurare utilizate;
- specificaţiile fabricanţilor;

- datele specificate în certificatele de etalonare sau alte certificate;
- incertitudinea atribuită valorilor de referinţă preluate din lucrări şi manuale.

Pentru comoditate, varianţa $U^2(x_i)$ şi incertitudinea $U(x_i)$ evaluate în acest mod sunt denumite uneori *varianţă* ***de tip B*** şi, respectiv, *incertitudine standard* ***de tip B***.

5) *incertitudine standard compusă $U_c(y)$* - incertitudine standard a rezultatului unei măsurări, atunci când acel rezultat este obţinut pe baza valorilor unor mărimi diferite, egală cu rădăcina pătrată pozitivă a unei sume de termeni, termenii respectivi fiind varianţele sau covarianţele acelor mărimi, ponderate în conformitate cu variaţia rezultatului măsurării în funcţiei de variaţia mărimilor respective.

Incertitudinea standard a lui ***y***, unde ***y*** este estimaţia măsurandului **Y** şi, deci, rezultatul măsurării, se obţine combinând în mod adecvat incertitudinile standard ale estimaţiilor de intrare $X_1, X_2 \ldots X_N$.

*Notă 1. Această abordare se datorează faptului că în majoritatea cazurilor un măsurand **Y** nu este măsurat direct ci este determinat indirect, pe baza altor mărimi X_1 , $X_2 \ldots X_N$ prin intermediul unei relaţii funcţionale.*

2.Prin X_1 , $X_2 \ldots X_N$ se identifică ***mărimile de intrare*** *de care depinde* ***mărimea de ieşire Y.***

Această ***incertitudine standard compusă*** a estimaţiei ***y*** se notează cu $U_c(y)$.

$$U_c(y) = \sqrt{U_c^2(y)}\,, \tag{1.7}$$

$$U_c^2(y) = \sum_{i=1}^{N}\left[\frac{\partial f}{\partial X_i}\right]^2 U^2(X_i) \tag{1.8}$$

unde,

$\frac{\partial f}{\partial X_i} = c_i$ - coeficient de pondere a lui X_i în estimaţia lui ***y***, atunci când $c_1 = 1$

$$U_c^2(y) = \sum_{i=1}^{N} U^2(X_i) \tag{1.9}$$

Fiecare $U(x_i)$ este o incertitudine standard calculată conform metodei de evaluare ***de tip A*** sau ***de tip B***. Incertitudinea standard compusă $U_c(y)$ este o abatere standard estimată (calculată) şi caracterizează dispersia valorilor ce în mod rezonabil, pot fi atribuite măsurandului **Y.**

Estimaţia măsurandului **Y**, notată ***y*** , se obţine din ecuaţia $Y = f(X_1, X_2 \ldots X_N)$ folosind estimaţiile de intrare $x_1, x_2 \ldots x_n$ pentru valorile celor N mărimi de intrare $X_1, X_2 \ldots X_N$. Astfel estimaţia de ieşire ***y***, care reprezintă rezultatul măsurării, este exprimată prin

$$y = f(x_1, x_2 \ldots x_n); \tag{1.10}$$

$$y = \overline{Y} = \frac{1}{n}\sum_{k=1}^{n} Y_k = \frac{1}{n}\sum_{k=1}^{n} f(x_{1,k}, x_{2,k} \ldots x_{N,k}) \tag{1.11}$$

6) *incertitudinea extinsă U*– mărime care defineşte un interval în jurul rezultatului unei măsurări, interval în care este de aşteptat să fie cuprinsă o fracţiune ridicată a distribuţiei valorilor ce, în mod rezonabil pot fi atribuite măsurandului.

$$U = kU_c(y), \tag{1.12}$$

unde $U_c(y)$ -incertitudinea standard compusă, k - factor de putere.

Valoarea factorului de putere (extindere) k este aleasă pe bază nivelului de incertitudine cerut pentru intervalul de la y-U până la y+U. În general k este cuprins în intervalul de la 2 până la 3.

Rezultatul unei măsurări se exprimă sub forma

$Y = y \pm U$, (1.13)

ceea ce se interpretează astfel: cea mai bună estimaţie a valorii atribuite măsurandului ***Y*** este ***y,*** iar intervalul de la ***y-U*** până la ***y+U*** este un interval în care se poate considera că este cuprinsă o mare parte a distribuţiei valorilor ce în mod rezonabil pot fi atribuite lui ***Y,*** sau

$$\boldsymbol{y\text{-}U \le Y \le y+U} \tag{1.14}$$

3. Colectarea datelor şi estimarea incertitudinii mijlocului de măsurare

În condiţii de laborator, în scopul etalonării, cu mijlocul de măsurare se efectuează nouă măsurări repetate a rezistenţei unui etalon cu rezistenţa de 10 *Ω* şi incertitudinea $U_{er} = \pm 0,1\ \Omega$. Rezultatele măsurărilor sânt reprezentate în tabelul 1.

Tabelul 1.Date pentru estimarea incertitudinii mijlocului de măsurare

Nr. d/o	Rezultatele măsurărilor y_1.....y_9, Ω									Mărimi calculate				
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	$\bar{y}_e$	$U_{s\,mm}$	$U_{c\,mm}$	$U_{e\,mm}$	Y_e
R	10,5	10,38	10,94	11,03	10,74	10,82	10,22	10,35	10,54	10,61	0,28	±0,297	±0,594	±0,594

Pentru efectuarea calculelor se foloseşte programul Microsoft Excel. Iniţial se introduc rezultatele măsurărilor, apoi folosind funcţiile mediului Excel şi formulele de calcul se calculează:

Incertitudinea standard:

$$U_{smm} = \pm\sqrt{\frac{1}{m-1}\sum_{k=1}^{m}(y_k - \overline{y_e})^2} = \pm 0,28,\Omega \tag{1.15}$$

Incertitudinea compusă:

$$U_{cmm} = \pm\sqrt{U_{er}{}^2 + U_{smm}{}^2} = \pm\sqrt{0,1^2 + 0,28^2} = \pm 0,297,\Omega \tag{1.16}$$

Incertitudinea extinsă:

$$U_{emm} = kU_{cmm} = 2 * 0,297 = 0,594,\Omega \tag{1.17}$$

Valoarea măsurandului:

$$Y_e = \overline{y_e} \pm U_{emm} = 10,61 \pm 0,594,\Omega \tag{1.18}$$

Rezultatele obţinute sunt arătate în tabelul 1. Incertitudinea estimată a mijlocului de măsurare $U_{e\,mm}$ se va folosi la determinarea incerditudinii de măsurare a parametrilor produselor supuse evaluării conformităţii.

4. Colectarea datelor şi estimarea incertitudinii de măsurare a caracteristicii produselor supuse evaluării conformităţii

În condiţii de laborator, cu mijlocul de măsurare etalonat, se efectuează măsurări repetate a rezistenţei unui eşantion din trei produse (P_1, P_2, P_3,). Rezultatele măsurărilor sânt reprezentate în tabelul 2.

Tabelul 2. Date pentru estimarea incertitudinii caracteristicii produselor supuse evaluării conformităţii

Nr. d/o	Rezultatele măsurărilor y_1.....y_9, Ω							Mărimi calculate						
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	$\bar{y}_e$	$U_{s\,pr}$	$U_{c\,pr}$	$U_{e\,pr}$	Y_e	*Y_e spec.*	*Conf sau neconf.*
P_1	*22,06*	*22,08*	*22,08*	*22,07*	*22,06*	*22,08*	*22,06*	*22,07*	*0,01*	*±0,591*	*±1,182*	*±1,182*	*22±0,44*	*neconf.*
P_2	*217,7*	*218,3*	*219,6*	*221,1*	*218,9*	*221,7*	*218,5*	*219,4*	*1,49*	*±1,6*	*±1,6*	*±1,6*	*220±4,4*	*conf.*
P_3	*46,29*	*46,31*	*46,28*	*46,27*	*46,31*	*46,29*	*46,28*	*46,29*	*0,013*	*±0,592*	*±1,184*	*±1,184*	*47±0,94*	*neconf.*

Estimarea incertitudinii de măsurare a caracteristicii produselor supuse evaluării conformităţii se efectuează analogic calculelor incertitudinii mijlocului de măsurare.

Incertitudinea standard:

$$U_{s\,pr} = \pm\sqrt{\frac{1}{m-1}\sum_{k=1}^{m}(y_k - \overline{y_e})^2} = \pm 0,01,\Omega \tag{1.19}$$

Incertitudinea compusă:

$$U_{c\,pr} = \pm\sqrt{U_{emm}{}^2 + U_{s\,pr}{}^2} = \pm\sqrt{0,594^2 + 0,01^2} = \pm 0,591,\Omega \tag{1.20}$$

Incertitudinea extinsă:

$$U_{e\,pr} = kU_{c\,pr} = 2 * 0,591 = 1,182,\Omega \tag{1.21}$$

Valoarea măsurandului:

$$Y_e = \overline{y_e} \pm U_{e\,pr} = 22,07 \pm 1,182,\Omega \tag{1.22}$$

Rezultatele obţinute sunt reprezentate în tabelul 2, unde sânt arătate şi valorile specificate ale rezistenţei produselor supuse evaluării conformităţii.

Folosind datele din tabelul 2, în scopul evaluării conformităţii, se construieşte graficul incertitudinilor specificate şi calculate pentru fiecare produs în parte.

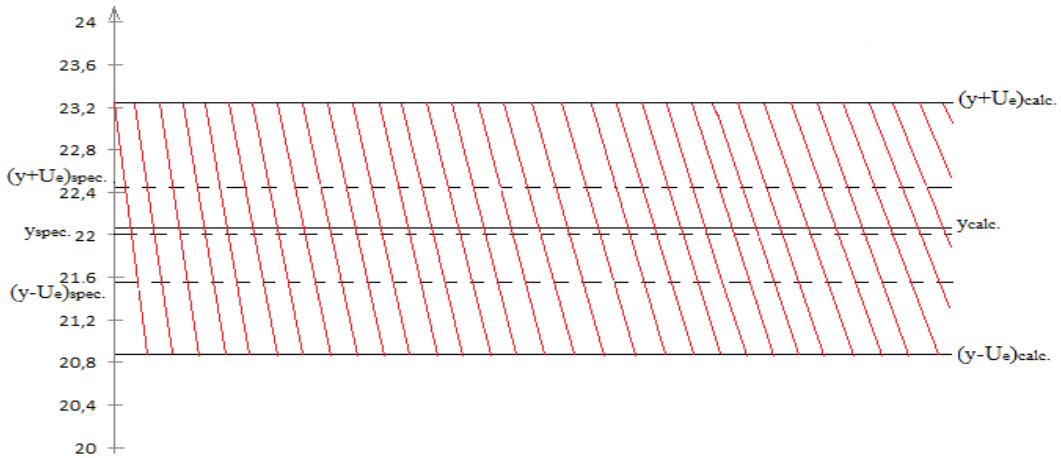

Figura 1. Graficul incertitudinii specificate şi incertitudinii calculate pentru produsul 1

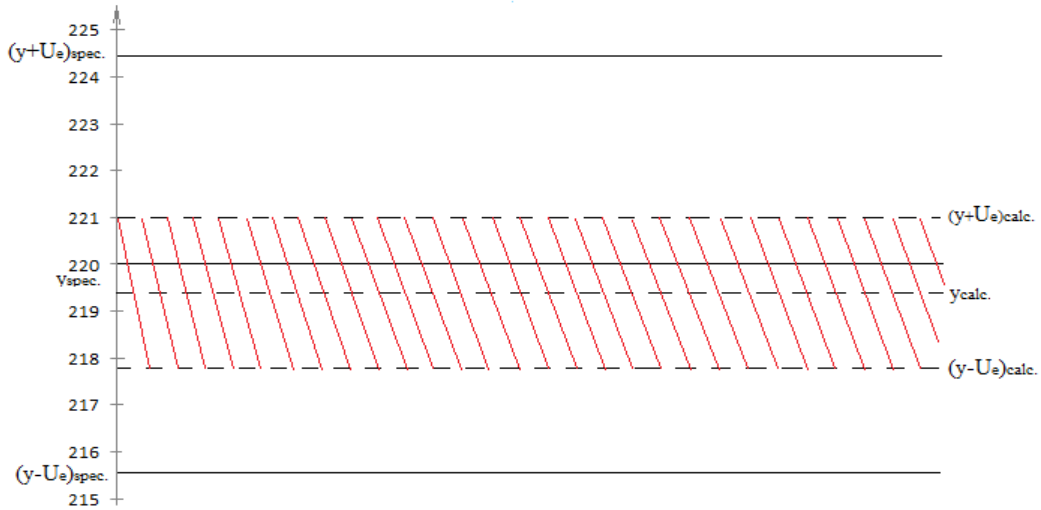

Figura 2. Graficul incertitudinii specificate şi incertitudinii calculate pentru produsul 2

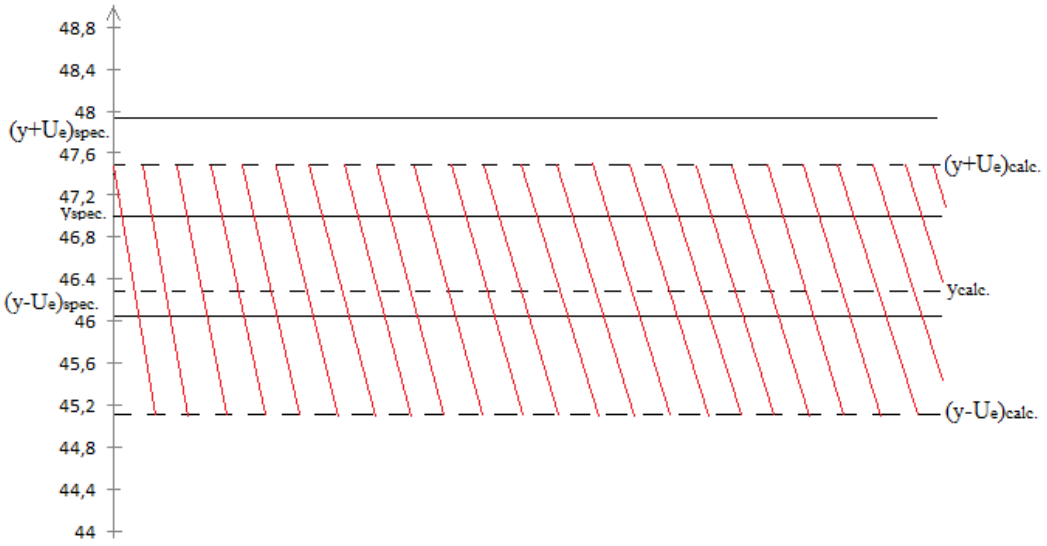

Figura 3. Graficul incertitudinii specificate şi incertitudinii calculate pentru produsul 3

Reieşind din graficele reprezentate în figurile 1-3 se poate face concluzia că caracteristicile produselor P_1 şi P_3 nu se încadrează în limitele specificate şi prin urmare aceste produse sunt neconforme, iar produsul P_2 - este conform.

Prin urmare, procedura propusă de evaluare a conformităţii produselor este destul de expresivă, bine structurată şi reprezintă un subiect mai rar abordat din domeniul evaluării conformităţii.

5. Concluzii

Evaluarea conformităţii produselor când rezultatele măsurărilor sunt exprimate prin incertitudinea de măsurare implică o serie de activităţi mai puţin studiate până în prezent. În scopul extinderii cunoştinţelor în domeniul dat s-a propus o procedură de evaluare a conformităţii, care prin expresivitatea sa asigură îndeplinirea cu succes a obiectivelor evaluării. Metoda propusă poate contribui la dezvoltarea principiilor şi metodologiei evaluării conformităţii produselor.

Bibliografie

1. Chiciuc A.,Corjan A. Metrologie, Standardizare şi Măsurări. Curs de lecţii. UTM, Chişinău – 2002.
2. Alexandru Tarlajanu. Control şi certificarea producţiei. Îndrumar de laborator. UTM, Chişinău – 2010.
3. SR ENV 13005: 2003. Ghid pentru exprimarea incertitudinii de măsurare.