

REALIABILITY VERIFICATION OF METHOD, EQUIPMENT, AND CALIBRATION DATA OF A LEVELING ROD

ПРОВЕРА ПОУЗДАНОСТИ МЕТОДЕ, ОПРЕМЕ И ПОДАТАКА ЕТАЛОНИРАЊА НИВЕЛМАНСКЕ ЛЕТВЕ

Jelena Gučević¹
Stefan Miljković²
Siniša Delčev³
Vukan Ogrizović⁴
Miroslav Kuburić⁵

UDK: 528.541-187
DOI: 10.14415/zbornikGFS33.005
CC-BY-SA 4.0 license

Summary: Metrological assurance comprises determination of metrological features of instruments and accessories, during the calibration process, before usage. A level, together with levelling rods, is a subject of calibration. The calibration results at Serbian National Metrological Institute (Directorate for Measures and Precious Metals - DMDM) and respectable scientific institutions, Faculty of Civil Engineering in Belgrade (GFUB) and Faculty of Civil Engineering in Ljubljana (GFULJ) will be presented in this paper. In order to confirm the method reliability and calibration data in mentioned institutions, calibration of the precise levelling rod is performed. The results obtained in laboratories are transformed in statistical quantities due to their easier interpretation and comparison. Obtained results are used for statistical analysis following the procedures of interlaboratory comparison, defined with ISO/IEC 17043 standard.

Резиме: Метеоролошко обезбеђење подразумева утврђивање метеоролошких својстава инструмента и прибора у процесу еталонирања, пре употребе. Нивелир и нивелманске летве подлежу еталонирању. У овом раду биће приказани резултати еталонирања у Националној метеоролошкој институцији Републике Србије (Дирекција за мере и драгоцене метале-ДМДМ), и у Грађевинском факултету у Београду (ГФУБ) и Грађевинском факултету у Љубљани (ГФУЉ). У циљу потврде поузданости методе у поменутим институцијама, извршено је еталонирање прецизне нивелманске летве. Резултату добијени у лабораторијама су трансформисати у статистичке величине ради њихове лакше интерпретације и поређења. На добијеним резултатима је извршена статистичка анализа у складу са процедурама међулабораторијског поређења које су дефинисане стандарском ISO/IEC 17043.

¹ dr Jelena Gučević, dipl.inž.geod., University of Novi Sad, Faculty of Civil Engineering Subotica, Kozaračka 2a, Subotica, Serbia, tel: +381 24 554 300, e-mail: jgucevic@gf.uns.ac.rs

² Stefan Miljković, dipl.inž.geod., student doktorskih studija, skiljk@live.com.

³ dr Siniša Delčev, dipl.inž.geod., University of Novi Sad, Faculty of Civil Engineering Subotica, delcev@gf.uns.ac.rs

⁴ dr Vukan Ogrizović, dipl.inž.geod., University of Novi Sad, Faculty of Civil Engineering Subotica, vukan@gf.uns.ac.rs

⁵ dr Miroslav Kuburić, dipl.inž.geod., University of Novi Sad, Faculty of Civil Engineering Subotica, mkuburic@gf.uns.ac.rs

Keywords: Calibration, measuring uncertainty, levelling rod

Кључне речи: Еталонирање, мерна несигурнос, нивелманска летва

1. INTRODUCTION

Accuracy of determination of height differences using geometric levelling can be better than 1 mm/km. The level, together with the leveling rods, is the subject of first calibration, periodic and unplanned calibrations, which are performed in the laboratories that confirm their competencies to the accreditation process, according to ISO/IEC 17025 standard, or in some other way. The laboratory has to use the calibration methods that suffice users' needs and which are convenient for calibration in the laboratory. An advantage is given to the methods that are:

- published in international, regional, and national standards,
- published in the publications of honorable technical institutions, relevant scientific papers and journals, or
- specified by equipment manufacturers.

DMDM is the leading metrological institute in Serbia, which develops and implements the infrastructural measurements and provides the accurate and reliable measurements in accordance with highest level standards. DMDM, as a competent national authority for establishment of traceability of measuring results in Serbia, calibrates the standards and measuring equipment for the users of its services. GFUB operates the Metrological Laboratory for Angle and Length Calibration within its scope, which is accredited. Within its scope, the laboratory created a Working Manual for Calibrating Rods, Line Scales, and Measuring Tapes up to 3 m long. GFULJ realized, within its professional and scientific activities, a construction for calibration of precise

1. УВОД

Тачност одређивања висинских разлика применом геометријског нивелмана може бити и мања од 1 mm/km. Нивелир заједно са нивелманским летвама подлежа првом еталонирању, периодичним и ванредним еталонирању које се врши у лабораторијама које су потврдиле своју компетентност у процесу акредитације према стандарду ISO/IEC 17025 или на неки други начин. Лабораторија мора да користи методе које задовољавају потребе корисника и које су прикладне за еталонирање у лабораторији.

Предност се даје употреби метода које су:

- публиковане у међународним, регионалним и националним стандардима
- објављене у публикацијама угледних техничким институцијама у релевантним научним радовима и часописима или
- су специфициране од произвођача опреме.

ДМДМ је водећа метеоролошка институција у Србији која развија и примењује инфраструктурна мерења и која обезбеђује тачна и поуздана мерења у складу са стандардима највишег нивоа. ДМДМ, као надлежан државни орган у Србији, врши еталонирања еталона и мерила за кориснике својих услуга. ГФУБ у свом саставу има Метеоролошку лабораторију за еталонирање мерила угла и дужине, која је акредитована. У оквиру обима акредитације лабораторија је сачинила Радно упутство за Еталонирање летви, лењира и мерних трака до 3 m [5]. ГФУЛЈ је у оквиру својих стручних и научних активности реализовао конструкцију за еталонирање прецизних нивел-

leveling rods. The construction and the method are realized in cooperation with Technical Institute in Munich. An objective way for estimation and presentation of reliability of the methods and the calibration data is participation in the inter-laboratory comparisons. It is an important activity of the laboratory, witnessing about the laboratory competence and the method validation.

2. RESEARCH SUBJECT

Calibration is "a procedure which, in the first step, establishes a relationship between quantity value with measuring uncertainties given by standards and corresponding readings with assigned measuring uncertainties and, in the second step, uses that data to establish a connection for obtaining the measuring results from the readings. Calibration can be expressed in a statement form, a calibrating function, a calibration diagram, a calibration curve, or a calibration table. In some cases, it can consist of a correction added or multiplied to the reading with the assigned measuring uncertainty." [OIML V2-200:2012, 2.39], [10].

A question is: Why is calibrating of the measures and the equipment needed?

Main reasons for making calibrations are: assuring consistent values with other measures and accessories, determining accuracy of read values and getting confidence in the measure and the accessories. In order to check the calibration results, connection between DMDM, GFUB, and GFULJ is done. Mentioned institutions have applied their own calibration methods and performed testing the error of the rod's division with the measuring uncertainties given by the standards. Testing the division is performed for the precise leveling rod 1,8 m long, Carl Zeiss, serial number 55822, made of invar (measuring segment), applied for

манских летава. Конструкција и метода су реализоване у сарадњи са Техничким институтом у Минхену. Објективан начин за оцењивање и приказивање поузданости метода и података еталонирања је учешће у међулабораторијским поређењима. То је важна активност која сведочи о компетентности лабораторије и валидацији методе.

2. ПРЕДМЕТ ИСТРАЖИВАЊА

Еталонирање "је поступак који, под одређеним условима, у првом кораку, успоставља однос између вредности величине са мерним несигурностима које дају еталони и одговарајућих показивања са придруженим мерним несигурностима и, у другом кораку, користи тај податак да успостави везу за добијање резултата мерења из показивања. Еталонирање може да буде изражено у облику изјаве, функције еталонирања, дијаграма еталонирања, криве еталонирања или табеле. Може да се састоји од корекције која се додаје или којом се множи показивање са придруженом мерном несигурношћу" [OIML V2-200:2012, 2.39], [10]. Поставља се питање: Зашто је потребно вршити еталонирање мерила и опреме?

Основни разлози за еталонирање су: обезбеђивања конзистентних вредности са другим мерењима и прибором, одређивање тачности читаних вредности и стицања поверења у мерило и прибор. У циљу провере еталонирања извршено је повезивање ДМДМ, ГФУБ и ГФУЉ. Поменуте институције су примениле властите методе еталонирања и извршиле испитивање грешке поделе летве са мерним несигурностима које дају еталони. Испитивање поделе је извршено за нивелманску летву дужине 1,8 m. Carl Zeiss, серијски број 55822, начињена од инвара (мерни део) и намењене за

precise geometric leveling. Nominal accuracy of the rod is $\pm 0.01 * D$, where D is the length in metres.

2.1. TESTING THE ERROR OF THE ROD DIVISION

The leveling rods consist of the invar tape and basis. The invar tape is 24 mm wide and 1 mm thick, with precisely made division in the form of lines. The rod's basis can be wooden or made of some light alloy, often aluminum. The division on the invar tape and the basis of the classic rods is double. The divisions are slided mutually for a certain offset which is called the rod constant. A difference between the nominal and the measured value of the dashes is the error of the rod's dash. The values that are determined, i.e., tested, are those on the invar tape.

For determination division errors of the rods, the company Zeiss produced an optical measuring machine (Fig. 1), which accuracy is micrometer level.

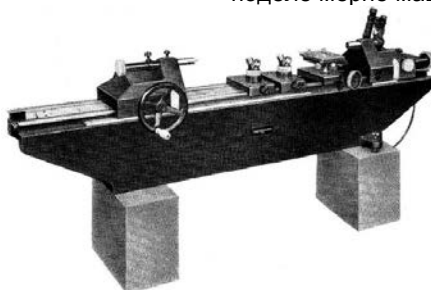
The measuring machine consists of the carrier, where the rod is placed, a fixed part that materializes the beginning of the rod, and a moving part with two tracks (for rough and fine tuning, i.e., reading), where the optical part for reading is placed. Measuring procedure is the following:

The side of the rod is placed to the carrier, in the way that the beginning of the rod approximately coincides the beginning of the measuring machine division.

прецизни геометријски нивелман. Декларисана тачност летве је $\pm 0.01 * D$ где је D у метрима.

2.1. ИСПИТИВАЊЕ ГРЕШКЕ ПОДЕЛЕ ЛЕТВЕ

Нивелманске летве се састоје од инварске пантљике и основе. Инварска пантљика је ширине 24 mm и дебљине 1 mm, са прецизно нанетом поделом у виду цртица. Основа летве може бити дрвена или направљена од неке лаке легуре, најчешће алуминијума. Подела на инварској пантљивици и основи код класичних летва је двострука, поделе су смакнуте једна у односу на другу за одређени размак који се назива константа летве. Разлика између номиналне (условно тачне) и измерене вредности подеока је грешка подеока летве. Вредности које се одређују, тј. испитују, су оне на инварској пантљивици. За одређивање грешака поделе летве фирма Zeiss је конструисала оптичку мерну машину (сл. 1.) чија је тачност реда микрометра. Машину се састоји од носача на које се поставља летва, непокретног дела којим је материјализован почетак поделе и покретног дела са двоја колица (за грубо и фино померање, тј. читање) на којима је монтиран оптички део за читање. Поступак мерења је следећи: на носаче се летва постави на бок тако да се почетак поделе летве приближно поклапа са почетком поделе мерне машине.



Слика 1. Мерна машина (компаратор) фирма Zeiss
Fig. 1: Measuring machine (comparator) company Zeiss

By moving the track, aiming of each decimetre of the rod is made, and the value of the length on the track is read in each position. The same procedure is repeated for the other rod division.

Processing consists of calculating the average values from the measurements forward-backward for each measured dash of the division, and calculating the differences between nominal and measured values.

These differences are the corrections which should be added to the measured values. They represent the errors of the rod division, represented by the linear regression line:

$$y = k \cdot x + n \quad (1)$$

Where:

k -slope of the linear regression line, representing the linear systematic change of the measure scale, i.e., the average meter of the rod.

Based on the nominal values of the division dashes and the corresponding deviation of the measured from those nominal values of the division, the graph of the differences is drawn. The nominal values of the measure are applied to the X-axis of the diagram, while deviation values are applied to the Y-axis. If there is a slope of the line (k), it can be concluded that the rod division has a linear systematic error which is expressed in cm/m and it represents **the average meter of the rod**.

With the appearance of the laser interferometers, optical reading of the lengths is abandoned. Nowadays, a prism and a CCD camera are placed to the moving track, in the way that the lengths are measured by the interferometer, and aiming is performed by image procession. Of course, the interferometer is needed to be calibrated and the corrections for the interferometer errors should be added to the measurement results. The accuracy of this method depends on the interferometer accuracy, which is half of the micrometre or better. Determination of the errors of the rod

Померањем колица врши се визирање сваког дециметра летве и при сваком положају се очита вредност дужине на колицима. Исти поступак се понови за другу поделу летве. Обрада се састоји у рачунању средњих вредности из мерења напред-назад за сваку измерену црту поделе и рачунању разлика између номиналних и мерених вредности.

Ове разлике су поправке које треба додати мереним вредностима и оне представљају грешке поделе летве, која се представља правом линеарне регресије:

где је:

k -нагиб праве линеарне регресије који представља линеарну систематску промену размере мерила, односно средњи метар летве.

На основу номиналних вредности цртица поделе и одговарајућих одступања мерених од тих номиналних вредности поделе, црта се графикон разлика. На X-оси дијаграма се наносе номиналне вредности мерила, а на Y-оси вредности одступања. Уколико постоји нагиб праве (k), може се закључити да подела летве има линеарну систематску грешку која се изражава у cm/m и која представља **средњи метар летве**.

Појавом ласерских интерферометара напуштено је оптичко читање дужина и сада се на покретна колица поставља призма и CCD камера тако да се дужине мере ласерским интерферометром а визирање се врши обрадом слике. Наравно, потребно је да и интерферометар буде еталониран и да се у резултате мерења унесу поправке за грешке интерферометра. Тачност ове методе зависи од тачности интерферометра, а то је пола микрометра или боље. Одређивање грешака поделе летве, се врши при температури $20\text{ }^\circ\text{C} \pm 2\text{ }^\circ\text{C}$.

Мерна несигурност је параметар,

division is performed at the temperature of $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$.

Measuring uncertainty is a parameter joined to the measurement result, which, in fact, expresses the quality of the presented result. The mathematical model of the measurement is presented with the measuring result e , given by the expression [2]:

$$e = l_m \cdot (1 + \alpha_m \cdot \theta_m) - l_{LI} + e_{rez} + e_{cos} + e_{mp} + e_a \quad (2)$$

Where:

e - deviation at 20°C ,

l_m - length of the trail between the reference and the measured position

α_m - linear temperature coefficient of the measure expansion,

e_{cos} - temperature deviation of the measure at 20°C ,

l_{LI} - corrected length presented by LI,

e_{rez} - error of the reading difference between the current and the starting dash of the measure division,

e_{cos1} - measurement error due to non-alignment of the measure (expected value is 0),

e_{cos2} - measurement error due to non-alignment of the laser beam (expected value is 0),

e_{mp} - error of the backlash (expected value is 0),

e_a - error caused by angular displacement of the optical microscope, Abbe's error (expected value is 0).

Applying the error propagation law and developing the function e into Taylor series, the measuring uncertainty can be expressed by the expression [3]:

$$U_c^2(e) = c_{l_m}^2 \cdot u^2(l_m) + c_{\alpha_m}^2 \cdot u^2(\alpha_m) + c_{\theta_m}^2 \cdot u^2(\theta_m) + c_{l_{LI}}^2 \cdot u^2(l_{LI}) + c_{e_{rez}}^2 \cdot u^2(e_{rez}) + c_{e_{cos1}}^2 \cdot u^2(e_{cos1}) + c_{e_{cos2}}^2 \cdot u^2(e_{cos2}) + c_{e_{mp}}^2 \cdot u^2(e_{mp}) + c_{e_a}^2 \cdot u^2(e_a) \quad (3)$$

Where:

$u(l_m)$ - uncertainty of the trail length between the reference and measured position, $u(l_m) = (1,5 \cdot 1) \mu\text{m}$, for l in m .

$u(\alpha_m)$ - uncertainty of the linear

придружен резултату мерења, који заправо изражава квалитет исказаног резултата. Математички модел мерења је представљен мерним резултатом e и дат је следећим изразом [3]:

где је:

e - девијација на 20°C ,

l_m - дужина путање између

референтног и мерног положаја,

α_m - линеарни температурни

коэффициент ширења мерила,

θ_m - одступање температуре мерила

од 20°C ,

l_{LI} - поправљена дужина приказана

од LI,

e_{rez} - грешка разлике читања текуће и

почетне цртице поделе мерила,

e_{cos1} - грешка мерења услед

непоравнања мерила (очекивана вредност је 0),

e_{cos2} - грешка мерења услед

непоравнања ласерског зрака

(очекивана вредност је 0),

e_{mp} - грешка мртвог хода (очекивана

вредност је 0),

e_a - грешка узрокована угловним

одступањем оптичког микроскопа

Abbe-ова грешка (очекивана

вредност је 0).

Применом закона преноса грешака и

развијањем у тејлор ред функције

e , мерна несигурност се може

представити изразом [3]:

где је:

$u(l_m)$ - несигурност дужине путање

између референтног и мерног

положаја, $u(l_m) = (1,5 \cdot 1) \mu\text{m}$, за l у m .

$u(\alpha_m)$ - несигурност линеарног

coefficient of the temperature

expanding, $u(\alpha_m) = (1 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}) / \sqrt{3}$

$u(\theta_m)$ – uncertainty of the temperature deviation, $u(\theta_m) = 0,10 \text{ } ^\circ\text{C}$

$u(I_{LI})$ – uncertainty of LI reading, $u(I_{LI}) = (0,1 \cdot l) \text{ } \mu\text{m}$, for l in m

$u(e_{\text{raz}})$ – uncertainty due to the error of the reading difference between the current and the starting dash of the measure division. It is calculated via reading (aiming) error, which is determined for each operator that performs measurements, as a standard deviation of minimum ten readings of one dash, $u(e_{\text{raz}}) = u(e_{\text{cit}}) \cdot \sqrt{2}$

$u(e_{\text{cos}})$ – uncertainty caused by the cosine error due to non-alignment of the measure, $u(e_{\text{cos}}) = (0,03 \cdot l) \text{ } \mu\text{m}$, for l in m

$u(e_a)$ – uncertainty caused by Abbe's error, $u(e_a) = 0$

$u(e_{\text{mp}})$ – uncertainty caused by backlash, $u(e_{\text{mp}}) = 0$.

Standard uncertainty of estimation of input values is represented via upper and lower limit of the measuring range, which, in this case, represent values from 1 mm to the nominal values (1000 mm to 3000 mm) tested in laboratory conditions. Final expression of the measuring uncertainty is represented by the combined measuring uncertainty, given by the following expression:

Where:

U – combined measuring uncertainty

U^d, U^g – measuring uncertainty for lower and upper limits of the measuring range,

D – length in meters.

Measuring uncertainty is determined by summing all errors that exist in the measuring model. The errors of the measuring model can be predicted in forward, because they are defined by

коефицијента температурног

ширења, $u(\alpha_m) = (1 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}) / \sqrt{3}$

$u(\theta_m)$ - несигурност девијације

температуре, $u(\theta_m) = 0,10 \text{ } ^\circ\text{C}$

$u(I_{LI})$ - несигурност LI показивања,

$u(I_{LI}) = (0,1 \cdot l) \text{ } \mu\text{m}$, за l у m

$u(e_{\text{raz}})$ - несигурност због грешке

разлике читања текуће и почетне

цртице поделе мерила. Рачуна се

преко грешке читања (визирања)

$u(e_{\text{cit}})$ која се одређује за сваког

оператера који врши мерења као

стандардна девијација из минимум

десет читања на једној цртици,

$u(e_{\text{raz}}) = u(e_{\text{cit}}) \cdot \sqrt{2}$

$u(e_{\text{cos}})$ - несигурност узрокована

косинусном грешком услед

непоравнања мерила, $u(e_{\text{cos}}) = (0,03 \cdot l)$

μm , за l у m

$u(e_a)$ - несигурност узроковања *Abbe*-

овом грешком, $u(e_a) = 0$

$u(e_{\text{mp}})$ - несигурност узрокована

мртвим ходом, $u(e_{\text{mp}}) = 0$

Стандардна несигурност оцене улазних величина представља се преко горње и доње границе мерног ранга који у овом случају представљају вредности од 1 mm до номиналне вредности (1000 mm - 3000 mm) која се испитује у лабораторијским условима. Коначан израз мерне несигурности представља се комбинованом мерном несигурношћу која се добија следећим изразом:

$$u = U^d \mu\text{m} + (U^g - U^d) \mu\text{m} \cdot D \quad (4)$$

где је:

u - комбинована мерна несигурност,

U^d, U^g - мерна несигурност за доњу и

горњу границу мерног ранга,

D - дужина у метрима.

Мерна несигурност је одређена сумирањем свих грешака које фигуришу у моделу мерења. Грешке модела мерења се могу унапред предвидети јер су дефинисане

the apparatus itself used for the measurement, except the aiming error, which is determined for the operator performing measurement $u(e_{cit})$.

2.2. CALIBRATION PROCEDURE IN LABORATORY DMDM

For calibrating the length measures, DMDM uses measuring equipment consisting of: the universal measuring machine with two carries and two pairs of the prisms, made by the company Carl Zeiss; the laser interferometer (LI), HP 5526 A; automatic compensator HP 5510 A with the temperature and pressure sensors; the sensor for measuring material temperature HP 10563A. In the room where the measuring equipment is located, a stable temperature of $20^{\circ} \pm 0,5^{\circ} \text{C}$ is kept 24 h a day. A process of operating check of the laser interferometer precedes the calibration. Measuring procedure assumes that the rod is fixed and horizontally and vertically aligned.

The material temperature sensor is put of the calibrating rod, while the temperature and air pressure sensors are situated in the vicinity of the desk. The value of the temperature expansion coefficient is entered to the interferometer, using the value for the material that the rod is made of. The sensors are connected to the display unit of the interferometer and, according to the data they collect and the entered coefficient, calculation of the correction occurred due to the thermic expansion of material.

According to the nominal values of the division and corresponding deviations, a graph of the differences in the form of the linear regression is drawn. Standard uncertainty of input values estimation for the lower limit of the measuring range (1 mm), in described conditions and with DMDM laboratory equipment, is estimated to $0,72 \mu\text{m}$. Standard uncertainty of the input values

самом апаратуром мерења, изузев грешке визирања која се одређује за оператера који врши мерења $u(e_{cit})$.

2.2. ПОСТУПАК ЕТАЛОНИРАЊА У ЛАБОРАТОРИЈИ ДМДМ

За еталонирање мерила дужина ДМДМ користи мерну опрему коју чине: Универзална мерна машина са два носача и два пара призма које су произведене од стране фирме Carl Zeiss; Ласерси интерферометар (LI), HP 5526 A; Аутоматски компензатор HP 5510A са сензором за температуру и притисак ваздуха; Сензор за мерење температуре материјала HP 10563A. У просторији где је смештена мерна опрема у периоду од 24 h одржава се стабилна температура од $20^{\circ} \text{C} \pm 0,5^{\circ} \text{C}$. Еталонирању претходи процес провере рада ласерског интерферометра. Мерна процедура подразумева да се летва фиксира и да се за њу изврши хоризонтално и вертикално поравнање.

На летву која се еталонира поставља се сензор температуре материјала док се у непосредној близине клупе налази сензор за мерење температуре ваздуха и притиска. У интерферометар се затим уноси вредност температурног коефицијента ширења за материјал од кога је направљен инвар на летви. Сензори су повезани на екранску јединицу интерферометра и на основу података које они прикупљају и коефицијента који је унет, аутоматски се врши обрачунавање корекције настале услед термичког ширења материјала.

На основу номиналних вредности поделе и одговарајућих одступања, црта се графикон разлика у виду линеарне регресије. Стандардна несигурност оцене улазних величина за доњу границу мерног ранга (1 mm) у описаним условима и са опремом лабораторије ДМДМ процењује се на вредност $0,72\mu\text{m}$. Стандардна неси-

estimation for the upper limit of the measuring range (3000 mm) is estimated to the value of $2,87\mu\text{m}$, with the extension factor $k=1$ [1].

2.3. CALIBRATION PROCEDURE AT THE LABORATORY FGUB

In the Laboratory FGUB, for determination of the division error of the line scales, measuring tapes and levelling rods, the laser interferometer method is implemented. GFUB uses measuring equipment consisting of: a coordinatograph, the laser interferometer HP 5528A, air temperature sensor HP 10751B, air pressure sensor HP 10751B, material temperature sensor HP 10757B. The interferometer contains a multiplication constant of 1.00001362562009, which is necessary to apply to the measuring quantities. Before starting the measurements, a two hours temperature accommodation of the rod is applied. The rod is put on the coordinatograph, and the interferometer is aligned. The temperature sensor is placed to the invar part of the rod, and let there for about ten minutes, to stabilize the reading on the sensor. After that, each decimeter of the rod is measured. According to the nominal values of the division and the corresponding deviations, the graph of differences, in the form of the linear regression, is drawn.

The measuring uncertainty for the lower limit of the measuring range (1 mm), in described conditions of the GFUB laboratory, is estimated to the value of $0,34\mu\text{m}$. The measuring uncertainty for the upper limit of the measuring range (1000 mm) in the described laboratory conditions is estimated to the value $1,50\mu\text{m}$ [4], [5].

2.4. CALIBRATION PROCEDURE AT THE LABORATORY GFULJ

For determination of rod division errors, GFULJ uses the optical comparator

гурност оцене улазних величина за горњу границу мерног ранга (3000 mm), процењује се на вредност $2,87\mu\text{m}$., фактор проширења $k=1$, [1]

2.3. ПОСТУПАК ЕТАЛОНИРАЊА У ЛАБОРАТОРИЈИ ГФУБ

У лабораторији ГФУБ, за одређивање грешке поделе лењира, мерних трака и нивелманских летви, примењује се метода мерењем ласерским интерферометром. ГФУБ користи мерну опрему коју чине: Координатограф, Ласерски интерферометар HP 5528A, сензор температуре ваздуха HP 10751B, сензор притиска HP 10751B: Сензор температуре материјала HP 10757B. Интерферометар поседује мултипликациону константу чија је вредност 1.00001362562009, за коју је неопходно кориговати мерене вредности. Пре почетка мерења врши се темперирање летве у трајању два часа. Летва се поставља на координатограф и приступа се поравнању интерферометра. На инварски део летве се поставља сензор температуре материјала и оставља се око десетак минута како би се читање на сензору стабилизovalo и након тога, се врши мерења сваког дециметра летве. На основу номиналних вредности поделе и одговарајућих одступања, црта се графикон разлика у виду линеарне регресије.

Мерна несигурност за доњу границу мерног ранга (1 mm) у описаним условима лабораторије ГФУБ процењује се на вредност $0,34\mu\text{m}$. Мерна несигурност за горњу границу мерног ранга (1000 mm) у описаним условима лабораторије процењује се на вредност $1.50\mu\text{m}$. [4], [5].

2.4. ПОСТУПАК ЕТАЛОНИРАЊА У ЛАБОРАТОРИЈИ ГФУЉ

За одређивање грешака поделе летве ГФУЉ користи оптичку компа-

Zeiss, which has got a new, modern form and content. The adapted comparator is used for precise horizontal and vertical alignment with a length measure placed at the specially designed measuring track. The optical part of the measuring system contains a standard, b/w CCD camera, a lens and the optical prism, which allows the optical axis of the lens to be parallel with the axis of the movable track. The comparator is equipped with the measuring tape made by British manufacturer RENISHAW. An integrated measuring device is connected to PC used for controlling measurements via the additionally installed hardware and software. Image processing assumes partial image processing and whole image processing. Partial image processing is related to each dash of the rod division. Contours on the image (rod division), expressed in the pixel coordinate system are transformed to the contours in the measuring device coordinate system. Whole image processing assumes calculating the mutual distance and relationship for the contours drawn during the interpolation procedure in partial processing. [6].

Stable temperature of $20^{\circ}\text{C} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ is kept in the room where the measuring equipment is located. Additionally, temperatures of the comparator and the levelling rod are measured, and the levelling rod are measured, and the correction caused by thermic expansion of the rod is calculated. The difference graph, in the form of the linear regression, is drawn according to the nominal values of the division and the corresponding deviations.

3. RESEARCH RESULTS

Measurements for the purpose of calibrating and determining the average metre of the precise levelling rod S/N 55822 in the laboratories DMDM and GFUB are performed by manual aiming of the rod division. The observer

ратор фирме *Zeiss* који је добио нови савремени облик и садржај.

Прерађени компаратор се користи за прецизно хоризонтално и вертикално поравнање са постављеним мерачем дужине на посебно дизајнираним мерним колицима. Оптички део мерног система садржи стандардну црно-белу CCD камеру, сочиво и оптичку призму која омогућава оптичкој оси сочива да буде паралелна са осовином покретних колица.

Компаратор је опремљен мерном траком произведеном од стране британског произвођача RENISHAW. Интегрисани мерни уређај је повезан на РС рачунар и са којим се мерења контролишу преко додатно инсталираног хардвера и софтвера.

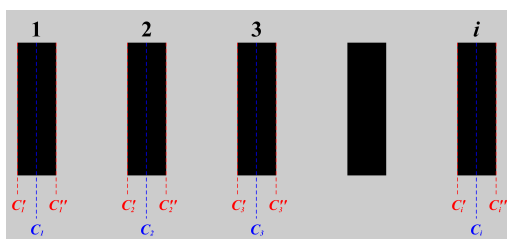
Обрада снимака подразумева: делимичну обраду снимка и обраду целог снимка. Делимична обрада снимка се односи на сваку цртицу поделе летве. Контуре на снимку (поделе летве) изражене у координатном систему пиксела се претварају у контуре у координатном систему мерног уређаја. Обрада целог снимка подразумева да се за извучене контуре у поступку интерполације у делимичној обради израчуна међусобно растојање и однос [6]. У просторији где је смештена мерна опрема одржава се стабилна температура од $20^{\circ}\text{C} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$. Додатно се мери и температура компаратора и нивелманске летве и аутоматски се врши обрачунавање корекције настале услед термичког ширења летве. На основу номиналних вредности поделе и одговарајућих одступања, црта се графикон разлика у виду линеарне регресије.

3. РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА

Мерења у циљу еталонирања и одређивања средњег метра прецизне нивелманске летве, *Carl Zeiss*, серијски број 55822, у лабораторијама ДМДМ и ГФУБ извршена су мануелним визирањем поделе летве.

approaches to aiming and reading of each decimetre of the division. Before starting of measuring, the temperature accommodation of the measure was done, which lasted for 2 h. The levelling rod is placed, fixed and aligned to the measuring surface. The material temperature sensor is placed to the invar part of the rod, and left there for about ten minutes, in order to stabilize the reading of the sensor. Each end of the dash on the rod is aimed five times, with estimating the arithmetical average of those two readings (Fig. 2).

Опажач је приступио визирању и читавању сваког дециметра поделе. Пре почетка мерења извршено је темперирање мерила и адаптација у трајању од 2 h. Нивелманска летва је постављена, фиксирана и поравната на мерној површини. На инварски део летве је постављен сензор температуре материјала и остављен око десетак минута како би се читање на сензору стабилизовало. За летву је вршено визирање оба краја цртице по пет пута, и оцењена је аритметичка средина из та два читања (Слика 2).



Слика 2. Поступак читања (визирања)

Fig. 2: Procedure of readings

$$C'_i = \frac{\sum_{j=1}^5 C_j}{5}, \quad C_i = \frac{C'_i + C''_i}{2},$$

Each division on the rod is measured forward and backward. The average reading for each measuring dash i determined with the standard deviation:

Свака подела на летви је мерена напред и назад. Средње читање за сваку мерну цртицу је одређено уз стандардну девијацију као:

$$\bar{C} = \frac{\sum_{i=1}^2 C_i}{2}, \quad \sigma_C = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^2 (\bar{C} - C_i)^2}{1}}$$

Obtained results are compared with the nominal values, to see if there were any systematic influences or irregularities. The difference from the nominal value is calculated for each measuring dash using the expression:

Добијени резултати су упоређени са номиналним вредностима како би се увидело да ли постоје систематски утицаји и неправилности. Разлика од номиналне вредности се рачуна за сваку мерну цртицу летве, изразом:

$$\varepsilon_j = \bar{C}_j - C_j^{\text{nom}}$$

The results are tested and gross rejected. The results are depicted in Table 1.

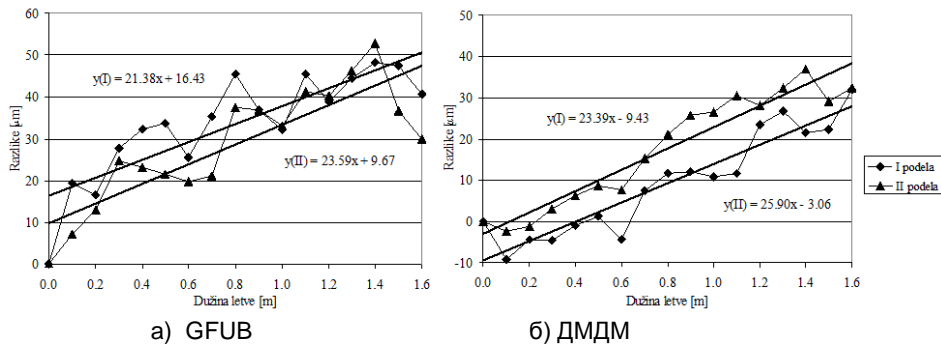
Резултати мерења су тестирани, грубе грешке су одбачене, и приказани су у Табели 1.

Табела 1. Резултати мерења у лабораторијама ГФУБ и ДМДМ
Table 1: Measurement results in the laboratories GFUB and DMDM

C_j^{nom}	I подела (I division)					II подела (II division)					
	M.T.	лаб. ГФУБ (GFUB laboratory)		лаб. ДМДМ (DMDM laboratory)		M.T.	лаб. ГФУБ (GFUB laboratory)		лаб. ДМДМ (DMDM laboratory)		
		j	\bar{C}_j [mm]	ε_j [μm]	\bar{C}_j [mm]		ε_j [μm]	j	\bar{C}_j [mm]	ε_j [μm]	\bar{C}_j [mm]
[mm]											
0.0000	2	0.0000	0.0	0.0000	0.0	62	0.0000	0.0	0.0000	0.0	
0.1000	4	99.9807	19.3	100.0092	-9.2	64	99.9928	7.2	100.0024	-2.4	
0.2000	6	199.9836	16.5	200.0044	-4.4	66	199.9870	13.0	200.0011	-1.1	
0.3000	8	299.9723	27.8	300.0045	-4.5	68	299.9753	24.7	299.9970	3.0	
0.4000	10	399.9677	32.3	400.0009	-0.9	70	399.9770	23.1	399.9938	6.2	
0.5000	12	499.9663	33.7	499.9988	1.2	72	499.9785	21.5	499.9914	8.6	
0.6000	14	599.9745	25.5	600.0044	-4.4	74	599.9803	19.7	599.9923	7.7	
0.7000	16	699.9648	35.3	699.9926	7.4	76	699.9789	21.1	699.9847	15.3	
0.8000	18	799.9546	45.4	799.9884	11.6	78	799.9625	37.6	799.9788	21.2	
0.9000	20	899.9631	36.9	899.9879	12.1	80	899.9631	37.0	899.9743	25.7	
1.0000	22	999.9679	32.1	999.9892	10.8	82	999.9670	33.0	999.9735	26.5	
1.1000	24	1099.9545	45.5	1099.9883	11.7	84	1099.9587	41.3	1099.9695	30.5	
1.2000	26	1199.9612	38.9	1199.9764	23.6	86	1199.9597	40.3	1199.9719	28.1	
1.3000	28	1299.9555	44.6	1299.9732	26.8	88	1299.9537	46.3	1299.9677	32.3	
1.4000	30	1399.9518	48.2	1399.9784	21.6	90	1399.9473	52.8	1399.9630	37.0	
1.5000	32	1499.9525	47.5	1499.9776	22.4	92	1499.9633	36.7	1499.9708	29.2	
1.6000	34	1599.9594	40.6	1599.9680	32.0	94	1599.9701	29.9	1599.9676	32.4	

The graph of I and II rod divisions' corrections is drawn by the function Chart Wizard in Microsoft Excel, with the measurement results processed according to the procedure described in 2.1. After the diagram was drawn, the linear regression, with the slope coefficient representing the average rod's metre, is determined by the function Add Trendline. The calculated value for the average metre of the I rod division in GFUB laboratory is 21,38 μm/m, with the standard deviation of 3,53 μm/m, while in the DMDM lab, its value is 23,39 μm/m, with the standard deviation of 2,24 μm/m. For the II rod division, the average metre in GFUB laboratory is 23,59 μm/m, determined with the standard deviation of 3,85 μm/m. Its value in DMDM laboratory is 25,90 μm/m, with the standard deviation of 1,94 μm/m.

Из обрађених резултата мерења према поступку описаном у 2.1 у пакету *Microsoft Excel* употребом функције *Chart Wizard* је исцртан дијаграм поправака I и II поделе летве, а функцијом *Add Trendline*, након цртања дијаграма, из одступања је одређена линеарна регресија чији коефицијент нагиба праве представља средњи метар. Средњи метар I поделе летве у лабораторију ГФУБ има вредност 21,38 μm/m одређен са стандардном девијацијом 3,53 μm/m, док у лабораторији ДМДМ његова вредност је 23,39 μm/m, са стандардном девијацијом 2,24 μm/m. За II поделу летве средњи метар у лабораторију ГФУБ има вредност 23,59 μm/m одређен са стандардном девијацијом 3,85 μm/m, у лабораторији ДМДМ његова вредност је 25,90 μm/m, са стандардном девијацијом 1,94 μm/m.



а) GFUB б) ДМДМ
 Слика 3. Дијаграм поправака поделе летве Carl Zeiss
 Figure 3: Corrections diagram of the Carl Zeiss rod division

Changes related to the regression line can be noticed from the graphically presented values obtained during the calibration process (Fig. 3). X-axis shows the nominal values of the measure, while Y-axis shows the differences between measured and the nominal values. After determining the average metre of the rod, calculation of the calibration measuring uncertainty is done. Measuring uncertainty is determined by summing all the error figuring in the measurement model.

The measurement model errors are defined by the equipment used for calibration (2), except the aiming error, which is, in the case of manual aiming and coinciding, calculated from the repeated reading of the division dashes. The aiming error for each division is estimated for the operator that performed measurement. The total aiming error is estimated to the value of 0,89 μm [4]. The final value of the standard uncertainty of the measurement at the rod for 1,6000 m, in described conditions and with the DMDM laboratory equipment, is estimated to the value of 1,85 μm . In GFUB laboratory, it is 2,43 μm for the extension factor $k=1$. For GFULJ, the final value of the standard measurement uncertainty on the rod for 1,60000 m is taken from the Certificate of calibration and equals 0,51 μm .

Из графички представљених вредности добијених у процесу еталонирања (Слика 3), могу се уочити промене у односу на регресиону праву. На X-оси су приказане номиналне вредности мерила док су на Y-оси приказане разлике мерених од номиналних вредности. Након одређивања средњег метра летве извршен је прорачун мерне несигурности еталонирања. Мерна несигурност је одређена сумирањем свих грешака које фигуришу у моделу мерења. Грешке модела мерења су дефинисане опремом којом се врши еталонирање (2), изузев грешке читавања (визирања) која је у случају мануелног визирања и коинцидирања срачуната из вишеструког читавања цртица поделе. За оператера који је извршио мерење процењена је грешка визирања за сваку поделу појединачно. Укупна грешка визирања процењена је на вредност 0,89 μm [4]. Коначна вредност стандардне несигурности мерења на летви за 1,6000 m у описаним условима и са опремом лабораторије ДМДМ процењује се на вредност 1,85 μm , а у лабораторији ГФУБ износи 2,43 μm , за фактор проширења $k=1$. За ГФУЉ, коначна вредност стандардне несигурности мерења на летви за 1,6000 m је узета из Сертификата о калибрацији и износи 0,51 μm .

4. STATISTICAL ANALYSIS

We used the regulations and the procedures described in Part B.3 *Calculation of performance statistics* (ISO/IEC 17043), for statistical analysis of the obtained calibration results for different equipment. Comparison is made by technique of successive calibrating, when the laboratories calibrate the same sample. Estimation of the results represents complete information on technical competence of the laboratory. For statistical processing of the results, different parameters are used: standard deviation, variation coefficient or relative standard deviation, per cents, median of standard deviation, etc. The obtained results are transformed into a difference between the participating laboratory (x) and chosen (or referent) value (X), giving $(x-X)$:

$$z = \frac{x - X}{\sigma} \quad (8)$$

$$E = \frac{x - X}{2\sqrt{U_{lab}^2 + U_{ref}^2}} \quad (9)$$

Where:

σ - standard deviation (measure of dispersion used in estimation of examined results, based on available information); U_{lab} - measuring uncertainty of the laboratory marked as the participant result, for the extension factor $k=2$; U_{ref} - measuring uncertainty of chosen value.

Using the z-result, it is possible to compare the results obtained in different laboratories, regardless of the examined value, its nature, and measuring method. Consequently, the following cases can happen:

1) values for z

- $|z| \leq 2,0$ z-results in this range are considered as acceptable or satisfactory

4. СТАТИСТИЧКА АНАЛИЗА

За статистичку анализу добијених резултата еталонирања са различитом опремом, искоришћена су правила и процедуре описане у делу B.3 *Calculation of performance statistics* (ISO/IEC 17043). Поређење је извршено путем технике сукцесивног еталонирања, када лабораторије врше еталонирање истог узорка. Вредновање резултата представља информацију о техничкој компетенцији лабораторије. За статистичку обраду резултата користе се различити параметри: стандардна девијација, коефицијент варијације или релативна стандардна девијација, проценти, медијана апсолутне девијације и сл. Добијени резултати се трансформишу у разлику, између резултата лабораторије учеснице (x) и изабране (или референтне) вредности (X), односно $(x - X)$:

где је:

σ - стандардна девијација (мера дисперзије која се користи у процени испитиваних резултата, на основу доступних информација); U_{lab} - мерна несигурност лабораторије која је означена као резултат учесника, за фактор проширења $k=2$; U_{ref} - мерна несигурност изабране вредности.

Употребом z-резултата могуће је поредити резултате добијене у различитим лабораторијама, без обзира на испитивану величину, њену природу и методе мерења. Могу настати следећи случајеви сагласно:

1) вредности за z:

- $|z| \leq 2,0$ z-резултати које се

- $2,0 \leq |z| \leq 3,0$ results in this range are considered as discussible,
- $|z| > 3,0$ results in this range are considered as not acceptable and reconsideration is requested

2) E values:

- $|E| \leq 1,0$ the result is considered as acceptable or satisfactory
- $|E| > 1,0$ the result is considered unacceptable.

Based on measuring data, we calculated the average values of the average rod's metre, from two divisions. According to the values of the average metre and the final values of the measuring uncertainties in specific laboratories, the results are:

GFUB-DMDM:

$$z = \frac{x - X}{\sigma} = \frac{24,65 - 22,49}{3} = 0,72 ; E = \frac{x - X}{2\sqrt{U_{lab}^2 + U_{ref}^2}} = \frac{24,65 - 22,49}{2\sqrt{3,70^2 + 4,86^2}} = 0,18$$

GFUB-GFULJ:

$$z = \frac{x - X}{\sigma} = \frac{22,75 - 22,49}{3} = 0,25 ; E = \frac{x - X}{2\sqrt{U_{lab}^2 + U_{ref}^2}} = \frac{22,75 - 22,49}{2\sqrt{1,02^2 + 4,86^2}} = 0,03$$

The standard deviation, needed for calculation of z-results, is calculated as the arithmetic mean of the standard deviations of all determinations of the average metre. The intercomparison becomes more and more important in the segments of developing and upgrading the existing methods and getting confidence in the obtained results.

налазе у овом опсегу сматрају се *прихватљивим или задовољавајућим*,

- $2,0 < |z| < 3,0$ резултати које се налазе у овом опсегу сматрају се *дискутабилним*,
- $|z| > 3,0$ резултат који се налази у овом опсегу сматра се *неприхватљивим и захтева преиспитивање*.

2) вредности за E :

- $|E_n| \leq 1,0$ резултат се сматра *прихватљивим или задовољавајућим*;
- $|E_n| > 1,0$ резултат се сматра *неприхватљивим*.

На основу података мерења срачунате су средње вредности средњег метра летве, из две поделе. Из вредности средњег метра и коначних вредности мерних несигурности мерења у појединим лабораторијама, резултати су:

ГФУБ-ДМДМ:

ГФУБ-ГФУЉ:

За рачунање z-резултата потребна стандардна девијација σ је срачуната као аритметичка средина стандардних девијација свих одређивања средњег метра. Ово узајамно поређење постаје све значајније у делу развијања и унапређења постојећих метода и стицање поверења у добијене резултате.

5. CONCLUSION

Calibration is performed in the laboratories that confirmed their competence and that use standard calibration methods, or developed special methods for their users. Checking of the methods themselves and the equipment used for calibration, can be done via the procedure of the interlaboratory comparisons, or testing in some other way. The laboratories of the mentioned institutions, DMDM, GFUB, and GFULJ, took part in the comparisons, in order to identify possible deficiencies, verification of methods reliability, equipment and suggestions of appropriate corrective measures, if needed. Checking of congruency of obtained values assures confidence and quality control of calibrating, and quality of a given service. In this way, the staff confirms quality of its work and identification of the possible problems, in order to find the way for their overcoming.

5. ЗАКЉУЧАК

Еталонирање се врши у лабораторијама које су потврдиле своју компетентност и које користе стандардне методе еталонирања, или су за своје кориснике развиле посебне методе. Провера самих метода и опреме која се користи за еталонирање може се вршити у поступку међулабораторијских поређења или провере на неки други начин. Лабораторије поменутих институција, ДМДМ, ГФУБ и ГФУЉ, су узеле учешћа у поређењима у циљу идентификације могућих недостатака, провере поузданости метода, опреме и предлога одговарајућих корективних мера, ако је то потребно. Провера сагласности добијених вредности обезбеђује поверење и контролу резултата еталонирања као и квалитет пружене услуге. На овај начин особље потврђује квалитет свога рада и идентификацију могућих проблема у циљу проналажења начина за њихово превазилажење.

REFERENCES

- [1] Calibration of line scales, Laboratory for length, DMDM, Mike Alasa 14, 11000 Belgrade, Serbia
- [2] S. Delčev, Geodetska metrologija. Akademska misao, Beograd, **2017**.
- [3] S. Delčev, Vukan Ogrizović, Jelena Gučević, Comparison of calibration methods of measuring tapes, Kongres metrologa, **2015**
- [4] S. Miljković, Određivanje srednjeg metra precizne invarske letve, seminarski rad, Građevinski fakultet Beograd, **2015**.
- [5] S. Delčev, V. Ogrizović, Radno uputstvo - Etaloniranje letvi i lenjira i mernih traka do 3 m. Metrološka laboratorija za etaloniranje merila ugla i dužine, Beograd, **2013**.
- [6] F. Vodopivec, D Kogoj, Prvi komparator za kompariranje kodiranih nivelmanskih lat v Sloveniji, Geodetski vestnik, 46/2002 - 1&2.
- [7] URL1: Laser Measurement System - User's Guide <http://www.hudler.org/pub/HP/05528-90020-205528A-20Laser-20Measuerment-System-20Users-20Manual 2.pdf>
- [8] URL2: Hewlett-Packard Journal <http://www.hpl.hp.com/hpjournal/pdfs/IssuePDFs/1970-08.pdf>
- [9] URL3: Direkcije za mere i dragocene metale <http://www.dmdm.rs/cr/Etaloniranje.php>
- [10] URL4: Međunarodni rečnik zakonske metrologije-nezvaničan prevod publikacije OIML V1 International Vocabulary of Legal Metrology (VIML) dvojezično englesko-francusko izdanje 2013. http://www.dmdm.rs/PDF/Publikacije/VIML_srpski_2013.pdf.