

**REZULTATI ISTRAŽIVANJA MJERNE NESIGURNOSTI
UNIVERZALNE MJERNE MAŠINE ULM 01 – 600**

**THE RESULTS OF THE RESEARCHMENT OF UNCERTAIN
MEASUREMENT OF THE UNIVERSAL MEASUREMENT MASHINE
ULM 01 – 600C**

**prof. dr Edhem Seferović, Mašinski fakultet Sarajevo;
mr. Daut Denjo, Mašinski fakultet Mostar**

Ključne riječi: metrologija, kalibracija, mjerna nesigurnost

REZIME

U ovom radu su dati rezultati istraživanja mjerne nesigurnosti univerzalne mjerne mašine ULM 01-600C rezolucije 0.1 μm. Da bi se izveo podatak o mjernoj nesigurnosti univerzalne mjerne mašine istu je bilo potrebno kalibrirati u kontrolisanim laboratorijskim uslovima sa paralelnim graničnim mjerka ma stepena tačnosti K. Kalibracija ULM 01-600C je urađena u Laboratoriju za proizvodno mjernu tehniku Mašinskog fakulteta u Sarajevu.

Key words: metrology, calibration, uncertainty in measurement

SUMMARY

In this work are given the results of the researchment of uncertain measurements of the universal measurement mashine ULM 01- 600C, resolution 0.1 μm. To be able to get a piece of infomation about the measurement uncertainty of this universal measurement mashine it was necessary to calibrate the same mashine in controled laboratory conditions with gauges blocks of the degree of precision K. The kalibration ULM 01 –600C was done in the laboratory for productive measurement technique Faculty of Mechanical Engineering in Sarajevo.

1. OPIS PROBLEMA

Laboratorije koje se bave kalibracijom mjerila moraju na svakom nivou lanca kalibracije poznavati mjernu nesigurnost radi osiguranja slijedivosti u skladu sa EN 45001 (Opšti kriteriji za rad ispitivališta), ISO 10012 (Zahtjevi za osiguranje kvaliteta u mjerenjima), EA-G19 (Kalibracija i održavanje mjerne i ispitne opreme u ispitnim laboratorijama) i EA – G12 (Slijedivost mjerne i ispitne opreme prema nacionalnim etalonima).

Mjerna nesigurnost je parametar pridružen rezultatu mjerenja koji opisuje rasipanje vrijednosti koje bi se razumno mogle pripisati mjerenoj veličini. Parametar pridružen rezultatu mjerenja može biti procijenjeno standardno odstupanje ili poluširina intervala sa navedenim nivoom povjerenja. Ovako određenje mjerne nesigurnosti je usmjereno na mjerni rezultat i njegovu proračunatu nesigurnost. Mjerna nesigurnost je također osnova za odluku pri izboru mjernog sredstva za mjerne zadatke. Prema zlatnom pravilu mjerne tehnike mjerna nesigurnost treba biti manja ili jednaka desetom dijelu provjeravane tolerancije $U \leq T/10$, a u izuzetnim slučajevima smije iznositi $U \leq 5T$.

2. OPIS I TEHNIČKE KARAKTERISTIKE ULM 01 – 600C

Univerzalna mjerna mašina ULM 01-600C (slika 1.) je namjenjena za precizna mjerenja dužina. Područje primjene su precizna mjerenja:

- spoljnih i unutrašnjih mjera na mjernim objektima sa zakrivljenim površinama,
- spoljnih i unutrašnjih mjera na cilindričnim mjernim objektima u horizontalnom i vertikalnom položaju i
- spoljnih i unutrašnjih mjera na predmetima sa ravnim, paralelnim površinama



SLIKA 1. UNIVERZALNA MJERNA MAŠINA ULM 01 – 600 C

TABELA 1: TEHNIČKE KARAKTERISTIKE ULM 01-600C .

Vrijednost skale	0.1 μm
Mjerna sila	0 ; 1.5 i 2.5 N
Spoljna mjerenja	0 – 600 mm
Unutrašnja mjerenja	10 – 400 mm
Mjerenje spoljnih navoja	do 200 mm koraka 1 – 6 mm
Mjerenje unutrašnjih navoja	11 – 400 mm
Nesigurnost za spoljna mjerenja	$\pm (0.7 - 0.9) \mu\text{m}$
Nesigurnost za unutrašnja mjerenja	$\pm (0.9 - 1.1) \mu\text{m}$

3. ISPITIVANJE Odstupanja POKAZIVANJA SPOLJNIH MJERA

3.1. Opis postupka ispitivanja

Ispitivanje odstupanja pokazivanja, mjernog područja 0 do 100 mm univerzalne mjerne mašine ULM 01 – 600C izvedeno je direktnim upoređivanjem pokazivanja uređaja sa paralelnim graničnim mjerka stepena tačnosti K, nazivnih dužina 2,5; 5;10;15;20; 25; 50; 75 i 100 mm. Svako poređenje pokazivanja uređaja sa paralelnom graničnom mjerkom je izvedeno sa 25 ponovljenih mjerenja, i izračunavana je srednja vrijednost odstupanja pokazivanja i procijenjeno standardno odstupanje.

Prije ispitivanja, univerzalna mjerna mašina i paralelne granične mjerke su bile 24 sata u propisanim i kontroliranim nominalnim uslovima laboratorije. Temperature mjerki i univerzalne mjerne mašine su za vrijeme ispitivanja stalno mjerene kontaktnim termometrima i kretale su se u granicama $t_s = 20.0 \text{ }^\circ\text{C} - 20.5 \text{ }^\circ\text{C}$ i $t_g = 20.5 \text{ }^\circ\text{C} - 21 \text{ }^\circ\text{C}$. Temperatura laboratorija za vrijeme ispitivanja je varirala u granicama $20.0 \text{ }^\circ\text{C} - 20.5 \text{ }^\circ\text{C}$, dok je relativna vlažnost laboratorija iznosila 43 % i 60%.

3.2. Matematski opis postupka ispitivanja

Matematski model kojim opisujemo direktno upoređivanje pokazivanja uređaja sa graničnom mjerkom:

$$f = l_x - l_s + \delta t + \delta_F + U_A \quad (1)$$

f - odstupanje pokazivanja

l_x - pokazivanje uređaja

l_s - dužina referentne granične mjerke pri referentnoj temperaturi (podatak iz certifikata)

δt - korekcija uslovljena odstupanjem temperature od referentne temperature 20°C

δ_F - korekcija uslovljena mjernom silom

l_n - nazivna dužina paralelne granične mjerke

U_A - komponenta nesigurnosti uslovljena ograničenom rezolucijom pokazivanja uređaja

Korekcija uslovljena odstupanjem temperature od 20°C:

$$\delta t = l_n \alpha_s (t_s - 20) - l_n \alpha_g (t_g - 20) \quad (2)$$

α_s i α_g - koeficijenti termičkog izduženja mjerke i uređaja

t_s i t_g - temperature mjerke i uređaja

Deformacija uslijed djelovanja mjerne sile za mjerne pipke sa sfernom mjernom površinom:

$$\delta_F = 0,4153 \sqrt{\frac{F^2}{d}} \quad (3)$$

F - mjerna sila

d - prečnik sferne zone mjernih pipaka

Jednačinu (1) možemo prikazati kao funkciju ulaznih veličina :

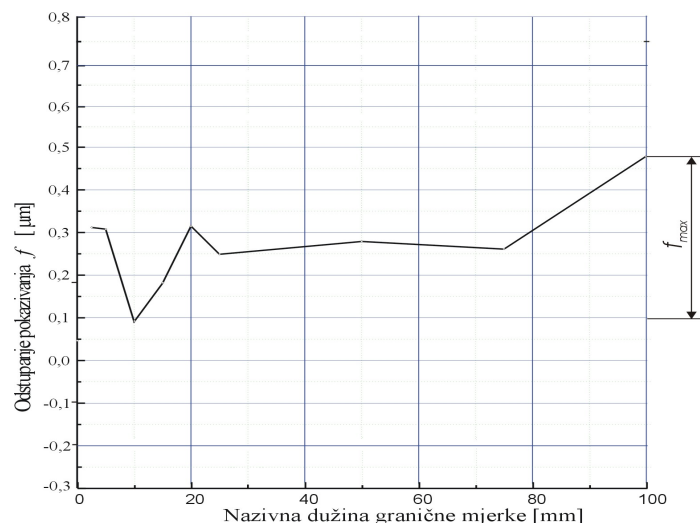
$$f = F(l_x, l_s, \alpha_s, \alpha_g, t_s, t_g, F, d, U_A) \quad (4)$$

4. PRIKAZ REZULTATA ISPITIVANJA

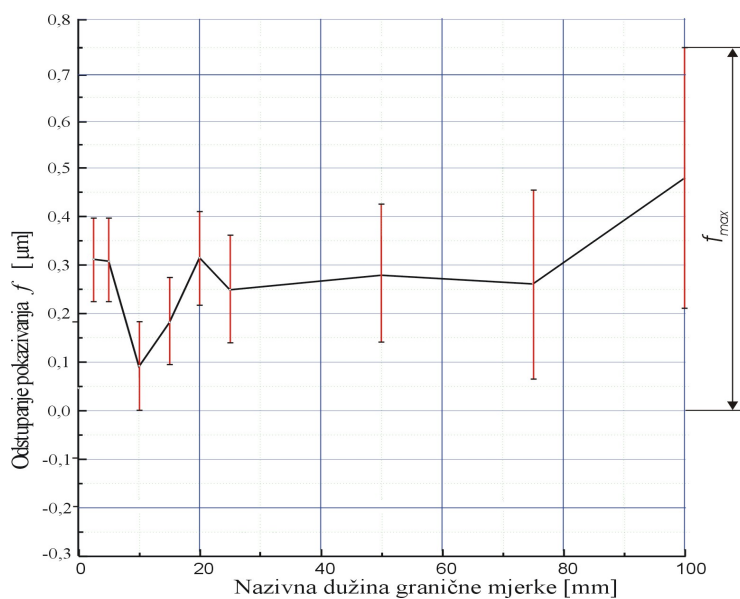
Rezultati direktnog poređenja pokazivanja ULM 01 - 600C su prikazani u tabeli 2.

TABELA 2: TABELARNI PRIKAZ REZULTATA ISPITIVANJA.

Nazivna dužina mjerke mm	Dužina mjerki po certifikatu mm	Srednja vrijednost mjerenja mm	Odstupanje pokazivanja f mm	Standardno odstupanje mm	Proširena mjerna nesigurnost U mm
2.5	2.50003	2.500064	$0.312 \cdot 10^{-3}$	$0.049 \cdot 10^{-3}$	$0.081 \cdot 10^{-3}$
5	4.99995	4.999988	$0.308 \cdot 10^{-3}$	$0.07 \cdot 10^{-3}$	$0.085 \cdot 10^{-3}$
10	9.99999	9.999864	$0.091 \cdot 10^{-3}$	$0.064 \cdot 10^{-3}$	$0.088 \cdot 10^{-3}$
15	14.99995	14.99993	$0.181 \cdot 10^{-3}$	$0.061 \cdot 10^{-3}$	$0.092 \cdot 10^{-3}$
20	20.00003	20.00017	$0.315 \cdot 10^{-3}$	$0.061 \cdot 10^{-3}$	$0.098 \cdot 10^{-3}$
25	25.00000	25.00009	$0.249 \cdot 10^{-3}$	$0.06 \cdot 10^{-3}$	$0.115 \cdot 10^{-3}$
50	49.99997	50.00029	$0.279 \cdot 10^{-3}$	$0.064 \cdot 10^{-3}$	$0.143 \cdot 10^{-3}$
75	74.99996	75.00032	$0.261 \cdot 10^{-3}$	$0.11 \cdot 10^{-3}$	$0.194 \cdot 10^{-3}$
100	99.99985	100.00002	$0.479 \cdot 10^{-3}$	$0.12 \cdot 10^{-3}$	$0.271 \cdot 10^{-3}$

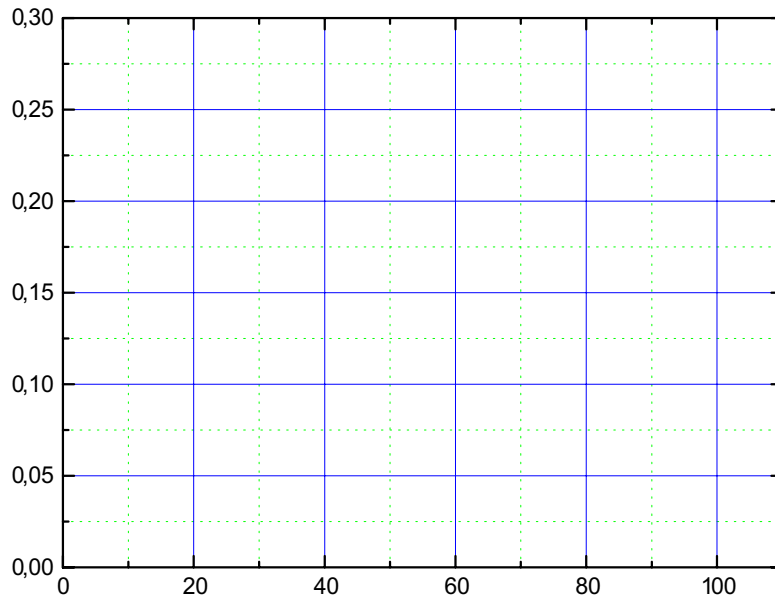


SLIKA 2. PRIKAZ ODSUPANJA POKAZIVANJA UNIVERZALNE MJERNE MAŠINE ULM 01-600C BEZ PRIDRUŽENIH PODATAKA O MJERNOJ NESIGURNOSTI.



SLIKA 3. PRIKAZ ODSUPANJA POKAZIVANJA UNIVERZALNE MJERNE MAŠINE ULM 01-600C SA PRIDRUŽENIM PODACIMA O MJERNOJ NESIGURNOSTI.

Na osnovu obrađenih podataka dobijenih kalibracijom (slika 3), maksimalno odstupanje pokazivanja je $f_{\text{max}} = 0.75 \mu\text{m}$. Na osnovu ovoga granična greška univerzalne mjerne mašine ULM 01-600C za područje 0 – 100 mm je $0; +0.75 \mu\text{m}$.



SLIKA 4. ZAVISNOST MJERNE NESIGURNOSTI OD DUŽINE GRANIČNE MJERKE.

Iz dijagrama (slika 4) metodom linearne regresije proizilazi da je mjerna nesigurnost univerzalne mjerne mašine ULM 01 – 600C za direktna mjerenja spoljnih mjera do 100 mm sa nivoom povjerenja 95%:

$$U = \pm (0.07 + 2 \cdot 10^{-3}L) \mu\text{m} ; L \text{ u mm}$$

5. ZAKLJUČAK

Na bazi teoretskih osnova o mjernoj nesigurnosti i sprovedenih eksperimentalnih istraživanja, mogu se izvesti slijedeći zaključci :

1. Mjerna nesigurnost univerzalne mjerne mašine $U = \pm (0.07 + 2 \cdot 10^{-3} L) \mu\text{m}$ je izvedena u skladu sa GUM (Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement) - Leitfaden zur Angabe der Unsicherheit beim Messen, DIN 1995, VDA 5 (Qualitätsmanagement in Automobileindustrie), EA – 4/02 (Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibration), EA – 4/02 – S1 (Supplement 1 to EA – 4/02) i EA – 4/02 – S2 (Supplement 2 to EA – 4/02) i iz slijedećih nesigurnosti :
 - nesigurnosti kalibracije paralelnih graničnih mjerki
 - nesigurnosti ponovljivosti pokazivanja uređaja
 - nesigurnosti rezolucije indikatorske jedinice
 - nesigurnosti temperatura mjerki i mašine, koeficijenata termičkog izduženja mjerki i mašine kao i nesigurnosti deformacije od mjerne sile
2. Iz navedenih rezultata kalibracije proizilazi da univerzalna mjerna mašina ULM 01 – 600C ima pozitivno sistematsko odstupanje pokazivanja. Dio tog odstupanja može biti zbog greške uzrokovane odstupanjem položaja osa mjerne i oslone pinole kao i zbog greške traženja minimalne mjere (prekretne tačke). Naknadnim istraživanjima će se odrediti odstupanje položaja osa mjerne i oslone pinole i procjeniti greška traženja

minimalne mjere. Mjerne rezultate je tada jednostavno korigovati, kao i doprinose ovih nesigurnosti unijeti u budžet nesigurnosti. Sa ovim komponentama nesigurnosti, kombinovane standardne nesigurnost kao i proširene nesigurnosti pridružene rezultatima kalibracije bi bile veće.

3. Deklarisana mjerna nesigurnost proizvođača za spoljna mjerenja, mjernog područja 0 – 600 mm je $U = \pm (0.7 - 0.9) \mu\text{m}$. Da bi mogli uporediti izračunatu mjernu nesigurnost sa deklarisanom potrebno je uraditi kalibraciju mjerne mašine za cijelokupno mjerno područje, kao i istražiti ove dvije preostale komponente nesigurnosti. U cilju smanjenja uticaja mjeritelja na rezultate mjerenja, VDA 5 norme Š8Č preporučuju ponavljanje postupka mjerenja sa najmanje tri mjeritelja i računanjem sa srednjom vrijednošću, što je u ovakvim poslovima sasvim uobičajno.

6. LITERATURA:

- [1] Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement, ISO, Geneva, 1995
- [2] Leitfaden für die Angabe der Unsicherheit beim Messen, DIN, Beuth Verlag GmbH, Berlin – Wien – Zürich, 1995
- [3] EA – 4/02 – Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibration, European cooperation for Accreditation of Laboratories, Utrecht, The Netherlands, 1996
- [4] EA – 4/02 – S1 Supplement 1 to EA – 4/02, European cooperation for Accreditation, Utrecht, The Netherlands, 1997
- [5] EA – 4/02 – S2 Supplement 1 to EA – 4/02, European cooperation for Accreditation, Utrecht, The Netherlands, 1998
- [6] ISO/IEC 17025 General requirements for the Competence of testing and calibration laboratories, 1999
- [7] DIN EN 45001 Allgemeine Kriterien zum Betreiben von Prüflaboratorien, DIN, 1990
- [8] VDA 5 Qualitätsmanagement in Automobilindustrie Prüfprozeßsignung, 2000
- [9] ISO 3650 Gauges blocks; terms and definition, technical requirements, measurements, 1978
- [10] DIN 861 Teil 1 Parallelendmaße, Begriffe, Anforderungen, Prüfung, 1980
- [11] H.J.Warnecke, W. Dutsche, Fertigungsmeßtechnik, Berlin Heidelberg New York Tokyo, 1984