



**Universitatea Tehnică a Moldovei**

Programul de masterat **Inginerie și Managementul Calității**

**ELABORAREA MODELULUI MATEMATIC  
DE EXPRIMARE A INCERTITUDINII DE  
MĂSURARE**

Teza de master

**Student: Stavița Octavian**

**Conducător: dr. conf. Tarlajanu Alexandru**

**Chișinău – 2021**

## REZUMAT

**Teza conține:** 61 pagini, 19 ilustrații, 4 tabele, 17 surse bibliografice, 3 anexe.

**Cuvinte cheie:** incertitudine de măsurare, model matematic, driver a incertitudinii de măsurare, încercări-măsurări, etalonări cu incertitudinea de măsurare.

Pentru programul științific a Tezei de master se abordează o problema semnificativă în domeniul măsurărilor și încercărilor referitor la exprimarea incertitudinii de măsurare, problema pe care se pune spre studiu și rezolvării acesteia constă în determinarea exactă a valorii măsurandului în cazul măsurărilor metrologice, evaluarea încercărilor în procedura de încercare, și evaluarea etalonului în procedurile de etalonare. În Republica Moldova și de obicei în practica internațională, conform prevederilor ghidului de exprimare a incertitudinii de măsurare, modalitatea după părerea mea ,caracterizarea și evaluarea a ei este foarte subiectivă, iar ce ține de reprezentarea în certificatele, rapoartele de încercări și, sau buletinele metrologice este greu lizibilă și înțeleasă, de până acum incertitudinea de măsurare nu a fost reprezentată printr-un model matematic,sau cu graficile lizibile,și funcționale.Sau printr-o funcție matematică vădit reprezentativă.Ce ia ce se propune în lucrarea de față.

**Scopul și obiectivele lucrării:** Scopul acestei teze este înțelegerea, dezvoltarea și implementarea a modelului matematic de evaluare a incertitudinii de măsurare, caracterizarea acesteia prin funcție matematică și reprezentarea grafică cu utilizarea ei în practică la măsurări, încercări, etalonări unde se cere exprimarea incertitudinea de măsurare. Obiectivele sunt indentificarea incertitudinii de măsurare, caracterizarea driverilor (variabilele) care influențeaza la exprimarea incertitudinii de măsurare. Ca în final sa obținem modelul matematic al incertitudinii de măsurare cu implimentarea acesteea,ca un model cu înalt nivel de semnificație.

Noutatea și originalitatea studiului: În comparație cu evaluarea curentă și după recomandările prestandardului ENV 13005 „Ghid pentru exprimarea incertitudinii de măsurare”, rămâne loc de interpretări pentru valoarea exactă a măsurandului. Prin această lucrare se impune redarea modelului matematic a incertitudinii de măsuare, cu exprimarea unei valori exacte a măsurandului.

**Semnificația teoretică:** Studiul afișează rezultatele cercetării comparative a unor probleme de exprimare a incertitudinii de măsurare, a calculării acesteea și uzanței în procedurile de măsurări metrologice, evaluării conformității și etalonării. De asemenea au fost calculate și puse în evidență driverii(variabilele) care contribute semnificativ la evaluarea curentă pentru incertitudinea de măsurare. Au fost formulate și calculele pentru modelul matematic, conceperea unui model cu adevarat inovativ, modalitatea de exprimare și vizualizare grafică a incertitudinii de măsurare va contribui semnificativ la calculul și evaluarea valorii exacte în măsurări

metrologice, în evaluarea conformității și etalonări proces cu investire minimă și fiabilitate ridicată.

**Valoarea aplicativă a lucrării:** S-a elaborat un sistem de calcul, cu preluarea unui model matematic de evaluare a exprimării incertitudinii de măsurare, pentru evaluarea exactă a măsurandului, poate fi utilizată ca model matematic pentru elaborarea procedurilor de măsurare cu exprimarea incertitudinii pentru laboratoarele încercări și etalonări.

## SUMMARY

**The thesis contains :** 61 pages, 19 illustration , 4 tables, 17 bibliographical sources,3 attached.

**Keywords:** measurement uncertainty, mathematical model, driver of measurement uncertainty, test-measurements, calibrations with measurement uncertainty.

For the scientific program of the Master's Thesis, a significant problem is addressed in the field of measurements and tests with the expression of measurement uncertainty. testing, and evaluation of the standard in calibration procedures. In the Republic of Moldova, and usually in international practice, according to the provisions of the guide for expressing measurement uncertainty, its characterization is very subjective, and what is represented in certificates, test reports and / or metrological bulletins is difficult to read and understand, until since it will not be represented by a mathematical model with functional graphs.

**The purpose of the paper:**The purpose of this thesis is to understand, develop, and implement of the mathematical model for evaluating the measurement uncertainty, its characterization by mathematical function and graphical representation, with its use in practice in measurements, tests, calibrations where the measurement uncertainty is expressed. Objectives are to identify the uncertainty measurement, characterization of drivers (variables) that influence the expression of uncertainty. In order to finally obtain the mathematical model of the measurement uncertainty, with its implementation.

**Novelty and originality of the study:** Compared to the current evaluation and following the recommendations of the standard ENV 13005 "Guide for expressing measurement uncertainty", there is still room for interpretation for the exact value of the measurement. Through this work it is necessary to reproduce the mathematical model of the measurement uncertainty, with the expression of an exact value of the measurand.

**Theoretical significance:** The study displays the results of comparative research on problems of expressing measurement uncertainty, its calculation and usage in metrological measurement procedures, conformity assessment and calibration. Drivers (variables) that contribute significantly to the current assessment for measurement uncertainty were also calculated and highlighted. The calculations for the mathematical model, the design of a truly innovative model, the way of expressing and graphically visualizing the measurement uncertainty will also be formulated will contribute significantly to the calculation and evaluation of the exact value in metrological measurements, conformity assessment, and process calibrations with minimal investment. high reliability.

**The applicative value of the paper:** a calculation system was elaborated, with the taking over of a mathematical model for evaluating the expression of the measurement uncertainty, for the exact evaluation of the measurand.

## CUPRINS

<b>INTRODUCERE.....</b>	<b>9</b>
<b>1. EVALUAREA INCERTITUDINII DE MĂSURARE .....</b>	<b>12</b>
1.1. Incertitudinea de măsurare, concept, Ghidul ISO, GUM.....	12
1.2. Identificarea erori, corecții și incertitudini de măsurare.....	15
1.3. Evaluarea incertitudinii standart.....	20
1.4. Definirea incertitudinii extinse.....	22
1.5. Exprimarea matematică a incertitudinii de măsurare.....	24
Concluzii la procedurile de evaluare a incertitudinii de măsurare la capitolul 1...24	
<b>2. EXPRIMAREA INCERTITUDINII DE MĂSURARE LA ÎNCERCĂRI, MĂSURĂRI ȘI ETALONĂRI CANTITATIVE</b>	
2.1. Specificarea noțiunilor în procesele de măsurare, încercări și etalonări.....	24
2.2. Modalitatea de implementare a conceptului de incertitudinii de măsurare.....	27
2.3. Diferite metode de evaluare a incertitudinii de măsurare, avantaje.....	28
2.4. Aspecte pentru algoritmul matematic de evaluare a incertitudinii de măsurare.	30
2.5. Utilitatea de folosire a Ofice Excel Microsoft pentru evaluarea incertitudinii de măsurare.....	32
<b>3. METODE DE CARACTERIZARE A INCERTITUDINII DE MĂSURARE</b>	
3.1. Considerații generale.....	34
3.2. Selectarea metodelor de caracterizare a incertitudinii de măsurare.....	37
3.3. Simularea modelului matematic în programul Ofice Excel .....	38
3.4. Metodele de verificare .....	43
<b>CONCLUZIE .....</b>	<b>45</b>
<b>BIBLIOGRAFIE.....</b>	<b>47</b>
<b>ANEXE</b>	

## INTRODUCERE

Valoarea adevărată a unei mărimi de stare fizică este o noțiune idealizată din punct de vedere conceptuală ce nu poate fi determinată. Ceea ce se știe cu certitudine este valoarea măsurată a mărimii naturale care este afectată de erori subiective. În scopuri practice valoarea adevărată este înlocuită cu o valoare convențional adevărată ce diferă neglijabil de cea adevărată. Orice măsurare este însoțită de o incertitudine care, pe de o parte este cauzată de necunoașterea valorii adevărate nedeterminabilă, iar pe de altă parte de eroarea absolută de măsurare (diferența între valoarea măsurată și valoarea adevărată) care este inevitabilă ca urmare a imperfecțiunii mijloacelor, operatorului și metodelor de măsurat, a frustrării exterioare, variației condițiilor de mediu și schimbării stării obiectului supus măsurării, subiectivității operatorului și a altor surse de erori care considerăm că va influența rezultatul final. Deoarece orice măsurare conține o incertitudine, ca rezultatul unei măsurări trebuie însoțit de indicarea incertitudinii de măsurare (cum prevede normele internaționale) un interval în care se estimează, cu o anumită probabilitate, că se află valoarea adevărată a măsurandului, deoarece în lipsa acestuia el poate fi necorespunzător scopului propus, mai ales la procedurile de măsurare sau încercări.

Estimarea erorilor și incertitudinilor de măsurare se face pe baza unor procedee matematice din teoria probabilităților și sau statisticii, aplicate la prelucrarea rezultatelor experimentale însoțită de calculule numerice uneori destul de voluminoase și uneori cu costuri considerabile. La efectuarea acestor calcule este necesar să fie respectate anumite reguli dar deseori se optează pe metodele proprii ca ulterior să fie creditate. Cu acest scop, în lucrarea de teză sunt date exemple numerice care însoțesc măsurările, precum și unele recomandări care au menirea să ajute interlocutorului să sesizeze orice abatere semnificativă de la rezultatele așteptate, pentru a evita greșelile de calcul sau eventualele operații matematice greșite care duc la rezultate evident incorecte. De regulă, calculele se execută după terminarea măsurărilor, însă în principiu pentru a ne convinge de corectitudinea procesului de măsurare este bine să se facă atenție la unele calculi intermediare în timpul evaluării incertitudinii de măsurare. Cel mai adesea, rezultatele măsurărilor și cu incertitudinea de măsurare, cât și rezultatele calculelor incertitudinii de măsurare se trec în tabele, în care se vor indica simbolurile și unitățile mărimilor fizice și evident incertitudinea de măsurare.

Pe lângă prezentarea sub formă de tabele a rezultatelor pe certificatele de conformitate sau buletinele metrologice etc, este utilă și chiar necesară reprezentarea grafică a incertitudinii de măsurare dar și funcția matematică a incertitudinii, precum și coeficientul de determinare a valorii adevărate a măsurandului cum ar fi, de exemplu, dependența dintre mărimea de ieșire și mărimea de intrare în cazul măsurărilor metrologice, încercări și etalonări.

În legătură cu reprezentarea grafică, se va acorda o atenție deosebită alegerii graficului de

valori pe abscisă și pe ordonată, pentru asigurarea înțelegerii dorite (regresia poate fi liniară, logaritmică, etc.).

Evaluarea conformității este o procedură prin care se stabilește îndeplinirea cerințelor specificate pentru un anumit produs, măsurările metrologice sunt verificări inițiale, periodice, precum etalonarea este o confirmare de păstrare a unității de măsură viabilă. Această evaluare se efectuează în scopul asigurării calității prin procedurile de certificare, de inspecție, de încercări sau de declarație de conformitate a producătorului. Evaluarea conformității rezultă într-o operație de comparare a cerințelor pentru produs, specificate în documentele tehnice și caracteristicile efective ale produsului, stabilite în rezultatul măsurărilor sau prin observare și judecare. Cu toate că procedurile de evaluare a conformității menționate deferă una de alta, în fond, ca dovadă a îndeplinirii cerințelor specificate aceste proceduri folosesc rezultatele măsurărilor caracteristicilor produselor în laboratoare competente și autorizate. Prin urmare, corectitudinea și precizia măsurărilor influențează în mod direct rezultatele evaluării conformității. Important este că metodele de măsurare și prelucrare a datelor utilizate la elaborarea specificației pentru produs să fie identice cu cele practice în laboratoarele de încercări a produselor. Deci, dacă se utilizează metoda de exprimare a preciziei măsurărilor prin eroarea de măsurare în procesul de proiectare și elaborare a specificației produsului, tot această metodă trebuie folosită și la încercările acestuia. Această afirmație este valabilă și pentru cazul exprimării preciziei măsurărilor prin incertitudinea de măsurare. De menționat că eroarea de măsurare prezintă abaterea rezultatului măsurării față 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 incertitudinii de măsurare pentru evaluarea conformității, măsurărilor metrologice, etalonări atunci când rezultatele măsurării caracteristicilor produselor sunt exprimate prin incertitudinea de măsurare. Ghidul pentru Exprimarea Incertitudinii în Msurare (GUM) [1] este recunoscut de Acreditarea Europeană ca un document de bază privind incertitudinea de măsurare. Prin urmare, în general, pentru evaluarea incertitudinii de măsurare în orice domeniu de aplicare asociat cu activitatea AE este cerută consistent de GUM [1] pentru îndrumări specifice sau recomandări. În general, GUM poate fi aplicat și în încercări, măsurări, etalonări deci există diferențe semnificative între procedurile de măsurare și cele de încercare. Însă natura anumitor proceduri de încercare poate face dificil aplicarea strictă a GUM.

În capitolul 6 [1] este furnizat o îndrumare privind modul cum trebuie procedat în aceste cazuri. Ori de câte ori este posibil, laboratoarelor acreditate de încercare, metrologice li se cere că, atunci când raportează incertitudinile asociate rezultatelor cantitative, s-o facă în



conformitate cu procedura GUM [1]. O cerință de bază a GUM [1] este să utilizeze un model pentru evaluarea incertitudinii. Modelul trebuie să includă toate mărimile care pot contribui semnificativ la incertitudinea asociată rezultatului încercării. Cu toate acestea, există situații în care efortul cerut pentru dezvoltarea unui model detaliat nu este necesar. În asemenea cazuri, trebuie adoptate alte îndrumări identificate și alte metode bazate, de exemplu pentru validare și utilizare a datelor de performanță a metodei. Pentru a asigura pe toți clienții care beneficiază integral de serviciile laboratoarelor, și laboratoarele acreditate de încercare metrologice care și-au dezvoltat principii adecvate pentru colaborarea lor cu clienții. Clienții au dreptul să se aștepte cu rapoartele de încercare, de fapt, sunt corecte și utile. În funcție de situație, clienții sunt de asemenea interesați în caracteristici de calitate, în special:

- siguranța rezultatelor și o declarație cantitativă a acestei siguranțe, adică incertitudine
- nivelul de încredere a unei declarații de conformitate despre produs care poate fi dedus din rezultatul de încercare și din incertitudinea extinsă asociată.

Alte însușiri de calitate, cum ar fi repetabilitatea, fidelitatea intermediară, reproductibilitatea, justețea, robustețea și selectivitatea sunt de asemenea importante pentru caracterizarea calității unei metode de încercare, măsurare. ISO/IEC 17025 [2] cere laboratoarelor de etalonare și laboratoarelor de încercare să aibă și să aplice proceduri pentru estimarea incertitudinii de măsurare. ISO 15195 [3] și Ghidul ISO 34 [4] au cerințe similare pentru laboratoarele de măsurări de referință și pentru producătorii de materiale de referință. Recomandări specifice privind evaluarea incertitudinii pot fi găsite și în “Ghidul privind Exprimarea Incertitudinii de Măsurare” (GUM) [1], publicat pentru prima dată în 1993 în numele BIPM, IEC, IFCC, ISO, IUPAC, IUPAP și OIML [2][3]. Ghidul GUM [1] stabilește reguli generale pentru evaluarea și exprimarea incertitudinii de măsurare care pot fi utilizate în cele mai multe dintre domeniile de măsurări fizice. Ghidul GUM [1] descrie o modalitate armonizată și lipsită de ambiguitate pentru evaluarea și declararea incertitudinii de măsurare și furnizează câteva opțiuni pentru estimarea și declararea incertitudinii de măsurare. Similar, Ghidul ISO 35 [4] furnizează recomandări specifice pentru determinarea contribuțiilor la incertitudine, provenite din materialele de referință, inclusiv instabilitate, neomogenitate și mărimea probei, câteva dintre opțiuni fiind permise. Aceasta poate avea ca rezultat interpretări diferite ale GUM [1] și ale Ghidului ISO 35[4], și de aceea laboratoarele de etalonare/măsurări de referință și producătorii de materiale de referință acreditate de către organismele membre ale ILAC pot raporta incertitudinea de măsurare într-un mod inconsecvent. Din acest motiv, multe organisme de acreditare, precum și organismele regionale au publicat documente obligatorii care conțin criterii și ghiduri privind incertitudinea de măsurare, în concordanță cu GUM [1] și Ghidul ISO 35[4],

cu scopul de a ajuta laboratoarele în aplicarea criteriilor și ghidului. Câteva exemple de documente din ghid sunt enumerate în capitolul de mai jos din această lucrare de teză.

**Scopul lucrării constă** - în dezvoltarea, modelarea și implementarea unui model de exprimare a incertitudinii de măsurare.

**Obiectivele cercetării:**

- Sistematizarea materialului despre incertitudinea de măsurare pentru măsurări metrologice, evaluare conformității și etalonări;
- Actualizarea materialului despre incertitudinea de măsurare pentru măsurări metrologice, evaluare conformității și etalonări;
- Cunoașterea și utilizarea incertitudinii de măsurare pentru măsurări metrologice, evaluare conformității și etalonări;
- Aprecierea capacității de penetrare a incertitudinii de măsurare pentru măsurări metrologice, evaluare conformității și etalonări acestei iradiere;
- Caracterizarea impactului în urma obținerii modelului matematic a exprimării incertitudinii de măsurare pentru măsurări metrologice, evaluare conformității și etalonări;
- Cunoașterea bazelor științifice generale și metodologia estimării incertitudinii de măsurare;
- Clasificarea estimării incertitudinii de măsurare;
- Metode și mijloace de evaluarea incertitudinii de măsurare;
- Metodele de verificare, a valorilor reale a masurandului;

## BIBLIOGRAFIE

1. Chiciuc A, Corjan A. Metrologie, Standardizare și Măsurări. Curs de lecții. UTM, Chișinău – 2002.
2. Alexandru Tarlajanu. Control și certificarea producției. Îndrumar de laborator. UTM, Chișinău – 2010.
3. SiteWeb [https://inm.md/uploads/0/images/large/545c0635609f49bfc777cc620daefd99\\_sc-017-201-vulpe-roman.pdf](https://inm.md/uploads/0/images/large/545c0635609f49bfc777cc620daefd99_sc-017-201-vulpe-roman.pdf)
4. SR ENV 13005: 2003. Ghid pentru exprimarea incertitudinii de măsurare.
5. Wikipedia, Enciclopedie. Liberă. [https://ro.wikipedia.org/wiki/Distribu%C8%9Bia\\_Gauss](https://ro.wikipedia.org/wiki/Distribu%C8%9Bia_Gauss)
6. EA - 4/16 G (2003) EA guidelines on the expression of uncertainty in quantitative testing. European cooperation for accreditation. On line at: <http://www.european-accreditation.org/publication/ea-4-16-g> .
7. GUM (1995) Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement. BIPM, IEC, IFCC, ISO, IUPAC, IUPAP, OIML. International Organization for Standardization, Switzerland, ISBN 92-67-10188-9, Ist Edition, 1993. Corrected and reprinted 1995. On line at: [www.bipm.org/en/publications/guides/gum.html](http://www.bipm.org/en/publications/guides/gum.html) .
8. JOSEPH M. JURAN, A. BLANTON GODFREI: Manualul calității Juran. Traducere din limba engleză după ediția a cincea publicată de editura McGraw-Hill. Editat de SRAC – Societatea Română pentru Asigurarea Calității. Tipărit la Regia Autonomă „MONITORUL OFICIAL. București. 2004
9. INTERNATIONAL TRADE CENTRE UNCTAD/WTO: Export Quality Management: An Answer Book for Small and Medium-sized exporters. Geneva: ITC, 2001
10. STANDARD MOLDOVEAN SM SR EN ISO/ IEC 17025:2006. Criterii generale pentru competența laboratoarelor de încercări și de etalonări.
11. STANDARD INTERNAȚIONAL ISO 9001:2008 „Sisteme de management al calității. Cerințe.
12. STANDARD ROMÂN SR ENV 13005: 2003. Ghid pentru exprimarea incertitudinii de măsurare.
13. I.Nuca. Controlul Statistic al Calității. Note de Curs. UTM
14. Site WEB <https://ik-ptz.ru/ro/russian-language/klassicheskii-regressionnyi-analiz-regressiya-v-excel-uravnenie-primery.htm>
15. Modelarea matematică prin Matlab / Maria Miroiu, Nicoleta Breaz, Marian Crăciun, Păstorel Gașpar, Iuliana Paraschiv- Munteanu - Vatra Dornei: StudIS, 2013, <http://dep2.mathem.pub.ro/pdf/didactice/Modelarea%20matematica%20prin%20Matla.pdf>

16. Probabilități și statistică. SiteWEB

<http://dep2.mathem.pub.ro/pdf/didactice/Probabilitati%20si%20statistica.pdf>