

**PROCJENA KALIBRACIONE I MJERITELJSKE SPOSOBNOSTI
MEHANIČKOG KALIBRACIONOG LABORATORIJA**

**ESTIMATION OF THE CALIBRATION MEASUREMENT
CAPABILITY OF MECHANICAL CALIBRATION LABORATORY**

Mr. sc. Branka Muminović, dipl. inž.
Univerzitet u Zenici, Metalurški institut „Kemal Kapetanović“
Travnička cesta 7, 72 000 Zenica, BiH

Prof. dr. Mirsada Oruč, dipl. inž. **Doc. dr. Almaida Gigović-Gekić, dipl. inž.**
Doc. dr. Raza Sunulahpašić, dipl. inž.
Univerzitet u Zenici, Fakultet za metalurgiju i materijale,
Travnička cesta 1, 72 000 Zenica, BiH

Ključne riječi: kalibracija, kalibraciona i mjeriteljska sposobnost, prenosni etalon

REZIME

Kalibraciona i mjeriteljska sposobnost – CMC definiše se kao najmanja mjerna nesigurnost koju laboratorij može postići u okviru svog ovlaštenja kada provodi više ili manje svakodnevnu kalibraciju gotovo idealnih mjernih etalona čija je svrha definisati, ostvarivati, čuvati ili obnavljati jedinicu te veličine ili jednu ili više njenih vrijednosti ili kada provodi više ili manje svakodnevnu kalibraciju gotovo idealnih mjerila oblikovanih za mjerenje te veličine. Procjena kalibracione i mjeriteljske sposobnosti laboratorija ovlaštenih za kalibraciju, temelji se na metodi opisanoj u dokumentu EA-4/02 i potvrđuje se eksperimentom [1]. Ovlašteni kalibracioni laboratorij CMC postižu u redovnom radu a u skladu sa svojim ovlaštenjima. Prilikom prikazivanja CMC laboratorija prekrivanje mjernih područja prenosnih etalona ima uticaj na CMC. Kako su u ovom radu obrađena dva prenosna etalona, MGCplus-Z4/200 kN, kalibrisan u mjernom području od 20 kN do 200 i prenosni etalon MGCplus-Z4/500 kN, kalibrisan u mjernom području od 50 kN do 500, određen je CMC za mjerno područje od 20 kN do 500 kN.

Keywords: calibration, calibration measurement capability, the transmission standard

SUMMARY

The calibration measurement capability - CMC is defined as the smallest uncertainty that a laboratory can achieve within its powers when carried out more or less daily calibration of nearly ideal measurement standards intended to define, generate, keep or renew units of that size, or one or more of its value, or when carried out more or less daily calibration of nearly ideal measuring instruments designed for the measurement of its size. Estimation of calibration measurement capabilities of laboratories authorized for calibration, based on the method described in the document EA-4/02, and is confirmed by experiment [1]. The authorized calibration laboratory CMC achieved in regular operation in accordance with its mandate. When displaying CMC laboratories covering measuring ranges of transmission standards have an impact on the CMC. Since in this paper

covers two transmission standards, MGCplus-Z4/200 kN, calibrated measuring range from 20 kN to 200 kN and the transmission standard MGCplus-Z4/500 kN, calibrated measuring range from 50 kN to 500 kN, determined by the CMC for measuring range from 20 kN to 500 kN.

1. UVOD

Kalibraciona i mjeriteljska sposobnost - CMC laboratorija mora se dokazati eksperimentom. Važno je napomenuti da CMC ne smije zavisiti od tehničkih karakteristika ispitne mašine koja se koristi za eksperiment, odnosno, eksperiment treba biti proveden na ispitnoj mašini čije su tehničke nesavršenosti dovedene na najmanju moguću mjeru. Procjenu CMC-a laboratorij može provjeriti učešćem u međulaboratorijskim poređenjima (ILC) ili kroz provjeru osposobljenosti (PT).

Kod realizacije usluga kupcima kalibracioni laboratorij, u okviru svog ovlaštenja, ne smije dati mjernu nesigurnost manju od CMC. CMC se iskazuje kao proširena mjerna nesigurnost sa faktorom prekrivanja $k=2$ i data je u području akreditacije laboratorija te je preko web stranica akreditacionih tijela dostupan kupcima usluga kalibracije.

CMC se iskazuje brojčano i u certifikatu o kalibraciji treba se navesti da li se radi o apsolutnom ili relativnom iznosu.

2. PROCEDURA ZA PROCJENU CMC

Ne postoji evropski ili međunarodni dokument koji definiše proceduru za procjenu CMC-a laboratorija, ali s obzirom na znanje vezano za sljedivost mjerenja i na samu definiciju CMC-a, može se postaviti matematički model za određivanje CMC-a za specificirano područje sile. CMC svakako mora uključiti vrijednost nesigurnosti prenosnog etalona koja u sebi uključuje sve nesigurnosti do primarnog, odnosno nacionalnog etalona sile, dugoročnu nestabilnost prenosnog etalona koja se ne uzima u obzir kod procjene mjerne nesigurnosti prilikom njegove kalibracije i doprinose koji proizilaze iz eksperimenta, odnosno iz rezultata kalibracije ispitne mašine.

Matematički model za procjenu CMC-a uključuje slijedeće [2]:

1. Procjenu kombinovane nesigurnosti vezane za prenosni etalon, u_{cpet} i to:
 - procjena standardne nesigurnosti prenosnog etalona sile za specificirano mjerno područje sile, u_{cal} ,
 - procjena standardne nesigurnosti zbog dugoročne nestabilnosti prenosnog etalona, u_{drift} ,
 - procjena standardne nesigurnosti zbog uticaja temperature, u_{temp} .
2. Izvođenje eksperimenta – kalibracija ispitne mašine za silu;
3. Određivanje relativnih grešaka procijenjenih iz rezultata kalibracije ispitne mašine i procjena pripadajućih standardnih nesigurnosti koje se odnose na ponovljivost u_{rep} , rezoluciju u_{res} , histerezu u_v i nulu u_{fo} ;
4. Određivanje standardne kombinovane nesigurnosti, u_c ;
5. Određivanje proširene nesigurnosti U koja predstavlja CMC laboratorija.

2.1. Procjena kombinovane nesigurnosti vezane za prenosni etalon, u_{cpet}

Kombinovana nesigurnost vezana za prenosni etalon data je jednačinom [3]:

$$u_{cpet} = \sqrt{u_{cal}^2 + u_{drift}^2 + u_{temp}^2} \quad \dots(1)$$

Standardna nesigurnost prenosnog etalona temelji se na tipu B nesigurnosti i preuzima se iz certifikata o kalibraciji gdje je izražena kao proširena mjerna nesigurnost U ($k=2$, $p=95\%$):

$$u_{cal} = \frac{U}{k} \quad \dots(2)$$

Procjena standardne nesigurnosti zbog dugoročne nestabilnosti prenosnog etalona odnosi se na nesigurnost zbog drifta uzrokovanog osjetljivošću etalona. Drift predstavlja, za isti nivo sile promjenu očitavanja u dvije uzastopne rekalkibracije i računa se prema jednačini:

$$d = \frac{X_{last} - X_{prev}}{X_{last}} \cdot 100 \quad \dots(3)$$

Standardna nesigurnost zbog drifta etalona temelji se na tipu B nesigurnosti i uz pretpostavku pravougaone raspodjele je:

$$u_{drift} = \frac{d}{2 \cdot \sqrt{3}} \quad \dots(4)$$

Standardna nesigurnost zbog uticaja temperature se može zanemariti jer prenosni etaloni sile, tipa opisanih u ovo radu, imaju temperaturnu kompenzaciju.

2.2. Izvođenje eksperimenta – kalibracija ispitne mašine za silu

Kalibracija ispitnih mašina za silu realizuje se prema zahtjevima standarda BAS EN ISO 7500-1:2005 i odnosi se na kalibraciju sistema za mjerenje sile. Kalibracija se provodi na temperaturi od $+10^{\circ}\text{C}$ do $+35^{\circ}\text{C}$ i obavezno se zapisuje u certifikat/izvještaj o kalibraciji. U toku kalibracije mora se osigurati stalnost temperature u granicama $\pm 2^{\circ}\text{C}$ [4]. Ako ovaj uslov nije zadovoljen primjenjuje se korekcionni faktor u skladu sa BAS EN ISO 376:2005 [5]. Kalibracija se vrši za svako mjerno područje mašine odvojeno. Ako se za kalibraciju jednog mjernog područja treba koristiti više prenosnih etalona, maksimalna sila primjenjena na etalonu manjeg mjernog područja mora biti ista kao i minimalna sila primjenjena na slijedećem etalonu većeg mjernog područja. Kalibracija za taj nivo sile realizuje se sa oba prenosna etalona.

Kalibracija se može realizovati na dva načina [4]:

- Konstantna indicirana sila, što znači da se za konstantnu vrijednost uzme vrijednost na mašini koja se kalibriše, a da se vrijednost sa sistema za očitavanje sile prenosnog etalona zapisuje,
- Konstantna stvarna sila, što znači da se vrijednost na sistemu za očitavanje sile uzme kao konstantna, a da se vrijednost koju pokazuje mašina koja se kalibriše zapisuje.

Za svaku odabranu kalibracionu tačku, odnosno za svaki odabrani nivo sile, računa se relativna greška tačnosti.

U slučaju konstantne indicirane sile relativna greška tačnosti se računa prema jednačini:

$$q = \frac{F_i - \bar{F}}{\bar{F}} \cdot 100 \quad \dots(5)$$

U slučaju konstantne stvarne sile relativna greška tačnosti se računa prema jednačini:

$$q = \frac{\bar{F}_i - F}{F} \cdot 100 \quad \dots(6)$$

Primijenjeni etaloni za kalibraciju moraju biti bolje ili iste klase kao i mašina koja se kalibriše. Rezolucija analogne skale, r mašine koja se kalibriše, dobiva se kao odnos između

debljine kazaljke/pointera i rastojanja između centara susjednih gradacija skale (interval skale). 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. Rezolucija skale se izražava u jedinici sile ili u jedinici one veličine u kojoj je ta skala data.

Mjerna ćelija, koja se koristi za kalibraciju, se pozicionira u uređaj koji se kalibriše i optereti najmanje tri puta od nule na skali mašine do maksimalne sile datog mjernog područja. Tri serije mjerenja trebaju biti urađene sa povećanjem sile i jedna sa smanjenjem sile u najmanje pet mjernih tačaka ravnomjerno raspoređenih po mjernom području. Kod svakog mjerenja mjerna ćelija se, u mašini koja se kalibriše, rotira za 120^0 i 240^0 , ili 180^0 i 360^0 u zavisnosti od konstrukcije mašine. Za prvu mjernu tačku uzima se 20 % a za zadnju 100 % vrijednosti mjernog područja ispitne mašine. Ako se za mjerenje koriste sile ispod 20 % mjernog područja, mogu se dodatno kalibrisati tačke koje odgovaraju 10 %; 5 %; 2,5 %; 1 %; 0,5 %; 0,2 % i 0,1 % vrijednosti mjernog područja, ako za takve vrijednosti mašina zadovolji sa rezolucijom skale [4].

2.3. Određivanje relativnih grešaka procijenjenih iz rezultata kalibracije ispitne mašine i procjena pripadajućih nesigurnosti

Standardne nesigurnosti procijenjene iz relativnih grešaka izračunatih iz rezultata mjerenja na ispitnoj mašini su [6]:

- Relativna standardna nesigurnost vezano za ponovljivosti, u_{rep} ,
- Relativna standardna nesigurnost vezano za rezoluciju skale ispitne mašine, u_{res} ,
- Relativna standardna nesigurnost vezano za reverzibilnost ili histerezu, u_v ,
- Relativna standardna nesigurnost vezano za nulu, u_{f_0} .

Relativna standardna nesigurnost vezana za ponovljivost, za svaki primjenjeni nivo sile je standardno odstupanje ocijenjene vrijednosti srednje greške i temelji se na tipu A nesigurnosti. Računa se iz slijedeće jednačine [1]:

$$u_{rep} = \frac{1}{\sqrt{n}} \cdot \left(\frac{100}{F} \cdot \sqrt{\frac{1}{(n-1)} \cdot \sum_{j=1}^n \cdot (F_j - \bar{F})^2} \right) \quad \dots(7)$$

Relativna standardna nesigurnost vezano za rezoluciju skale ispitne mašine temelji se na tipu B nesigurnosti i uz pretpostavku pravougaone raspodjele, računa se prema jednačini [5]:

$$u_{res} = \frac{a}{2 \cdot \sqrt{3}} \quad \dots(8)$$

gdje je a rezolucija skale ispitne mašine i računa se prema jednačini:

$$a = \frac{r}{F} \cdot 100 \quad \dots(9)$$

Relativna standardna nesigurnost vezano za reverzibilnost ili histerezu je doprinos zbog razlike u izmjerenim vrijednostima iste mjerne serije kod povećanja sile i kod smanjenja sile kod pozicije rotacije mjerne ćelije u ispitnoj mašini. Izražava se kao relativna vrijednost, temelji se na tipu B nesigurnosti i uz pretpostavku pravougaone raspodjele računa se iz slijedeće jednačine [6]:

$$u_v = \frac{v}{2 \cdot \sqrt{3}} \quad \dots(10)$$

gdje je ν relativna greška histereze i računa se prema jednačini:

$$\nu = \frac{F'_i - F_i}{F} \cdot 100 \quad \dots(11)$$

Relativna standardna nesigurnost vezano za nulu, je doprinos nesigurnosti koji je rezultat mogućnosti da pokazivanje nule izlazne mjerene vrijednosti varira između mjernih nizova - slijedeće mjerenje izlazne vrijednosti. Ovaj efekat se izražava kao relativna vrijednost, temelji se na tipu B nesigurnosti i uz pretpostavku pravougaone raspodjele računa se iz jednačine [6]:

$$u_{f_0} = \frac{f_0}{2 \cdot \sqrt{3}} \quad \dots(12)$$

gdje je f_0 relativna greška nule koja se računa za svaki mjerni niz prema jednačini:

$$f_0 = \frac{F_{i0}}{F_N} \cdot 100 \quad \dots(13)$$

2.4. Određivanje standardne kombinovane nesigurnosti

Standardna kombinovana nesigurnost predstavlja kvadratni korijen iz sume umnožaka kvadrata standardnih nesigurnosti i kvadrata pripadajućih koeficijenata osjetljivosti [6].

$$u_c = \sqrt{c_{cpet}^2 \cdot u_{cpet}^2 + c_{rep}^2 \cdot u_{rep}^2 + c_{res}^2 \cdot u_{res}^2 + c_v^2 \cdot u_v^2 + c_{f_0}^2 \cdot u_{f_0}^2} \quad \dots(14)$$

Budući da su sve ulazne veličine nezavisne i da su procijenjene iz relativnih odstupanja kao relativne standardne nesigurnosti, odgovarajući koeficijenti osjetljivosti jednaki su 1, pa je standardna kombinovana nesigurnost data jednačinom:

$$u_c = \sqrt{u_{cpet}^2 + u_{rep}^2 + u_{res}^2 + u_v^2 + u_{f_0}^2} \quad \dots(15)$$

2.5. Određivanje proširene nesigurnosti U

Proširena nesigurnost U se računa množenjem vrijednosti kombinovane standardne nesigurnosti u_c sa faktorom pokrivanja $k=2$ za svaki nivo sile unutar kalibracionog područja i može se izraziti kao relativna vrijednost ili u jedinicama sile prema jednačini [6].

$$U = u_c \cdot k \quad \dots(16)$$

Na ovaj način procijenjena proširena mjerna nesigurnost predstavlja CMC laboratorija za specificirano mjerno područje sile.

3. PROCJENA CMC MEHANIČKOG KALIBRACIONOG LABORATORIJA ZA MJERNO PODRUČJE OD 20 kN do 500 kN

Nakon kalibracije prenosnih etalona procijenjene su kombinovane odnosno proširene mjerne nesigurnosti i prenosni etaloni su klasificirani u klasu 1 u skladu sa standardom BAS EN ISO 376:2005. Proširena mjerna nesigurnost prenosnih etalona uzeta je u obzir, kao jedan od doprinosa kod procjene CMC laboratorija. Proširene mjerne nesigurnosti prenosnih etalona u području kalibracije pritiska i zatezanja date su u tabeli 1.

Tabela 1. Proširene mjerne nesigurnosti prenosnih etalona

Prenosni etalon		MGCplus-Z4/200 kN	MGCplus-Z4/500 kN
		od 20 kN do 200 kN	od 50 kN do 500 kN
U, %	Područje pritiska	0,066 - 0,050	0,106 – 0,050
	Područje zatezanja	0,089 - 0,050	0,098 – 0,050

Pored navedenih doprinosa, za procjenu CMC uzeti su i doprinosi procijenjeni kod kalibracije univerzalnih hidrauličnih mašina (kidalica), 20 SZBDA – mjesto područje 200 kN i 50 SZBDA – mjesto područje 500 kN.

Kalibracija kidalica realizovana je u području pritiska i na mjestu instaliranja što je u skladu sa procedurom opisanom u BAS EN ISO 7500-1:2005. Procedura opisana u metodi kalibracije za klasifikaciju provjeravane kidalice bazira se na kalibraciji sistema za mjerenje sile. Budući da su obe kidalice osavremenjene ZWICK modulom i softverom testXpert V 7.1, istovremeno je kalibrisana analogna skala kidalica i pokazivanje softvera.

Tabela 2. opisuje uslove kod kalibracije kidalica 20 SZBDA i 50 SZBDA, osnovne podatke o kidalicama i korištenim prenosnim etalonima za kalibraciju.

Tabela 2. Osnovni parametri kod kalibracije kidalica 20 SZBDA i 50 SZBDA

Uvjeti okoline	t=(21,0-21,5) ^o C			
Kidalica	Prenosni etalon			
Tip	20 SZBDA 50 SZBDA	MGCplus	AB 22 A ML30	
Mjerno područje	20 kN do 200 kN 100 kN do 500 kN	Mjerna ćelija Z4/200 kN Z4/500 kN	Proširena mjerna nesigurnost, %	
Rezolucija			0,050 do 0,066 0,050 do 0,075	
Analogna skala	40 N 100 N	Konekcioni kabal	Dužina	Izvedba/Tehnika spajanja
Softver	1 N		5,85 m 5,90 m	6-žilni/7-polna

Na slici 1. prikazana je pozicionirana mjerna ćelija u toku kalibracije.



Slika 1. Pozicionirana mjerna ćelija u kidalici

U tabeli 3. prikazani su rezultati kalibracije analogne skale kidalica 20 SZBDA i 50 SZBDA i relativne greške procijenjene prema jednačinama datim u tački 2.3., u mjernom području od 20 kN do 200 kN za kidalicu 20 SZBDA i 100 kN do 500 kN za kidalicu 50 SZBDA.

Tabela 3. Rezultati kalibracije analogne skale kidalica 20 SZBDA i 50 SZBDA

Stvarno	Opterećenje, kN					Relativne greške, %			
	Indicirano na analognoj skali					q	b'	v	res
	0°		120°	240°					
	Bez kazaljke	Sa kazaljkom							
20	20,00	20,02	20,03	20,00	20,03	0,10	0,15	0,15	0,20
40	40,08	40,05	40,07	40,10	40,15	0,18	0,13	0,12	0,10
80	80,45	80,40	80,55	80,45	80,50	0,59	0,19	0,06	0,05
120	120,60	120,55	120,75	120,65	120,74	0,54	0,17	0,07	0,03
160	160,60	160,80	161,05	160,85	160,95	0,56	0,28	0,06	0,03
200	200,70	200,85	201,10	200,80	200,80	0,46	0,20	0,00	0,02
100	100,60	100,50	100,50	100,60	100,70	0,50	0,10	0,10	0,10
200	201,00	200,80	200,90	200,80	200,90	0,40	0,10	0,05	0,05
300	301,00	300,60	300,90	300,80	300,90	0,27	0,13	0,03	0,03
400	400,60	400,50	400,70	400,40	400,60	0,13	0,08	0,05	0,03
500	499,40	499,20	499,80	499,30	499,30	-0,12	0,12	0,00	0,02

Od relativnih grešaka procijenjenih iz rezultata kalibracije analogne skale, procijenjene su pripadajuće standardne nesigurnosti koje se odnose na ponovljivost, povratnost i rezoluciju analogne skale. Vrijednosti standardnih nesigurnosti procijenjenih iz rezultata kalibracije analogne skale date su u tabeli 4. U tabeli je data i standardna nesigurnost prenosnog etalona koji se koristio za kalibraciju analogne skale kidalice. Na bazi svih standardnih nesigurnosti, a prema jednačini 15. izračunata je kombinovana nesigurnost. Proširena mjerna nesigurnost odgovara standardnoj mjerne nesigurnosti koja je pomnožena sa faktorom prekrivanja $k=2$, koji za normalnu raspodjelu odgovara nivou povjerenja od približno 95 %.

Tabela 4. Procijenjene standardne, kombinovana i proširena nesigurnost

Stvarno opterećenje, kN	Standardne nesigurnosti, %						u_c %	k	U %
	u_{rep}	u_{res}	u_v	u_{cal}	u_{drift}	u_{cpet}			
20	0,046	0,058	0,043	0,033	0,010	0,034	0,09	2	0,18
40	0,037	0,029	0,036	0,027	0,004	0,027	0,07		0,14
80	0,055	0,014	0,018	0,026	-0,004	0,026	0,06		0,12
120	0,048	0,010	0,022	0,026	-0,008	0,027	0,06		0,12
160	0,047	0,007	0,018	0,026	-0,009	0,028	0,06		0,12
200	0,046	0,006	0,000	0,025	-0,007	0,026	0,05		0,10
100	0,041	0,029	0,087	0,042	-0,012	0,040	0,11		0,22
200	0,020	0,014	0,043	0,032	-0,011	0,030	0,06		0,12
300	0,030	0,010	0,029	0,028	-0,011	0,030	0,05		0,10
400	0,023	0,007	0,043	0,026	-0,010	0,030	0,06		0,12
500	0,037	0,006	0,000	0,025	-0,009	0,030	0,05	0,10	

U tabeli 5. dati su rezultati kalibracije pokazivanja softvera testXpert i procijenjene relativne greške.

Tabela 5. Rezultati kalibracije pokazivanja softvera

Stvarno	Opterećenje, kN				Relativne greške, %			
	Indicirano na softveru				q	b'	v	res
	0°	120°	240°					
20	20,010	20,020	20,000	20,025	0,05	0,10	0,12	0,0050
40	40,220	40,275	40,220	40,265	0,60	0,14	0,11	0,0030
80	80,280	80,405	80,290	80,255	0,41	0,16	-0,04	0,0010
120	120,130	120,295	120,100	120,165	0,15	0,16	0,05	0,0010
160	159,970	160,215	160,000	160,010	0,04	0,15	0,01	0,0010
200	199,750	199,975	199,760	199,760	-0,09	0,11	0,00	0,0010
100	100,100	100,200	100,250	100,300	0,18	0,15	0,05	0,0010
200	200,250	200,350	200,355	200,450	0,16	0,05	0,05	0,0005
300	300,455	300,680	300,570	300,750	0,19	0,08	0,06	0,0003
400	400,360	400,790	400,860	400,985	0,17	0,13	0,03	0,0003
500	500,155	500,850	500,650	500,650	0,11	0,14	0,00	0,0002
Zaostatak nule	0,195	0,220	0,155					

Vrijednosti standardnih nesigurnosti koje se mogu procijeniti iz rezultata kalibracije pokazivanja softvera, standardna nesigurnost prenosnog etalona, kombinovana, odnosno proširena mjerna nesigurnost po kalibracionim tačkama date su u tabeli 6.

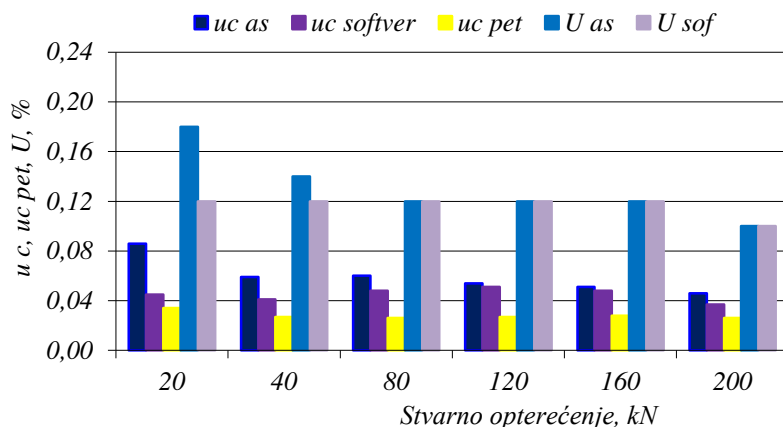
Tabela 6. Procijenjene standardne, kombinovana i proširena nesigurnost - pokazivanje softvera

Stvarno opterećenje, kN	Standardne nesigurnosti, %						u _c %	k	U %
	u _{rep}	u _{res}	u _v	u _{cal}	u _{drift}	u _{cpet}			
20	0,029	0,0014	0,036	0,033	0,010	0,034	0,06	2	0,12
40	0,046	0,0007	0,032	0,027	0,004	0,027	0,06		0,12
80	0,050	0,0004	-0,013	0,026	-0,004	0,026	0,06		0,12
120	0,051	0,0002	0,016	0,026	-0,008	0,027	0,06		0,12
160	0,048	0,0002	0,002	0,026	-0,009	0,028	0,06		0,12
200	0,037	0,0001	0,000	0,025	-0,007	0,026	0,05		0,10
100	0,044	0,0003	0,043	0,042	-0,012	0,040	0,08		0,16
200	0,017	0,0001	0,041	0,032	-0,011	0,030	0,06		0,12
300	0,022	0,0001	0,052	0,028	-0,011	0,030	0,06		0,12
400	0,039	0,0001	0,027	0,026	-0,010	0,030	0,06		0,12
500	0,041	0,0001	0,000	0,025	-0,009	0,030	0,05	0,10	
u _{ze} =0,011%									

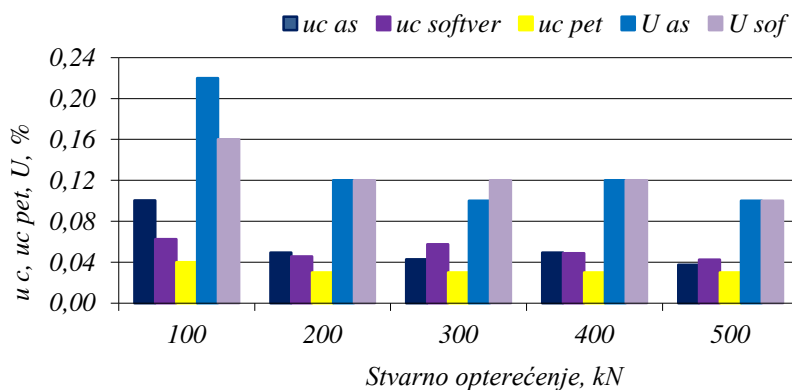
Kombinovana nesigurnost procijenjena iz rezultata kalibracije ima dosta manju vrijednost kod kalibracije pokazivanja softvera zbog manje vrijednosti standardne nesigurnosti rezolucije sistema za očitavanje sile.

4. INTERPRETACIJA REZULTATA

Prikaz kombinovane nesigurnosti, nesigurnosti korištenog prenosnog etalona za kalibraciju i proširene nesigurnosti uporedo kod kalibracije analogne skale i pokazivanja softvera dat je na slici 2. za kidalicu 20 SZBDA i na slici 3. za kidalicu 50 SZBDA.



Slika 2. Usporedne vrijednosti nesigurnosti kod kalibracije analogne skale i pokazivanja softvera – kidalica 20 SZBDA



Slika 3. Usporedne vrijednosti nesigurnosti kod kalibracije analogne skale i pokazivanja softvera – kidalica 50 SZBDA

Sa slike 2. se vidi da kombinovana nesigurnost procijenjena iz rezultata kalibracije pokazivanja softvera, ima nižu vrijednost u odnosu na kombinovanu nesigurnost procijenjenu iz rezultata kalibracije analogne skale, u najvećoj mjeri zbog manje procijenjene standardne nesigurnosti rezolucije uređaja za očitavanje sile. Iz tog razloga za proračun CMC za mjerno područje od 20 kN do 100 kN uzeti su, kao relevantni, rezultati kalibracije pokazivanja softvera.

Sa slike 3. se vidi da kombinovana nesigurnost procijenjena iz rezultata kalibracije pokazivanja softvera, u kalibracionim tačkama 100 kN i 200 kN ima nižu vrijednost zbog standardne nesigurnosti rezolucije skale uređaja za očitavanje sile, što rezultira manjom kombinovanom i proširenom mjernom nesigurnošću. U ostalim kalibracionim tačkama kombinovane i proširene mjerne nesigurnosti imaju iste vrijednosti, osim vrijednosti proširene nesigurnosti u kalibracionoj tački 300 kN, koja je nešto viša kod kalibracije pokazivanja softvera a koja je proistekla iz kombinovane nesigurnosti procijenjene iz rezultata kalibracije pokazivanja softvera, prvenstveno zbog standardne nesigurnosti histereze. Na kalibracionoj tački 100 kN, što predstavlja 20 % kalibrisanog mjernog područja, procijenjena je nešto veća proširena nesigurnost u iznosu od 0,16 % i shodno tome ova

kalibraciona tačka neće biti uzeta u obzir kod određivanja CMC laboratorija. Za ovu vrijednost sile prihvaćen je CMC od kalibracije pokazivanja softvera kidalice 20 SZBDA. Proširena mjerna nesigurnost na kalibracionoj tački 200 kN i kod kalibracije pokazivanja softvera kidalice 20 SZBDA i kidalice 50 SZBDA ima istu vrijednost od 0,12 %. Od rezultata kalibracije kidalice 50 SZBDA prihvaćen je CMC laboratorija za mjerno područje 200 kN do 500 kN.

Prilikom prikazivanja CMC laboratorija svakako će prekrivanje mjernih područja prenosnih etalona imati uticaj na CMC. Kako su u ovom radu obrađena dva prenosna etalona, MGCplus-Z4/200 kN, kalibrisan u mjernom području od 20 kN do 200 kN i sa izvedenim eksperimentom na kidalici 20 SZBDA i prenosni etalon MGCplus-Z4/500 kN, kalibrisan u mjernom području od 50 kN do 500 kN i sa izvedenim eksperimentom na kidalici 50 SZBDA, određen je CMC za mjerno područje od 20 kN do 500 kN.

Shodno definiciji CMC prihvaćena je kalibracija pokazivanja softvera kao eksperiment za određivanje CMC. Kod kalibracije analogne skale proširena mjerna nesigurnost ima nešto veću vrijednost zbog doprinosa nesigurnosti od rezolucije analogne skale i kao takva nije uzeta u obzir za procjenu CMC laboratorija.

Nakon svega provedenog, može se konstatovati da je za mjerno područje od 20 kN do 500 kN Mehanički laboratorij procijenio i eksperimentalno dokazao $CMC=0,12\%$. To je najveća proširena mjerna nesigurnost i uzeta je u obzir kod uvažavanja činjenice prekrivanja dva etalona u mjernom području od 50 kN do 200 kN.

Ova vrijednost CMC Mehaničkog kalibracionog laboratorija navedena je u Certifikatu o Akreditaciji LK-02-01, publikovana u dokumentima Instituta za akreditiranje Bosne i Hercegovine i dostupna je korisnicima usluga laboratorija.

5. ZAKLJUČCI

Na osnovu rezultata provedenih kalibracija i eksperimenta može se zaključiti:

- Za mjerno područje od 20 kN do 500 kN Mehanički laboratorij procijenio je i eksperimentalno dokazao $CMC=0,12\%$.
- Kod procjene CMC potrebno je uzeti u obzir preklapanje mjernih područja prenosnih etalona.

6. LITERATURA

[1] EA-4/02: Evaluation of the Uncertainty of Measurement in Calibration, 2013.,

[2] Muminović, B.: Kvantifikacija pojedinačnih doprinosa i proračun proširene mjerne nesigurnosti kod kalibracije prenosnog etalona za silu, Magistarski rad, Fakultet za metalurgiju i materijale, Zenica, 2014.,

[3] EURAMET cg-04: Uncertainty of Force Measurements- Calibration Guide, European Association of National Metrology Institutes, Version 2.0, 2011.,

[4] BAS EN ISO 7500-1/2005: Metallic materials – Verification of static uniaxial testing machines – Part 1: Tension/compression testing machines – Verification and calibration of the force-measuring system,

[5] BAS EN ISO 376/2005: Metallic materials – Calibration of force proving instruments used for the verification of uniaxial testing machines,

[6] EAL-G22: Uncertainty of Calibration Results in Force Measurements, EA European co-operation for Accreditation, Edition 1, 1996.