

МЕРНА НЕСИГУРНОСТ - ПОЈАМ И ПРОЦЕДУРАЛНИ КОРАЦИ ПРИ КВАНТИФИКАЦИЈИ

Татјана Чуровић, дипл.инж.

Јелена Ћириловић, дипл.инж.

Институт ИМС, Булевар војводе Мишића 43, Београд

Доц. др Горан Младеновић, дипл.инж.

Грађевински факултет, Београд

Стручни рад

Резиме: У раду је приказан поступак анализе мерне несигурности приликом спровођења лабораторијских мерења, што представља један од основних захтева стандарда SRPS ISO/IEC 17025 за акредитоване лабораторије за испитивање и еталонирање. Дата је дефиниција појма мерне несигурности, као и основна начела за њену анализу. Детаљно је приказан поступак прорачуна мерне несигурности, почев од спецификације мерних величина и идентификације извора несигурности до квантификације компонената и израчунавања укупне мерне несигурности. Поступак је илустрован на примеру одређивања запреминске масе узорка из изведеног слоја.

Кључне речи: мерење, мерна несигурност, SRPS ISO/IEC 17025, упутство ILAC G17.

MEASUREMENT UNCERTAINTY - CONCEPT AND PROCEDURAL STEPS FOR QUANTIFICATION

Tatjana Ćurović, B.Sc.CE

Jelena Ćirilović, B.Sc.CE

Goran Mladenović, PhD, PE

Professional Paper

Abstract: The paper presents the procedure for estimation of measurement uncertainty, which is one of basic requirements of standard SRPS ISO/IEC 17025, applied in accredited laboratories for testing and calibrations. The concept of recognizing the uncertainties is defined, as well as the basic principles for its analyses. The procedure of determination of uncertainties is presented in detail, from specification of measurants and definition of sources of uncertainties, to quantification of all the components that can contribute to the entire uncertainty. The procedure is demonstrated on the example of determination of bulk density of asphalt pavement core samples.

Key words: measuring, measurement uncertainty, SRPS ISO/IEC 17025, ILAC G17guide

УВОД

Приликом приказивања резултата мерења потребно је дати квантитативни показатељ квалитета резултата на основу којих би корисници могли да оцене поузданост добијених резултата мерења, да изврше међусобно поређење резултата испитивања, као и поређење са референтним вредностима датим у спецификацијама или стандардима.

Мерна несигурност представља управо тај квантитативни показатељ квалитета резултата мерења. Другим речима, мерна несигурност је параметар повезан са резултатима мерења који карактерише расипање вредности које се с разлогом може везати са величином која се мери [1].

Концепт мерне несигурности је релативно нов у историји мерења, за разлику од грешке и анализе грешке, која дуже времена налази своју примену у метрологији. Наиме, када се уклоне све грубе грешке мерења и када се за препознате систематске грешке изврши корекција резултата испитивања, још увек остаје питање колико добро добијени резултат мерења представља истиниту вредност мерене величине.

Основна разлика између грешке и несигурности испитивања је та што се грешка приписује индивидуалном резултату, док се једном процењена мерна несигурност за једну испитну методу и тип узорка може применити на сва даља испитивања која се по том поступку спроводе у одређеној лабораторији.

ЦИЉ РАДА

Циљ овог рада је да се сумирају основни појмови везани за мерну несигурност и поступак њене анализе, с обзиром да анализа мерне несигурности представља један од изричитих захтева стандарда SRPS ISO/IEC 17025 [2] за акредитоване лабораторије које се између осталог, баве и испитивањима грађевинских материјала коришћених у путоградњи.

НАЧЕЛА ОДРЕЂИВАЊА МЕРНЕ НЕСИГУРНОСТИ

Начела која се примењују приликом одређивања мерне несигурности дата су у оквиру Упутства ILAC G17 [3]:

- 1) Изјава о мерној несигурности мора да садржи довољно података за упоредну сврху.
- 2) Основу за процену мерне несигурности чине GUM [4] и ISO/IEC 17025 [2], али могу бити потребне и друге специфичне интерпретације.

- 3) Разматра се само несигурност од квантитативних мерења.
- 4) Основни захтев треба да буде или процена укупне несигурност или идентификација главних компоненти праћена покушајима да се процени њихова величина и величина комбиноване несигурности.
- 5) Основу за процену мерне несигурности чини постојеће знање и постојећа експериментална база података (међулабораторијска, контролна испитивања итд).
- 6) Код стандардних метода испитивања постоје три случаја:
 - а) уколико стандардна метода садржи упутство за процену мерне несигурности, лабораторија само треба да прати то упутство;
 - б) уколико стандард даје типичне вредности за мерну несигурност, лабораторија може да их приказује уколико може да докаже пуну усклађеност са методом, и
 - в) уколико стандард прећутно укључује мерну несигурност, онда лабораторија не мора ништа да ради.
- 7) Захтевана детаљност процене може варирати у зависности од следећих утицајних фактора:
 - а) здрав разум;
 - б) утицај несигурности на резултат;
 - в) примереност;
 - г) класификација степена ригорозности у одређивању несигурности.
- 8) У одређеним случајевима довољно је извести само анализу упоредивости (упоређивање резултата више лабораторија са различитом опремом и различитим испитивачима).
- 9) Уколико је процена несигурности лимитирана, потребно је то у извештају јасно исказати.
- 10) Нема потребе за развојем нових упутстава, с обзиром да су постојећа упутства довољна за процену мерне несигурности.

КОНЦЕПТ ЗА ИЗРАЖАВАЊЕ И ОДРЕЂИВАЊЕ МЕРНЕ НЕСИГУРНОСТИ

У поступку процене мерне несигурности резултата испитивања најчешће се користе два приступа за идентификацију компоненти несигурности повезаних са мерењем.

Први приступ прати препоруку GUM-а [4] који подразумева уочавање и појединачну квантификацију свих могућих извора варијација које могу да утичу на крајњи резултат.

Други приступ се користи у случајевима када није могуће доследно применити модел GUM-а, најчешће због саме природе испитне процедуре.

Заснива се на коришћењу података добијених приликом спровођења теста прецизности методе путем међулабораторијских упоредних испитивања или унутар саме лабораторије, чиме се процењују варијације крајњих резултата испитивања.

Према препоруци документа EA-4/16: Водич за исказивање мерне несигурности у квантитативним испитивањима [5], акредитоване лабораторије за испитивање треба да, где год је то примењиво, процењују и изражавају мерну несигурност у складу са GUM-ом [4].

За одређивање укупне мерне несигурности резултата испитивања, према препорукама из GUM-а, примењује се метод комбиновања појединачних стандардних несигурности, узимајући у обзир све узроке несигурности који утичу на резултат мерења.

Укупна мерна несигурност резултата испитивања добијена на тај начин назива се **комбинована мерна несигурност** u_c . Начин израчунавања комбиноване мерне несигурности зависи од тога да ли су мерења директна или индиректна.

Директна мерења

Код директних мерења разликујемо мерну несигурност типа А и типа В:

- **мерна несигурност типа А ($u_A(x)$)** представља расипање резултата кроз вредности експериментално одређене стандардне девијације;
- **мерна несигурност типа В ($u_B(x)$)** обухвата мерну несигурност добијену на основу података о мерилима, референтним материјалима искуству о понашању опреме итд.;

С обзиром да су компоненте стандардне несигурности типа А и типа В ортогоналне, комбинована стандардна несигурност $u_c(x)$ је:

$$u_c(x) = \sqrt{u_A^2(x) + u_B^2(x)}, \text{ где је:}$$

Индиректна мерења

У већини случајева, резултат испитивања је изведена вредност која се добија на основу више мерених параметара:

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$$

У поступку одређивања укупне мерне несигурности за величину y најпре се појединачно посматрају параметри - мерне величине x_1, x_2, \dots, x_n , и одређује се њихова мерна несигурност $u(x_i)$.

За индиректна мерења, компоненте комбиноване стандардне несигурности су варијансе $u^2(x)$ или коваријансе $u(x_i, x_j)$ тих мерних величина, помножене тежинским факторима - коефицијентима осетљивости $\frac{\partial f}{\partial x_i}$, који заправо описују осетљивост крајњег резултата испитивања у односу на промену мерних величина.

У зависности од тога да ли су улазне величине корелисане или некорелисане, комбинована мерна несигурност $u_c(y)$ резултата испитивања $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$, изражава се преко следећих једначина:

- за некорелисане улазне величине x_i

$$u_c(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left[\frac{\partial f}{\partial x_i} \cdot u(x_i) \right]^2}$$

- за корелисане улазне величине x_i, x_j

$$u_c(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \frac{\partial f}{\partial x_i} \cdot \frac{\partial f}{\partial x_j} \cdot u(x_i, x_j)}$$

ПРОЦЕДУРАЛНИ КОРАЦИ У ПОСТУПКУ ОДРЕЂИВАЊА МЕРНЕ НЕСИГУРНОСТИ

Одређивање мерне несигурности се спроводи кроз четири процедурална корака [4]:

- спецификација мерних величина
- идентификација извора несигурности
- квантификација компонената несигурности
- израчунавање укупне мерне несигурности.

Корак 1: Спецификација мерних величина

Спецификација мерних величина подразумева њихову идентификацију и попис, као и везу између њих и параметара од којих оне зависе. Такође је потребно идентификовати корекције за препознате систематске ефекте, као и информације из спецификација из радних упутстава уколико постоје.

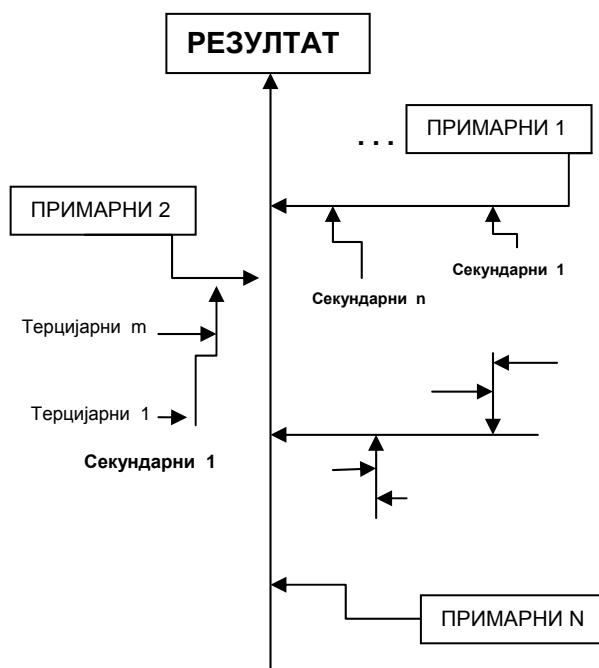
Корак 2. Идентификација извора несигурности

Идентификација извора несигурности подразумева дефинисање листе могућих извора мерне несигурности. За овај корак је потребно добро познавање мерне опреме, испитне методе и њене практичне примене.

Типични извори мерне несигурности су:

- некомплетна дефиниција мерне величине,
- узорковање - случајне варијације између различитих узорака,
- нерепрезентативно узорковање - узорак који се мери не представља дефинисану мерну величину,
- услови чувања и припреме узорка - услови и дужина чувања, хомогенизација, млевење, сушење, екстракција, таложење итд.,
- неадекватно познавање ефеката утицаја околине или несавршеност мерења истих,
- утицај инструмента - прецизност коришћеног инструмента,
- несигурност спровођења калибрације,
- несигурност референтног материјала,
- несигурност са становишта систематских грешака оператера приликом читавања аналогних инструмената,
- несигурност од корекција, апроксимација и претпоставки извршених према испитној методи и процедури и
- варијације мерне величине приликом поновљених мерења под истим условима

За лакше уочавање извора несигурности може се користити Ишикава дијаграм (слика 1).



Слика 1. Ишикава дијаграм

Поступак израде Ишикава дијаграма почиње уочавањем примарних параметара који утичу на резултат, а то су величине које фигуришу у самој једначини за добијање коначног резултата. Затим се додају и други параметри који се не појављују у једначини, а битно утичу на резултат

(попут утицаја температуре, припреме узорка, комбинованих ефеката, итд).

Сваки од поменутих примарних параметара се даље анализирају и уколико се уоче параметри који доводе до њиховог варирања, разгранавају се на секундарне и по потреби, терцијарне параметре.

Анализом разгранатих узрока елиминишу се дупликати, преуређују пречишћени доприноси и групишу зависни случајеви.

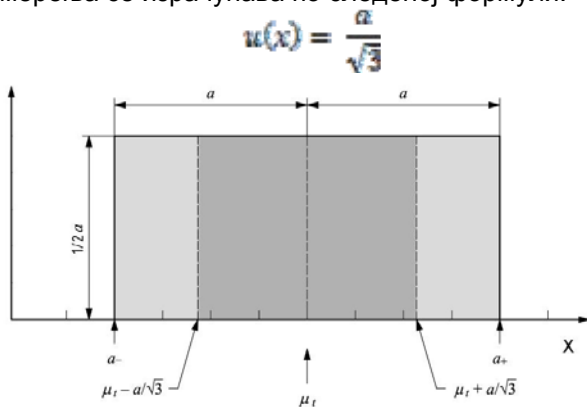
Корак 3. Квантификација компонента несигурности $u(x)$.

Допринос од сваког извора мерне несигурности се изражава преко вредности стандардне девијације, која се срачунава на основу типа расподеле мерене величине. Основни типови расподеле којима се процењује вредност стандардне девијације су:

- правоугаона расподела,
- троугаона расподела, и
- нормална расподела.

Правоугаона и троугаона расподела се користе приликом одређивања мерне несигурности типа В, док се на основу нормалне расподеле одређује допринос мерне несигурности типа А.

Правоугаона расподела (слика 2) се примењује када је познат максимални распон вредности мерења ($\pm a$), али не и облик дистрибуције, као и у случају када су у некој спецификацији или сертификату дате граничне вредности, без дефинисања нивоа поверења. Несигурност мерења се израчунава по следећој формули:



Слика 2. Правоугаона расподела

Пример примене правоугаоне расподеле је одређивање мерне несигурности приликом одређивања масе узорка, која је последица варирања температуре воде у воденом купатилу. Утицај температуре је срачунат на основу спроведеног експеримента. Просторија у којој се врши испитивање је климатизована и уочена варијација у температури износи $\pm 0.5^\circ\text{C}$.

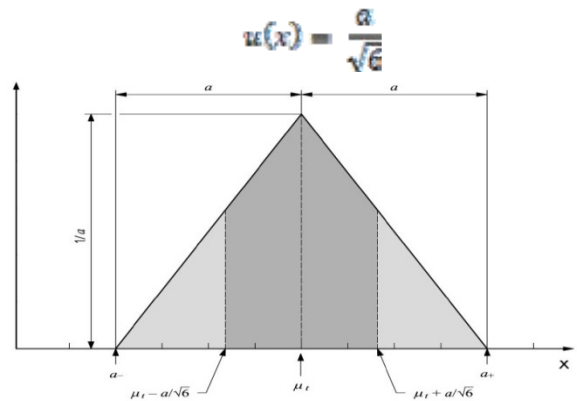
Међутим, то је мала варијација и срачунавање доприноса несигурности од утицаја температуре и на тако малом опсегу би било недовољно прецизно. Због наведеног, маса узорка је одређена у већем температурном опсегу, на температури од 17°C и 27°C . Даље, утврђена је зависност масе и температуре, која је добијена експериментално, простом пропорцијом, а да би се добила несигурност која је последица варијације температуре у просторији од $\pm 0.5^\circ\text{C}$, коришћена је правоугаона расподела јер није позната расподела тачних вредности температура из интервала ($t+0.5^\circ\text{C}$, $t-0.5^\circ\text{C}$) и:

$$U(m)_T = \pm 0.5^\circ\text{C} * \frac{|m_{27^\circ\text{C}} - m_{17^\circ\text{C}}|}{27^\circ\text{C} - 17^\circ\text{C}} * \frac{1}{\sqrt{3}}$$

Добијена вредност доприноса мерне несигурности од варирања температуре ваздуха у просторији износи:

$$U(m)_T = 8.66025 * 10^{-3}g$$

Троугаона расподела (слика 3) се примењује уколико се на основу расположивих података о мереној величини може закључити да су вредности на средини интервала вероватније од вредности на крајевима интервала. У овом случају, мерна несигурност се срачунава на основу следеће формуле:

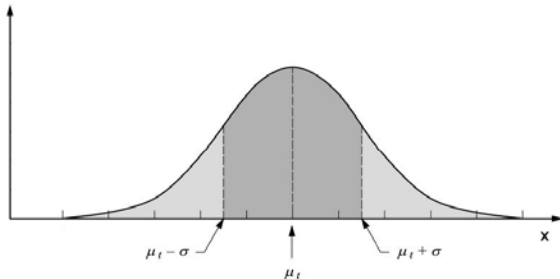


Слика 3. Троугаона расподела

Пример примене троугаоне расподеле је одређивање мерне несигурности запремине суда. Произвођачком спецификацијом је дефинисана запремина суда на следећи начин: запремина = $100\text{ml} \pm 0.1\text{ml}$. У овом случају се примењује троугаона расподела вредности запремина суда јер се претпоставља да је већа вероватноћа да је стварна вредност запремине ближа средини него крајевима интервала. Несигурност сертификације запремине суда се израчунава на следећи начин:

$$u(V) = 0.1 * \frac{1}{\sqrt{6}} ml = 0.04082 ml$$

Нормална расподела (слика 4) се користи уколико се процена ради на основу поновљених испитивања, а на бази случајних променљивих, када је мерна несигурност једнака вредности стандардне девијације s .



Слика 4. Нормална расподела

Улазне величине које су одређене из серије понављања мерења имају мерну несигурност типа А, која представља расипање резултата кроз вредности експериментално одређене стандардне девијације и израчунава се као:

$$u_A(x) = s(x) = \frac{1}{\sqrt{n}} \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - X_{avr})^2}$$

Корак 4. Израчунавање укупне мерне несигурности u_C

Код **директних мерења** укупна мерна несигурност је стандардна несигурност резултата који је настао из збира више различитих вредности и израчунава се као квадратни корен збира варијанси свих идентификованих доприноса:

$$u_C(x) = \sqrt{u_A^2(x) + u_B^2(x)}$$

За поједина мерења је потребно изразити проширену мерну несигурност U , која дефинише интервал око резултата једног мерења, који се може приписати измереној вредности. Израчунава се на следећи начин:

$$U = k * u_C(x), \text{ где је}$$

k - фактор обухватања који представља вредност која зависи од типа дистрибуције и нивоа прихватљивости. За 95% прихватљивост и нормалну расподелу важи $k = 2$.

Код **индиректних мерења** одређује се комбинована мерна несигурност резултата испитивања $u_C(y)$.

Након одређених вредности мерних несигурности за сваку појединачну улазну величину $u(x_i)$, одређују се коефицијенти осетљивости, тј. тежински фактори $\frac{\partial f}{\partial x_i}$, који представљају допринос варирању крајњег резултата услед промена појединачних улазних величина.

У зависности од тога да ли су улазне величине корелисане или некорелисане, комбинована мерна несигурност $u_C(y)$ резултата испитивања $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$, изражава се преко претходно дефинисаних једначина:

- за некорелисане улазне величине x_i

$$u_C(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left[\frac{\partial f}{\partial x_i} * u(x_i) \right]^2}$$

- за корелисане улазне величине x_i, x_j

$$u_C(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \frac{\partial f}{\partial x_i} * \frac{\partial f}{\partial x_j} * u(x_i, x_j)}$$

где је $u(x_i, x_j) = u(x_j, x_i)$ - коваријанса мерних величина x_i и x_j која се израчунава на следећи начин:

$$u(x_i, x_j) = \frac{1}{n(n-1)} * \sum_{k=1}^n (X_{i,k} - X_{i,avr}) * (X_{j,k} - X_{j,avr})$$

Степен корелисаности две величине процењује се корелационим коефицијентом $r(x_i, x_j)$, који је једнак:

$$r(x_i, x_j) = \frac{u(x_i, x_j)}{u(x_i) * u(x_j)}$$

где је: $r(x_i, x_j) = r(x_j, x_i)$ и $-1 \leq r(x_i, x_j) \leq +1$

Уколико је корелациони коефицијент $r = 0$, мерне величине су некорелисане.

ПРИМЕР: ОДРЕЂИВАЊЕ ЗАПРЕМИНСКЕ МАСЕ УЗОРАКА ИЗ ЗАСТОРА И НОСЕЋИХ СЛОЈЕВА ПРЕМА СТАНДАРДУ SRPS U.M8.092.

Као илустрација поступка анализе мерне несигурности у овом раду ће бити приказано одређивање запреминске масе узорака из застора и носећих слојева према стандарду SRPS U.M8.092.

Корак 1. Спецификација мерних величина

Запреминска маса узорка се одређује према формули:

$$\rho = \frac{m}{m_1 - m_2},$$

где су:

ρ (g/cm^3) – запреминска маса узорка из изведеног слоја

m – маса сувог узорка;

m_1 – маса влажног узорка мерена после потапања у воду, у трајању од 1 сат на температури од 20 ± 1 °C, који је површински осушен;

m_2 – маса узорка потопљеног у воду, мерена на хидростатичкој ваги.

На основу извршених мерења добијене су следеће вредности параметара:

$m = 1366,5$ g,

$m_1 = 1368,3$ g, и

$m_2 = 814,8$ g.

Корак 2. Идентификација извора мерне несигурности

Након спецификације мерних величина уочени су следећи извори мерне несигурности:

- мерна несигурност ваге даје допринос мерној несигурности одређивања масе m - $U(m)$;
- мерна несигурност ваге и варијације оператера приликом површинског сушења узорка дају допринос мерној несигурности одређивања масе m_1 - $U(m_1)$;
- мерна неигурност ваге даје допринос мерној несигурности одређивања масе m_2 - $U(m_2)$.
- услед варијације температуре воде у воденом купатилу у опсегу од ± 1 °C, долази до промене густине воде. Међутим, како је у оквиру саме формуле за одређивање запреминске масе према стандарду SRPS U.M8.092, усвојена густина воде од $1.000 \text{ g}/\text{cm}^3$, то не утиче на одређивање маса m_1 и m_2 .
- температура на којој се изводи опит, односно температура просторије, утиче на одређивање масе m и масе m_1 и масе m_2 . Међутим, утицај температуре је већ урачунат и дат у оквиру мерне несигурности ваге на којој се врши мерење, тако да не постоји потреба да се поново разматра.

У наведеном примеру, извори мерне несигурности су посматрани појединачно за сваку мерну величину, и урађена је серија опита како би се квантификовали појединачни

доприноси несигурности која прати сваку мерну величину

Корак 3. Квантификација идентификованих извора несигурности

Одређивање масе m . Приликом одређивања масе m , масе сувог узорка, једини извор мерне несигурности је вага на којој се врши мерење. У Извештају о еталонирању ваге на којој је вршено мерење дата је глобална мерна несигурност измерених вредности:

$$U(m) = 0.15 + 2.5 \cdot 10^{-4} m$$

за фактор проширења $k = 2$ који за нормалну расподелу одговара нивоу поверења од 95%.

За измерену вредност $m = 1366,5$ g добијена мерна несигурност ваге је:

$$u(m) = 0,491625 \text{ g}$$

Одређивање масе m_1 . Приликом одређивања масе m_1 уочена су два извора мерне несигурности:

- несигурност типа А, којој доприноси оператер, приликом површинског сушења узорка, и
- несигурност типа В, која потиче од ваге.

Да би се проценила вредност мерне несигурности која потиче од оператера урађена је серија од 10 мерења истог узорка претходно потопљеног у води, а потом површински осушеног. Стандардна девијација измерених резултата представља мерну несигурност која потиче од оператера и она износи:

$$u_A(m_1) = 0,04830 \text{ g}$$

За измерену вредност $m_1 = 1368,3$ g допринос мерној несигурности која је последица мерења на ваги, износи:

$$u_B(m_1) = 0,492075 \text{ g}$$

Укупна мерна несигурност приликом одређивања масе m_1 износи:

$$u(m_1) = \sqrt{u_A^2(m_1) + u_B^2(m_1)}$$

$$u(m_1) = \sqrt{0.048305 \text{ g}^2 + 0.492075 \text{ g}^2}$$

$$u(m_1) = 0.494440 \text{ g}$$

Одређивање масе m_2 . За одређивање мерне несигурности приликом мерења масе m_2 користи се глобална мерна несигурност измерених вредности ваге на којој је вршено мерење, $U(m)=0.15+2.5\cdot 10^{-4}m$, па је мерна несигурност за измерену вредност $m_2=814,8g$:

$$u(m_2)=0.3537g$$

Корак 4. Израчунавање укупне мерне несигурности резултата

С обзиром да се ради о индиректном мерењу и улазне величине су некорелисане, укупна мерна несигурност одређивања запреминске масе узорака из застора, израчунава се као:

$$u_c(\rho) = \sqrt{\left(\frac{\partial \rho}{\partial m} \cdot U(m)\right)^2 + \left(\frac{\partial \rho}{\partial m_1} \cdot U(m_1)\right)^2 + \left(\frac{\partial \rho}{\partial m_2} \cdot U(m_2)\right)^2}$$

где је:

$$\frac{\partial \rho}{\partial m} = \frac{1}{m_1 - m_2}$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial m_1} = \frac{(m_1 - m_2 - m)^2}{(m_1 - m_2)^4}$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial m_2} = \frac{(m_1 - m_2 + m)^2}{(m_1 - m_2)^4}$$

Заменом конкретно добијених вредности за m , m_1 и m_2 у датом примеру, добија се укупна мерна несигурност запреминске масе ρ :

$$u_c(\rho) = 0.0008882032425$$

Приликом приказивања резултата испитивања придружена мерна несигурност се приказује са истом прецизношћу са којом се приказује и сам резултат, што значи у конкретном примеру, резултат испитивања треба приказати као:

$$\rho = 2,4688 \pm 0,0009 \text{g/cm}^3$$

ЗАКЉУЧАК

Поступак процене мерне несигурности представља сложен и комплексан процес, који захтева доста рада. Међутим, као што је и раније напоменуто, једном процењена мерна несигурност за једну испитну методу и тип узорка може се применити на сва даља одређивања која се по том поступку спроводе у лабораторији. Исто тако, једном процењена несигурност неког параметра (на пример температура просторије за опсег од 19°C до 25°C) у једној лабораторији може се користити и за све испитне методе које

се изводе под тим условима у тој лабораторији. Затим, утврђени фактори осетљивости у једној лабораторији могу се користити и у другим лабораторијама, уколико се не очекује да се такве осетљивости мењају кроз време или између лабораторија.

Поред тога што се задовољава један од основних захтева стандарда SRPS ISO/IEC 17025, сам поступак процене мерне несигурности може бити вишеструко користан. Утврђивање величине доприноса утицаја појединачних извора несигурности на варирање крајњег резултата представља веома користан извор информација када се модификује метода у циљу смањења мерне несигурности, или се смањују трошкови мерења без значајнијег повећања укупне мерне несигурности. На пример: може се утврдити да скупља опрема не доприноси значајнијем смањењу укупне мерне несигурности, или да прецизнија дефиниција мерне величине може знатно допринети смањењу мерне несигурности.

Приказани поступак може бити користан акредитованим лабораторијама из области испитивања грађевинских материјала, с обзиром да су оне у обавези да за све методе из обима акредитације изврше процену мерне несигурности, што за поједине методе може представљати изузетно комплексан задатак.

ЛИТЕРАТУРА

- [1.] International Vocabulary of Basic and General Terms in Metrology (VIM). International Organization for Standardization, 1993.
- [2.] SRPS ISO/IEC 17025:2006 Општи захтеви за компетентност лабораторија за испитивање и лабораторија за еталонирање
- [3.] ILAC-G17:2002 Introducing the Concept of Uncertainty of Measurement in Testing in Association with the Application of the Standard ISO/IEC 17025
- [4.] JCGM 100:2008 (GUM 1995 with minor corrections) Evaluation of measurement data — Guide to the expression of uncertainty in measurement
- [5.] EA-4/16:2003 Guidelines on the expression of uncertainty in quantitative testing