

# МЕЋУЛАБОРАТОРИЈСКО ПОРЕЂЕЊЕ У ОБЛАСТИ ВИБРАЦИЈА ИЗМЕЂУ CZECH METROLOGY INSTITUTE (CMI) И СЕКТОРА ЗА МЕТРОЛОГИЈУ ТЕХНИЧКО ОПИТНОГ ЦЕНТРА

Драган Лазих, Милош Јовановић, Слободан Суботић

Кључне ријечи: вибрације, осетљивост акцелерометра, међулабораторијско поређење, мерна несигурност

## КРАТАК САДРЖАЈ

У раду су приказани резултати међулабораторијског поређења у области вибрација – одређивање осетљивости индустријских акцелерометара у организацији Czech metrology institute, из Брна као ПТ провајдера и Сектора за метрологију Техничко опитног центра из Београда. Циљ овог међулабораторијског поређења је доказивање техничких могућности Сектора за метрологију у процесу акредитације за нову методу која до сада није била у обиму акредитације. У раду је приказана метода мерења, еталон B&K 3629 и детаљни резултати мерења.

## INTERLABORATORY COMPARISON IN THE FIELD OF VIBRATION BETWEEN THE CZECH METROLOGY INSTITUTE (CMI) AND DEPARTMENT OF METROLOGY TECHNICAL TEST CENTRE

Key words: vibration, accelerometer sensitivity, interlaboratory comparison, measurement uncertainty

## ABSTRACT

The paper presents the results of an interlaboratory comparison in the field of vibrations - determination of the sensitivity of industrial accelerometers organized by the Czech metrology institute, from Brno as a PT provider and the Department of metrology the Technical test center from Belgrade. The aim of this interlaboratory comparison is to prove the technical capabilities of the Department of metrology in the process of accreditation for a new method that was not in the scope of accreditation until now. The paper presents the measurement method, the standard B&K 3629 and detailed measurement results.

## УВОД

Под појмом међулабораторијско поређење подразумева се организовање, извођење и вредновање испитивања или еталонирања истих или сличних предмета које су спровеле две или више лабораторија у складу са унапред утврђеним условима. Лабораторије користе међулабораторијска поређења као екстерну контролу квалитета свог рада. Међулабораторијска поређења (Proficiency testing schemes - ПТ шеме) су добила на значају, имајући у виду да је учешће у ПТ шемама обавезно у поступку акредитације или да акредитациона тела препоручују учешће у ПТ шемама као алат за унапређење квалитета рада лабораторија. Учесће акредитованих лабораторија у међулабораторијским поређењима или ПТ шемама је обавеза која произилази из захтева стандарда SRPS ISO/IEC 17025:2017 [1] и најчешће их организују ПТ провајдери акредитовани по стандарду SRPS ISO/IEC 17043:2011 [2].

Предмет овог рада је ПТ шема из области вибрација - еталонирање индустријског акцелерометра, тип KS74C.100, приказаног на слици 1 произвођача MMF, Немачка, серијски број 21122 [3].



Слика 1: Индустријски акцелерометар KS74C.100

Одређивање осетљивости акцелерометра на фреквенцијском опсегу (10 – 5 000) Hz рађено је према стандарду ISO 16063-21 [4]. Међулабораторијско поређење [5] организовао је ПТ провајдер Czech metrology institute CMI, iz Brna у октобру 2022. године, где је учествовало осам лабораторија:

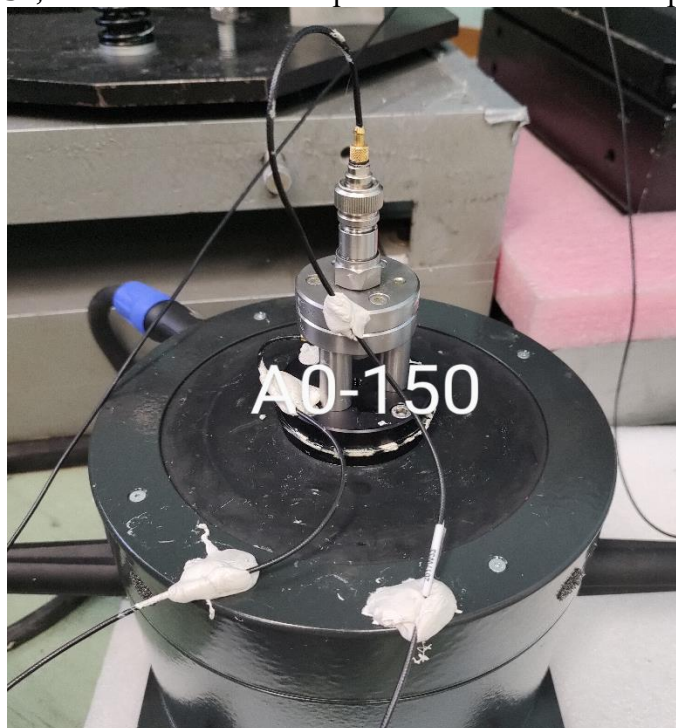
- Ministry of Defense, TECHNICAL TEST CENTER, Serbia (Примарна лабораторија за неелектричне величине МЛ 03, Сектор за метрологију, ТОЦ)
- ČEZ, a.s., Kalibrační laboratoř - metrologie Temelín, Česká republika
- HOLAB, spol. s r.o. Brno, Česká republika
- KONČAR – Electrical Engineering Institute, Inc. Zagreb, Croatia
- Nordic Metrology Science Vilnius, Lithuania
- NORTH Control Ltd., Calibration Laboratory NORTH Cal Subotica, Serbia
- SVMTech s.r.o. Praha 10, Česká republika
- ZTS Elektronika SKS s.r.o. Nová Dubnica, Slovensko

У складу са утврђеним протоколом организатор је обезбедио узорак и доставио га у ТОЦ као и потребне обрасце у којима се бележе резултати еталонирања. Свака лабораторија је добила своју кодну ознаку, а кодна ознака Сектора за метрологију је 1506.

## МЕТОДА ЕТАЛОНИРАЊА

Одређивање осетљивости акцелерометра на фреквенцијском опсегу (10 – 5 000) Hz рађено је према стандарду ISO 16063-21, back to back method, методом поређења, одређивања осетљивости према референтном акцелерометру B&K 8305-001. Циљ овог поређења био је стварање услова за проширење обима акредитације код акредитационог тела као и остваривање поверења у квалитет добијених података са новог еталона за вибрације B&K 3629.

У складу са протоколом одређује се осетљивост акцелерометра у  $\text{mV}/(\text{m}\cdot\text{s}^{-2})$ , према дефинисаним фреквенцијама по октавама (10 – 5 000) Hz, са избором убрзања у опсегу од  $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$  до  $50 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ , при чему се притезање акцелерометра на побуђивач врши на вијак, са моментом затезања од 2 N·m. Акцелерометар је индустријског типа, па је уз акцелерометар испоручен и додатни адаптер за прелаз са TNC / UNF 10-32, како би се могло извршити повезивање са мерном опремом слика 2.



Слика 2: Повезивање акцелерометра на побуђивач

По унапред дефинисаном протоколу од ПТ провајдера, лабораторије су дужне да обезбеде микроклиматске услове за температуру  $(23 \pm 3) ^\circ\text{C}$  и релативну влажност максимално 75 %. У табели 1 наведена је мерна опрема коришћена у току еталонирања у Сектору за метрологију.

Табела 1. Списак мерне опреме

| мерна опрема                                           | тип                                   | сер.број    | следљивост           |
|--------------------------------------------------------|---------------------------------------|-------------|----------------------|
| Референтни акцелерометар                               | B&K 8305-001                          | 30357       | A2.00-5419-0.1, DPLA |
| Предпојачавач наелектрисања                            | B&K 2647-B                            | 310029      | CDK2108708, HBK      |
| Радни акцелерометар                                    | B&K 4533-A-001                        | 35426       | A2.00-5458-0.1, DPLA |
| Анализатор: B&K PULSE<br>Detachable Front: UA-3100-042 | B&K 3160-A-042<br>No:UA3100042-116026 | 3160-107957 | CDK2201893, HBK      |
| Калибрациони софтвер                                   | B&K3629                               |             | version: 3.0.1.238   |
| Побуђивач                                              | B&K 4808 + WA 0567                    |             |                      |
| Момент кључ                                            | ADS 4                                 | OKT000007   |                      |
| Појачавач снаге                                        | B&K 2719                              |             |                      |
| Прекидачка јединица                                    | B&K WB-3591                           |             |                      |

|                                  |               |  |  |
|----------------------------------|---------------|--|--|
| Кабл за повезивање акцелерометра | АО 0038-D-015 |  |  |
| Термохигрометар                  | TESTO 175H1   |  |  |

## РЕЗУЛТАТИ МЕРЕЊА

Резултати мерења дати су у табели 2, а према дефинисаним мерним тачкама у фреквенцијском опсегу (10 – 5 000) Hz.

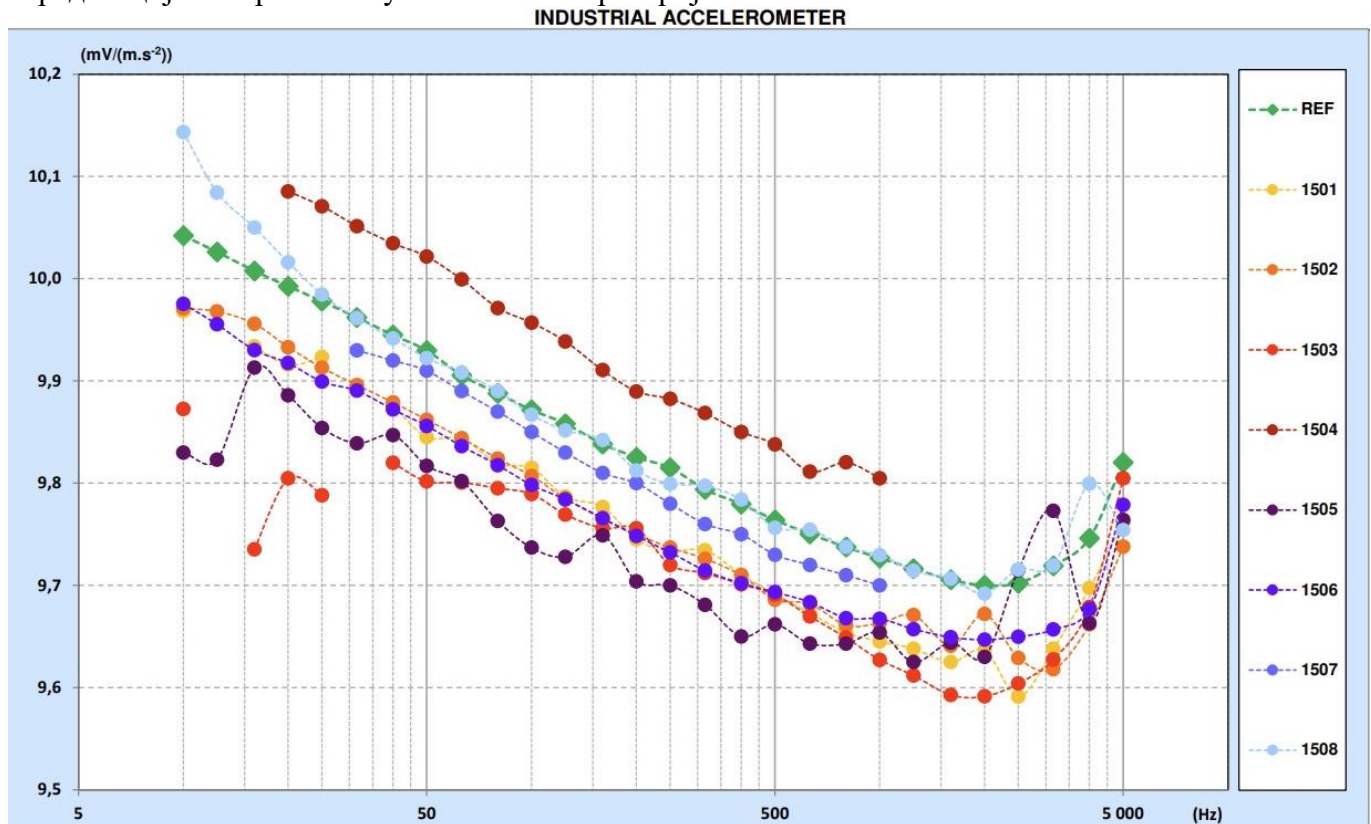
Табела 2. Резултати одређивања осетљивости акцелерометра

| Фреквенција<br>$f$<br>(Hz) | Убрзање RMS<br>$A_{re}$<br>( $m \cdot s^{-2}$ ) | Напонска<br>осетљивост<br>$S$<br>( $mV/(m \cdot s^{-2})$ ) | Проширена мерна<br>несигурност<br>( $k=2$ ) $N$<br>% |
|----------------------------|-------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| 10                         | 20,22                                           | 9,975                                                      | 1                                                    |
| 12,5                       | 20,22                                           | 9,955                                                      | 1                                                    |
| 16                         | 20,22                                           | 9,930                                                      | 1                                                    |
| 20                         | 20,22                                           | 9,918                                                      | 1                                                    |
| 25                         | 20,22                                           | 9,899                                                      | 1                                                    |
| 31,5                       | 20,22                                           | 9,890                                                      | 1                                                    |
| 40                         | 20,22                                           | 9,872                                                      | 1                                                    |
| 50                         | 20,22                                           | 9,856                                                      | 1                                                    |
| 63                         | 20,22                                           | 9,836                                                      | 1                                                    |
| 80                         | 20,22                                           | 9,818                                                      | 1                                                    |
| 100                        | 20,22                                           | 9,798                                                      | 1                                                    |
| 125                        | 20,22                                           | 9,784                                                      | 1                                                    |
| 160                        | 20,22                                           | 9,766                                                      | 0,6                                                  |
| 200                        | 20,22                                           | 9,748                                                      | 1                                                    |
| 250                        | 20,22                                           | 9,732                                                      | 1                                                    |
| 315                        | 20,22                                           | 9,714                                                      | 1                                                    |
| 400                        | 20,22                                           | 9,702                                                      | 1                                                    |
| 500                        | 19,29                                           | 9,693                                                      | 1                                                    |
| 630                        | 19,29                                           | 9,684                                                      | 1                                                    |
| 800                        | 19,29                                           | 9,668                                                      | 1                                                    |
| 1000                       | 19,29                                           | 9,667                                                      | 1                                                    |
| 1250                       | 19,29                                           | 9,657                                                      | 1                                                    |
| 1600                       | 19,29                                           | 9,649                                                      | 1                                                    |
| 2000                       | 19,29                                           | 9,647                                                      | 1                                                    |
| 2500                       | 19,29                                           | 9,650                                                      | 1                                                    |
| 3150                       | 19,29                                           | 9,657                                                      | 1                                                    |
| 4000                       | 19,29                                           | 9,677                                                      | 1                                                    |
| 5000                       | 19,29                                           | 9,779                                                      | 1                                                    |

Како лабораторија, Сектор за метрологију проширује своје мерне могућности да еталонира акцелерометара са струјном побудом, тј. са осетљивости која се исказује у  $mV/(m \cdot s^{-2})$ , лабораторија је доставила резултате у целом мерном опсегу акцелерометра дефинисаном протоколом. Одређивање осетљивости вршено је на фиксној амплитуди од  $20 m \cdot s^{-2}$  RMS, са

проширеном мерном несигурност за овај тип акцелеромета, на 160 Hz 0,6 %, док је на остатку опсега 1 %.

Остале лабораторије учеснице су доставиле резултате по мерним тачкама сагласно обиму акредитације и мерним могућностима лабораторије слика 3.



Слика 3: Резултати мерења лаборатроја учесница приказани на гарфикону

## КРИТЕРИЈУМИ МЕЋУЛАБОРАТРОИЈСКОГ ПОРЕЂЕЊА

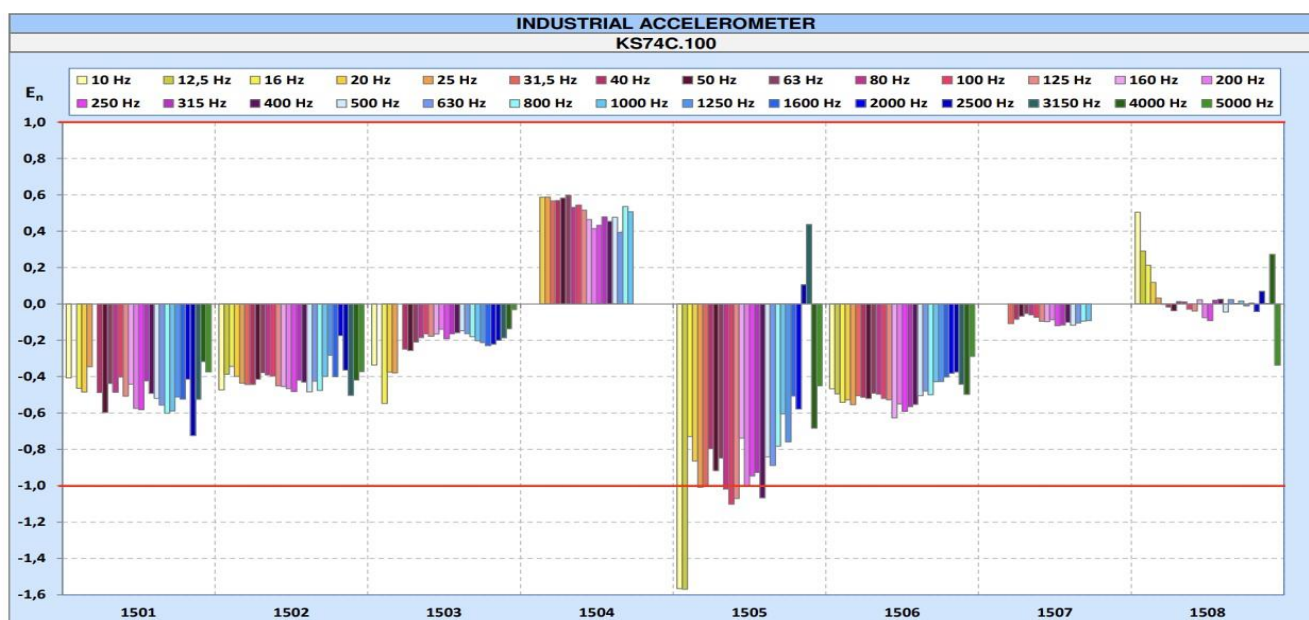
Као критеријум за оцену резултата међулабораторијског поређења, усвојен је  $En$  број. Поред ПТ провајдера учествовало и осам лабораторија и критеријум за прихватљиву додељену референтну вредност осетљивости акцелерометра, узета је референтна вредност пилот лабораторије. Вредности  $En$  броја у интервалу од -1 до 1 усвојене су као прихватљиве, док су вредности ван дефинисаног опсега усвојене као неприхватљиве вредности.  $En$  број треба да покаже да ли измерена вредност лабораторије значајно одступа од вредности пилот лабораторије. Формула по којој је рачунат  $En$  број (1) је

$$En = \frac{x_{lab} - x_{ref}}{\sqrt{U_{lab}^2 + U_{ref}^2}} \quad (1)$$

- $x_{lab}$  појединачни резултати мерења у лабораторији учесници међулабораторијског поређења,
- $x_{ref}$  резултати мерења референтне лабораторије
- $U_{lab}$  проширена мерна несигурност ( $\kappa=2$ ) мерења у лабораторији учесници међулабораторијског поређења,
- $U_{ref}$  проширена мерна несигурност ( $\kappa=2$ ) мерења референтне лабораторије,

Резултати међулабораторијског поређења исказани преко  $E_n$  броја у односу на успостављени критеријум приказани су на слици 4. На основу ових резултата може се закључити да је једна лабораотрија која је учествовала у поређењу, имала значајно искакање у  $E_n$  броју у 7 мерних тачака.

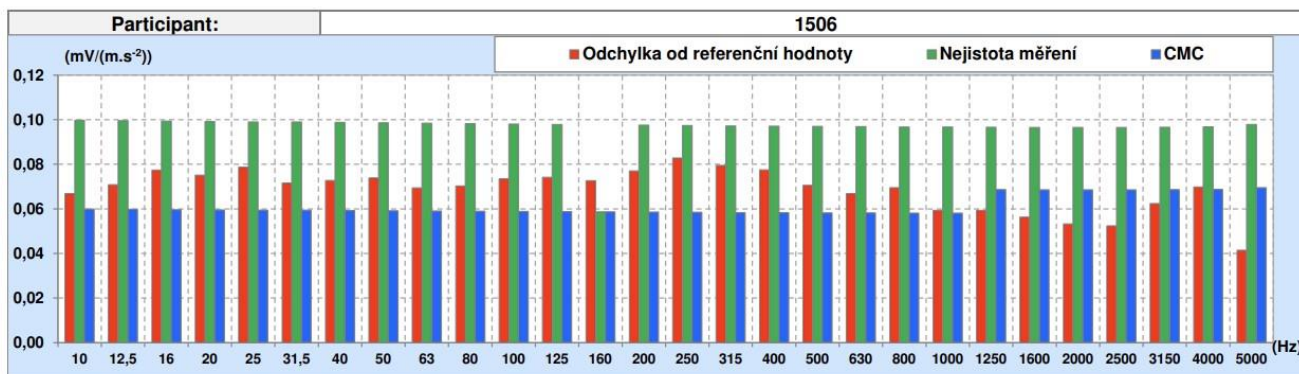
Сектор за метрологију је задовољан са добијеним резултатима, где је закључак да је мерна несигурност могла да буде и мања. Мерени резултати прате резултате пилот лабораторије са одређеним дрифтом, а што се може преписати, начину причвршћивања кабла, дотезању адаптера, као самом избору кабла. Девиијација резултата је нешто већа у нижим фреквенцијама слика 6 што се може управо приписати овим утицајима. Међутим како се уводи метода у област еталнирања, и како је сам узорак акцелерометра аксијалног типа и са испорученим адаптером који утиче на само мерење и дрифт слика 5, на овај начин смо потврдили методу и прорачун мерне несигурности. За разлику од еталонирања пасивних акцелерометар, ово међулабораторијско поређење значајно је проширила наша знања у области еталонирања активних акцелерометара, које до сада нисмо еталонирали. Посебан значај чини сазнање да можемо да планирамо смењење мерне несигурности, коју придружујемо резултатима мерења за овај тип акцелерометра и да усвојиме резултате из обима акредитације слика 6.



Слика 4: Графички приказ  $E_n$  броја лабораторија учесника



Слика 5: Графички приказ мерених резултата са придруженим мерним несигурностима



Слика 6: Графички приказ девијације резултата и мерних несигурности

## ЗАКЉУЧАК

Међулабораторијска поређења имају велики значај за вредновање перформанси лабораторија и утврђивање разлика међу лабораторијама. Према захтевима Акредитационог тела Србије све акредитоване лабораторије и лабораторије које су поднеле пријаву за акредитацију морају учествовати у доступним и одговарајућим међулабораторијским поређењима. Према тим правилима АТС овакво поређење се врши бар једном у току трајања периода акредитације од 4 године. Значај међулабораторијских поређења је такође у обезбеђењу поверења у квалитет резултата мерења, као и у размени искустава међу лабораторијама учесницама. Учествовањем у међулабораторијским поређењима стичу се нова сазнања о мерним методама и прорачунима мерних несигурности. Долази до размене информација и знања између метролога, па се стечена знања и једне методе лако могу применити и на друге методе и прорачуне мерних несигурности. На основу резултата мерења и на основу анализе Е<sub>n</sub>-бројева закључак је да је Сектор за метрологију компетентна лабораторија за извођење еталонирања активних акцелеромтара тј акцелерометара са струјном побудом.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] SRPS ISO/IEC 17025:2017 *Opšti zahtevi za kompetentnost laboratorija za ispitivanje i laboratorija za etaloniranje*
- [2] SRPS ISO/IEC 17043:2011 *Ocenjivanje usaglašenosti - Opšti zahtevi za ispitivanje osposobljenosti,*
- [3] <https://mmf.de/en/produkt/ks74c100/>
- [4] ISO 16063-21:2016 *Methods for the calibration of vibration and shock transducers Part 21: Vibration calibration by comparison to a reference transducer.*
- [5] Report on interlaboratory comparison 0219-ZV-A1500-22