

**UTICAJ NESIGURNOSTI VEZANE ZA PRENOSNI ETALON NA
PROŠIRENU MJERNU NESIGURNOST KOD KALIBRACIJE
UREĐAJA ZA MJERENJE SILE**

**INFLUENCE OF UNCERTAINTY RELATED TO TRANSFER
STANDARD ON EXPANDED MEASUREMENT UNCERTAINTY
DURING CALIBRATION OF FORCE-MEASURING DEVICE**

Alma Čelebić-Malkić

Sinha Korlat-Mahmić

Branka Muminović

**University of Zenica, Institute of Metallurgy "Kemal Kapetanović"
Bosnia and Herzegovina**

REZIME

Mehanički kalibracioni laboratorij je akreditiran za kalibraciju uređaja za mjerenje sile (EN ISO 7500-1) od strane Instituta za akreditiranje BiH i Norveškog akreditacionog organa prema standardu EN ISO/IEC 17025. Jedan od bitnih doprinosa kombinovanoj, odnosno proširenoj mjernoj nesigurnosti kod kalibracije ispitnih uređaja je procijenjena nesigurnost vezana za prenosni etalon. U ovom radu će biti prezentirana procijenjena nesigurnost kalibracije etalona i nesigurnost zbog drifta uzrokovanog osjetljivošću etalona koji zajedno daju nesigurnost vezanu za prenosni etalon.

Ključne riječi: kalibracija, prenosni etalon, mjerna nesigurnost, drift

SUMMARY

Mechanical calibration laboratory of the Institute is accredited by the Institute for Accreditation of BiH and the Norwegian accreditation body according to standard EN ISO/IEC 17025 for calibration equipment for force measurement (EN ISO 7500-1). Very important contribution to combined, and expanded measurement uncertainty during calibration of testing machines is the estimated uncertainty related to transfer standard. In this paper, estimated uncertainty of the calibration standard and uncertainty due to drift caused by the sensitivity of standard that together give the uncertainty related to the transfer standard are presented.

Keywords: calibration, transfer standard, measurement uncertainty, drift

1. UVOD

Mjerna nesigurnost je parametar pridružen rezultatu mjerenja koji opisuje rasipanje vrijednosti, a koji bi se opravdano mogao pripisati mjernoj veličini. Ovaj parametar može biti, na primjer standardna devijacija (ili mnogo njih), ili polu-širina intervala koji ima izražen nivo sigurnosti. Nepreciznost mjerenja uključuje mnoge komponente. Neke od tih komponenata mogu se procijeniti u statističkoj distribuciji rezultata ili seriji mjerenja i mogu biti označene kao eksperimentalne standardne devijacije. Ostale komponente, koje takođe mogu biti označene standardnom devijacijom su bazirane na iskustvu iz drugih slučajeva.

Standardna nesigurnost je nepreciznost rezultata mjerenja izražena kao standardna devijacija. Kombinovana standardna nesigurnost je standardna nepreciznost rezultata mjerenja, kada je taj rezultat dobijen iz rezultata mnogih drugih vrijednosti. On je jednak pozitivnom kvadratnom korijenu sume rezultata, koji su kovarijante onih ostalih procijenjenih veličina, a koji pokazuju kako je mjerni rezultat varirao sa promjenama u ovim veličinama.

Proširena nesigurnost je veličina koja određuje interval oko rezultata za koji se može očekivati da uključi dio raspodjele vrijednosti, koje mogu opravdano biti pripisane mjernoj veličini. Da bi se spojio specifičan nivo sigurnosti sa intervalom definiranim pomoću proširene nesigurnosti traži se eksplicitna ili implicitna pretpostavka karakterizirana pomoću mjernog rezultata i njegove kombinovane standardne nesigurnosti. Nivo sigurnosti koji može biti određen za ovaj interval može biti poznat samo do tog opsega do kojeg se ova pretpostavka može opravdati [1].

2. PROCEDURA KALIBRACIJE

Mehanički kalibracioni laboratorij Metalurškog instituta je akreditovan za kalibraciju uređaja za mjerenje sile u skladu sa standardom EN ISO 7500-1. Za kalibraciju uređaja se koristi pojačivački sistem MGCplus u mjernom lancu sa prenosnim etalonima sile koji se redovno rekaliбриšu prema standardu ISO 376 u akreditovanim i nacionalnim laboratorijama van granica Bosne i Hercegovine.

Kalibracija se izvodi na temperaturi od 10 do 35⁰C i obavezno se zapisuje u certifikat/izvještaj o kalibraciji. U toku kalibracije mora se osigurati stalnost temperature u granicama $\pm 2^0$ C. Ako ovaj uslov nije zadovoljen primjenjuje se korekcionni faktor u skladu sa ISO 376. Kalibracija se vrši za svako mjerno područje mašine odvojeno. Ako se za kalibraciju jednog mjernog područja mora koristiti više etalona, maksimalna sila primjenjena na etalonu manjeg mjernog područja mora biti ista kao i minimalna sila primjenjena na slijedećem etalonu većeg mjernog područja uz zadovoljene uslove u skladu sa standardom EN ISO 7500-1. Kalibracija se može realizovati sa konstantnom primjenjenom silom ili konstantnom etalonskom silom. Primjenjeni etaloni za kalibraciju moraju biti bolje ili iste klase kao i uređaj koji se kalibriše. Rezolucija analogne skale «r» uređaja koji se kalibriše dobiva se kao odnos između debljine kazaljke/pointera i rastojanja između centara susjednih (međusobno najbližih) gradacija skale (interval skale). Preporučeni odnosi su 1/2, 1/5 ili 1/10. Rezolucija digitalne skale se uzima kao skok (porast) broja na numeričkom indikatoru/pokazivaču pod uvjetom da, kada motor i kontrolni sistemi rasterećenog uređaja rade, fluktuiranje vrijednosti na numeričkom indikatoru/pokazivaču nije veće od jednog porasta. U suprotnom, rezoluciji «r» treba dodati polovinu intervala fluktiranja. Naprimjer, ako je na numeričkom pokazivaču u jednom momentu prikazano 9,54 kN, a slijedeće pokazivanje je dalo 9,64 kN, znači da je porast bio za 0,1 kN, pa je rezolucija takve skale 0,1 kN, pod uslovom da je porast od 0,1 kN stalan i fluktuiranje u rasterećenom stanju nije veće od 0,1 kN. Rezolucija skale se izražava u jedinici sile ili u jedinici one veličine u kojoj je ta skala data. Etalon, koji se koristi za kalibraciju, se pozicionira u uređaj koji se kalibriše i optereti najmanje tri puta od nule na skali uređaja do maksimalne sile datog mjernog područja. Tri serije mjerenja trebaju biti urađene sa povećanjem sile u najmanje pet mjernih tačaka ravnomjerno raspoređenih po mjernom području. Kod svakog mjerenja etalon se, u uređaju koji se kalibriše, rotira za 120⁰ i 240⁰, ili 180⁰ i 360⁰ kako to zahtijeva konstrukcija samog uređaja. Za prvu mjernu tačku uzima se 20 % a za zadnju 100 % vrijednosti mjernog područja. Ako se za mjerenje koriste sile ispod 20 % mjernog područja mogu se dodatno kalibrirati tačke koje odgovaraju 10%; 5%; 2,5; 1%; 0,5; 0,2% i 0,1% vrijednosti mjernog područja, ako naravno, za takve vrijednosti uređaj zadovolji rezolucijom skale. Za svaku kalibracionu tačku računa se aritmetička srednja vrijednost sile dobijene od tri serije mjerenja. Na osnovu ovih vrijednosti računaju se relativne greške tačnosti i ponovljivosti uređaja [2].

3. PROCIJENJENE NESIGURNOSTI KOD KALIBRACIJE UREĐAJA ZA MJERENJE SILE

3.1. Proračun nesigurnosti

Kalibraciona nesigurnost uređaja za mjerenje sile se računa kako slijedi [3]:

$$U = k \cdot u_c = k \cdot \sqrt{u_{rep}^2 + u_{res}^2 + u_{ze}^2 + u_{std}^2} \quad \dots(1)$$

gdje je:

- U - proširena mjerna nesigurnost
- u_c - kombinovana mjerna nesigurnost
- k - koeficijent (faktor) pokrivanja
- u_{ze} - nesigurnost nule
- u_{rep} - nesigurnost vezana za ponovljivost
- u_{res} - nesigurnost vezana za relativnu rezoluciju
- u_{std} - nesigurnost vezana za prenosni etalon

3.2. Nesigurnost vezana za prenosni etalon

Standardana nesigurnost vezana za prenosni etalon (u_{std}) je data jednačinom:

$$u_{std} = \sqrt{u_{cal}^2 + u_{drift}^2 + u_{temp}^2} \quad \dots(2)$$

gdje je:

- u_{cal} - nesigurnost kalibracije etalona
- u_{drift} - nesigurnost zbog drifta uzrokovanog osjetljivošću etalona
- u_{temp} - nesigurnost zbog uticaja temperature

(Ova nesigurnost se može zanemariti jer prenosni etaloni Mehaničkog laboratorija posjeduju temperaturnu kompenzaciju)

3.2.1. Nesigurnost kalibracije etalona

U certifikatu o kalibraciji korištenog prenosnog etalona navodi se odgovarajuća proširena mjerna nesigurnost (U_{cal}) i koeficijent pokrivanja (k). Standardana nesigurnost kalibracije etalona se računa prema slijedećoj jednačini:

$$u_{cal} = \frac{U_{cal}}{k} \quad \dots(3)$$

3.2.2. Nesigurnost zbog drifta uzrokovanog osjetljivošću etalona

Drift je postepeno pogoršavanje datih očitavanja instrumenata tokom vremena. To se često odnosi na odstupanje mjernog instrumenta pri čemu instrument pokazuje neku vrijednost, a trebao bi da pokazuje nulu. Kad nije moguće korigovati nule ili ta korekcija nije izvršena, njena maksimalno procijenjena vrijednost treba biti uvrštena kao nesigurnost mjerenja.

Drift se računa prema jednačini:

$$d = \frac{X_{last} - X_{prev}}{X_{prev}} \cdot 100 \quad \dots(4)$$

gdje je

- X_{last} - srednja vrijednost očitavanja, za odgovarajuću silu, koje je dobiveno pri posljednjoj kalibraciji prenosnog etalona

X_{prev} -srednja vrijednost očitavanja, za odgovarajuću silu, koje je dobiveno pri prethodnoj kalibraciji prenosnog etalona

U slučaju pravougaone raspodjele standardana nesigurnost zbog drifta prenosnog etalona je

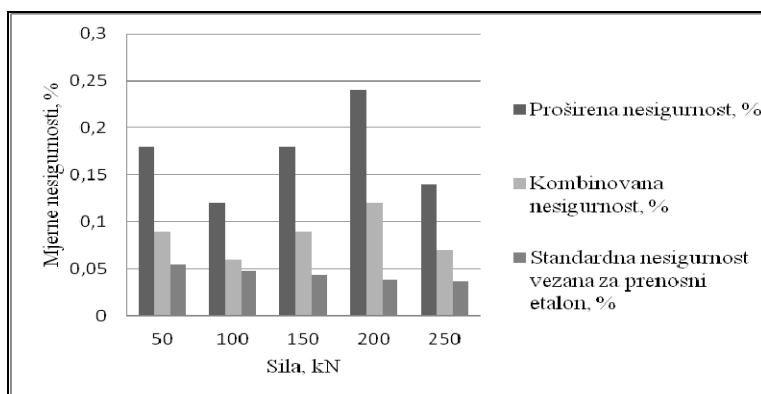
$$u_{drift} = \frac{d}{2\sqrt{3}} \quad \dots(5)$$

4. ANALIZA PROCIJENJENIH NESIGURNOSTI KOD KALIBRACIJE UREĐAJA ZA MJERENJE SILE

U ovom primjeru će biti prezentiran uticaj nesigurnosti vezane za prenosni etalon na kombinovanu, odnosno proširenu mjernu nesigurnost kod kalibracije uređaja koje je realizovao Mehanički laboratorij Metalurškog instituta. Za kalibraciju ovih uređaja korišten je etalon od 500 kN – područje pritiska.

Tabela 1. Procijenjene mjerne nesigurnosti -presa za ispitivanje čvrstoće betonskih uzoraka

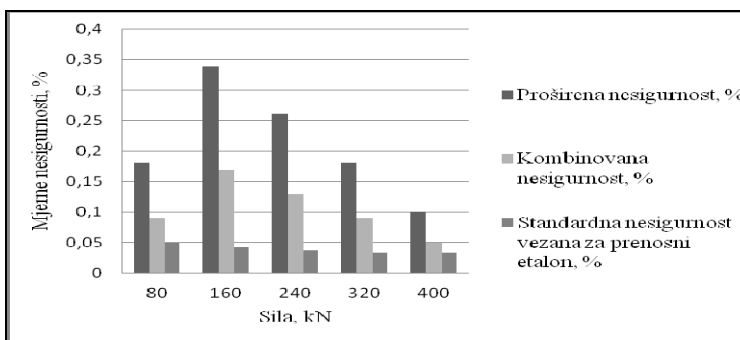
Sila (kN)	Standardne nesigurnosti vezane za					Kombinovana nesigurnost u_c (%)	Faktor prek. k	Proširena nesigurnost U (%)
	ponov. u_{rep} (%)	rez. u_{res} (%)	prenosni etalon (u_{std})					
			u_{cal} (%)	u_{drift} (%)	u_{std} (%)			
50	0,067	0,006	0,033	-0,043	0,054	0,09	2	0,18
100	0,037	0,003	0,033	-0,035	0,048	0,06		0,12
150	0,075	0,002	0,033	-0,027	0,043	0,09		0,18
200	0,108	0,001	0,033	-0,021	0,039	0,12		0,24
250	0,053	0,001	0,033	-0,016	0,037	0,07		0,14



Slika 1. Prikaz uticaja standardne nesigurnosti vezane za prenosni etalon na kombinovanu, odnosno proširenu mjernu nesigurnost prese za ispitivanje čvrstoće betonskih uzoraka

Tabela 2. Procijenjene mjerne nesigurnosti - univerzalna presa od 400 kN

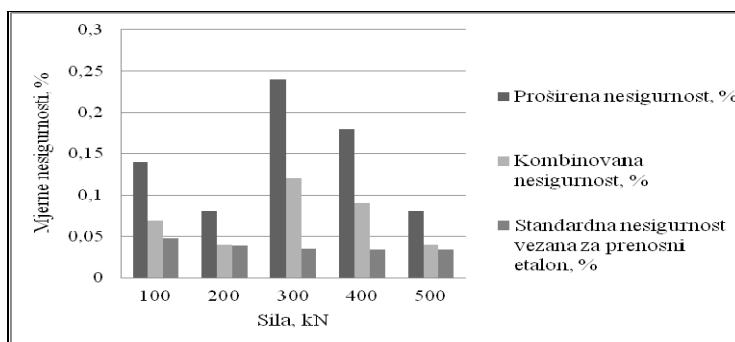
Sila (kN)	Standardne nesigurnosti vezane za					Kombinovana nesigurnost u_c (%)	Faktor prek. k	Proširena nesigurnost U (%)
	ponov. u_{rep} (%)	rez. u_{res} (%)	prenosni etalon (u_{std})					
			u_{cal} (%)	u_{drift} (%)	u_{std} (%)			
80	0,000	0,072	0,033	-0,038	0,050	0,09	2	0,18
160	0,157	0,036	0,033	-0,026	0,042	0,17		0,34
240	0,126	0,024	0,033	-0,017	0,037	0,13		0,26
320	0,081	0,018	0,033	-0,010	0,034	0,09		0,18
400	0,037	0,014	0,033	-0,007	0,034	0,05		0,10



Slika 2. Prikaz uticaja standardne nesigurnosti vezane za prenosni etalon na kombinovanu, odnosno proširenu mjernu nesigurnost univerzalne prese od 400 kN

Tabela 3. Procijenjene mjerne nesigurnosti – hidraulična presa od 500 kN

Sila (kN)	Standardne nesigurnosti vezane za					Kombinovana nesigurnost u_c (%)	Faktor prek. k	Proširena nesigurnost U (%)
	ponov. u_{rep} (%)	rez. u_{res} (%)	prenosni etalon (u_{std})					
			u_{cal} (%)	u_{drift} (%)	u_{std} (%)			
100	0,033	0,029	0,033	-0,035	0,048	0,07	2	0,14
200	0,000	0,014	0,033	-0,021	0,039	0,04		0,08
300	0,111	0,010	0,033	-0,011	0,035	0,12		0,24
400	0,082	0,007	0,033	-0,007	0,034	0,09		0,18
500	0,020	0,006	0,033	-0,007	0,034	0,04		0,08



Slika 3. Prikaz uticaja standardne nesigurnosti vezane za prenosni etalon na kombinovanu, odnosno proširenu mjernu nesigurnost hidraulične prese od 500 kN

5. ZAKLJUČAK

Iz tabela 1, 2 i 3 i sa slika 1, 2 i 3 jasno je da je najveća procijenjena nesigurnost vezana za prenosni etalon (u_{std}) na prvoj kalibracionoj tački, odnosno na 20 % nominalnog područja sile. Sa povećanjem sile ovaj doprinos se smanjuje. Ako se procentualno iskaže ovaj doprinos on se kreće od 48 % kod kalibracije hidraulične prese od 500 kN, 40 % kod prese za ispitivanje čvrstoće betonskih uzoraka i 34 % kod univerzalne prese od 400 kN za prvu kalibracionu tačku, odnosno 12 % kod univerzalne prese od 400 kN, 14 % kod hidraulične prese od 500 kN i 16 % kod prese za ispitivanje čvrstoće betonskih uzoraka na posljednjoj kalibracionoj tački.

6. LITERATURA

- [1] EA-4/02 Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibration, April 1997.
- [2] BAS EN ISO 7500-1/2005 Metallic materials-Verification of static uniaxial testing machines-Part 1: Tension/compression testing machines-Verifications and calibration of the force-measuring system
- [3] EURAMET/cg-04/v.01: Uncertainty of Force Measurements, 2011.
- [4] ISO Guide to the expression of Uncertainty in Measurement, 1993.