

**NOVO IZDANJE METODE ZA KALIBRACIJU
SISTEMA ZA MJERENJE SILE**

**NEW ISSUE METHOD FOR CALIBRATION
OF FORCE MEASURING SYSTEM**

**Sinha Korlat-Mahmić, dipl.inž.
Alma Čelebić-Malkić, dipl.inž.
Mr.sc.Branka Muminović, dipl.inž.
Univerzitet u Zenici,
Institut „Kemal Kapetanović“ u Zenici
Bosna i Hercegovina**

REZIME

Kalibracija sistema za mjerenje sile se realizuje prema zahtjevima standarda BAS EN ISO 7500-1. Laboratorija koja je akreditovana prema zahtjevima standarda BAS EN ISO/IEC 17025 mora osigurati korištenje posljednjih važećih izdanja standarda. Institut za standardizaciju Bosne i Hercegovine je tokom 2017. godine preuzeo EN ISO 7500-1 i proglasio ga kao BAS standard. Tokom reakreditacije Mehaničkog laboratorija u novembru 2018. godine dokazana je mogućnost primjene ovog standarda i potvrđena kompetentnost osoblja laboratorija.

U ovom radu dat je pregled izmjena u novom izdanja standarda BAS EN ISO 7500-1:2017 i primjer kalibracije kidalice od 200 kN sa rezultatima kalibracije i proračunom relativnih grešaka.

Ključne riječi: kalibracija, relativna greška indikacije, relativna greška ponovljivosti

ABSTRACT

The calibration of the force measurement system is carried out according to the requirements of BAS EN ISO 7500-1. A laboratory accredited to the requirements of standard EN ISO / IEC 17025 must ensure the use of the latest valid standards. In 2017, the Institute for Standardization of Bosnia and Herzegovina adopted EN ISO 7500-1 and declared it a BAS standard. During the reaccreditation process of Mechanical Laboratory in November 2018, the possibility of applying this standard and the confirmed competence of the laboratory personnel were demonstrated.

This paper presents an overview of changes to new releases of BAS EN ISO 7500-1: 2017 and an example of a calibration of a calibration of machine 200 kN with calibration results and the calculation of relative errors.

Keywords: calibration, relative error indication, relative error repeatability

1. UVOD

Mehanički laboratorij Instituta „Kemal Kapetanović“ Zenica akreditovan je prema standardu BAS EN ISO/IEC 17025 za kalibraciju jednoaksijalnih mašina: kidalica, dinamometara i prese od strane Instituta za akreditiranje Bosne i Hercegovine – BATA. Kalibraciju statičkih

jednoosnih ispitnih mašina Mehanički laboratorij realizuje u skladu sa zahtjevima standarda BAS EN ISO 7500-1:2017.

Kod izbora metoda kalibracija, prednost se daje važećim nacionalnim i međunarodnim standardima, a do validnih verzija se dolazi na osnovu znanja preko Tehničkog komiteta „Čelik i čelični proizvodi“. Prije uvođenja novog izdanja metode, prema zahtjevima standarda BAS EN ISO/IEC 17025 i prema proceduri koja se odnosi na izbor i verifikaciju metoda, laboratorij verifikuje izvođenje svake metode kalibracije na način da provodi ocjenu, detaljnu analizu, upoznaje osoblje o rezultatima te analize i vodi zapise sa sastanaka osoblja. Ako je neophodno, dodatno se radi obučavanje osoblja i revizije u uputstvima za metodu kalibracije te izvode zaključci da li je metoda prihvatljiva sa aspekta raspoložive opreme i obučenosti osoblja. Budući da je Institut za standardizaciju Bosne i Hercegovine tokom 2017. godine preuzeo EN ISO 7500-1 i proglasio ga kao BAS standard, Mehanički laboratorij je verifikovao metodu te je tokom reakreditacije Mehaničkog laboratorija u novembru 2018. godine dokazana mogućnost primjene ovog standarda i potvrđena kompetentnost osoblja laboratorija.

2. IZMJENE U NOVOM IZDANJU STANDARDARDA

Standard BAS EN ISO 7500-1: 2017 ima znatne izmjene u odnosu na ranije izdanje ovog standarda od 2005.godine.

Izmjene se odnose na sljedeće:

- U novom izdanju standarda nema dosadašnjeg annexa C (informativni) Alternativne metode klasifikacije ispitne mašine koji zahtjeva da su sve vrijednosti (ne samo srednje vrijednosti) unutar određenih granica. Formule date u tom annexu za određivanje greške ispitnog uređaja i greške ponovljivosti su u novom izdanju date u tački 6.5. Procjena pokazivača sile,
- U područje primjene pored općeg pregleda ispitnog uređaja i njegovih dijelova te kalibracije mjernog sistema za silu ispitne mašine daje se i potvrda da osobine uređaja zadovoljavaju specificirane klase,
- Data je nova definicija kalibracije i uvedena je definicija verifikacije:

Kalibracija: operacija koja uspostavlja odnos između vrijednosti sila (s pripadajućim nesigurnostima) koje pokazuje uređaj za ispitivanje i one mjerene s jednim ili više instrumenata za provjeru sile.

Verifikacija: potvrda temeljena na analizi mjerenja u skladu sa ovim standardom, da osobine ispitnog uređaja postižu granice date za određenu klasu.

- Ako se kalibracija vrši ispod 20% mjernog područja, provode se dopunska mjerenja na kalibracionim tačkama približno 10%, 7%, 4%, 1%, 0,7%, 0,4%, 0,2% , 0,1% itd. vrijednosti sile mjernog područja uključujući i donju granicu mjernog područja, tako da je odnos između dvije susjedne kalibracione tačke manje ili jednako 2. Nije nužno imati 5 kalibracionih tačaka u niskom kalibracionom području.
- Važne izmjene se odnose na ocjenu relativnih grešaka: relativna greška indikacije (tačnosti), relativna greška ponovljivosti, Tabela 1. i saglasnost između dva etalona, Tabela 2.
- Relativna greška indikacije (tačnosti)

Za svaku kalibracionu tačku računa se relativna greška tačnosti za sve tri serije mjerenja kako slijedi

$$q_1 = (F_{i1}-F_1)/F_1*100 \quad ..(1)$$

$$q_2 = (F_{i2}-F_2)/F_2*100 \quad ..(2)$$

$$q_3 = (F_{i3}-F_3)/F_3*100 \quad ..(3)$$

$$q = (q_1+q_2+q_3)/3 \quad ..(4)$$

Indeksi 1, 2 i 3 predstavljaju očitavanja i izračunate vrijednosti iz tri serije mjerenja za svaku kalibracionu tačku

Relativna greška ponovljivost b , za svaku diskretnu silu, je razlika između q_{max} i q_{min} .

$$b = q_{max} - q_{min} \quad \dots(5)$$

(q_{max}/q_{min} je algebarski maksimalna/minimalna vrijednost od q_1, q_2, q_3)

Tabela 1. Relativne greške prema izdanju BAS EN ISO 7500-1 od 2005 i 2017 godine [1,2]

Relativne greške	BAS EN ISO 7500-1: 2005	BAS EN ISO 7500-1: 2017
Relativna greška indikacije	$q = \frac{F_i - \bar{F}}{\bar{F}} \times 100$ ili $q = \frac{\bar{F}_i - F}{F} \times 100$	$q_1 = (F_{i1} - F_1) / F_1 * 100$ $q_2 = (F_{i2} - F_2) / F_2 * 100$ $q_3 = (F_{i3} - F_3) / F_3 * 100$ $q = (q_1 + q_2 + q_3) / 3$
Relativna greška ponovljivosti	$b = \frac{F_{max} - F_{min}}{\bar{F}} \times 100$	$b = q_{max} - q_{min}$

Tabela 2. Saglasnost između 2 etalona prema izdanju BAS EN ISO 7500-1 od 2005 i 2017 god [1,2]

Saglasnost između dva etalona	
BAS EN ISO 7500-1: 2005	$q_1 - q_2 \leq 1,5b$
BAS EN ISO 7500-1: 2017	$ q_{T1} - q_{T2} \leq b_{at}$

q_{T1} - relativna greška tačnosti utvrđena u tački preklapanja sa etalonom MGCplus/100 kN

q_{T2} - relativna greška tačnosti utvrđena u tački preklapanja sa etalonom MGCplus/40 kN

b_{at} = dopuštena vrijednost za tačnost za određenu klasu

3. KALIBRACIJA KIDALICE 200 kN

U Mehaničkom laboratoriju instituta "Kemal Kapetanović" kalibrisana je Univerzalna hidraulična mašina za statička ispitivanja - kidalica 200 kN, Slika 1. u mjernom području od 4 kN do 40 kN s ciljem da se verifikuje novo izdanje metode. Mjerno područje od 4 kN do 40 kN kalibrisano je sa dva etalona: MGCplus/100 kN i MGCplus/20 kN, Slike 2. i 3. pri rastućoj sili od 10 % do 100 % vrijednosti mjernog područja analogne skale. Urađene su tri serije mjerenja u području pritiska. Kalibracija je provedena sa konstantnim vrijednostima sile očitane na etalonu.



Slika 1. Kidalica 200 kN



Proizvođač: HOTTINGER BALDWIN MESSTECHNIK, Germany

Tip: AB22; ML30

Serijski broj: 864441; Mjerno područje: ± 2 mV/V

Slika 2. Digitani pojačivački sistem MGC plus



Ćelija za silu 100 kN, ser. br. 024630088
 Proizvođač:HOTTINGER BALDWIN
 MESSTECHNIK, Germany
 Tip: Z4
 Mjerno područje: 10 kN-100 kN
 Prva kalibracija: PTB Njemačka
 Zadnja kalibracija: Lims, Zagreb



Ćelija za silu 20 kN, ser. br. 030430105
 Proizvođač:HOTTINGER BALDWIN
 MESSTECHNIK, Germany
 Tip: Z4
 Mjerno područje: 2 kN-20 kN
 Prva kalibracija: PTB Njemačka
 Zadnja kalibracija: BAM Berlin

Slika 3. Mjerne ćelije za silu

U tabeli 3 date su karakteristične vrijednosti sistema za mjerenje sile na osnovu kojih se daje klasa kalibrisanom mjernom području.

Tabela 3. Karakteristične vrijednosti mjernog sistema sile

Klasa mjernog područja	Maksimalna vrijednost relativne greške, %				Relativna rezolucija <i>a</i>
	za				
	Tačnost <i>q</i>	Ponovljivost <i>b</i>	*povratnost <i>v</i>	Nulu <i>f₀</i>	
0,5	±0,5	0,5	±0,75	±0,05	0,25
1	±1,0	1,0	±1,5	±0,1	0,5
2	±2,0	2,0	±3,0	±0,2	1,0
3	±3,0	3,0	±4,5	±0,3	1,5

*Relativna greška povratnosti određuje se samo ako se zahtijeva

Etalon, koji se koristio za kalibraciju je pozicioniran u uređaj kidalicu i opterećen tri puta od nule na skali uređaja do maksimalne sile mjernog područja. Tri serije mjerenja su urađene sa povećanjem sile u deset mjernih tačaka ravnomjerno raspoređene po mjernom području. Kod svakog mjerenja etalon se, u kidalici, rotirao za 120^o i 240^o. Za prvu mjernu tačku uzeto je 10 % a za zadnju 100 % maksimalne vrijednosti mjernog područja. Budući da se u ovom mjernom području koristi dva etalona, kalibracija se uradila sa etalom MGCplus/mjerna ćelija 20 kN do njegove maksimalne vrijednosti i nastavlja se sa drugim etalom MGCplus/mjerna ćelija 100 kN, ponavljajući kalibracionu tačku 20 kN. Za svaku kalibracionu tačku izračunata je aritmetička srednja vrijednost sile dobijene od tri serije mjerenja. Na osnovu ovih vrijednosti izračunate su relativne greške tačnosti i ponovljivosti uređaja i saglasnost dva etalona prema zahtjevu standarda BAS EN ISO 7500-1:2017. U Tabeli 4. dati su rezultati kalibracije sa izračunatim relativnim greškama prema standardu BAS EN ISO 7500-1:2005, a u Tabeli 5. rezultati kalibracije sa izračunatim relativnim greškama prema standardu BAS EN ISO 7500-1:2017.

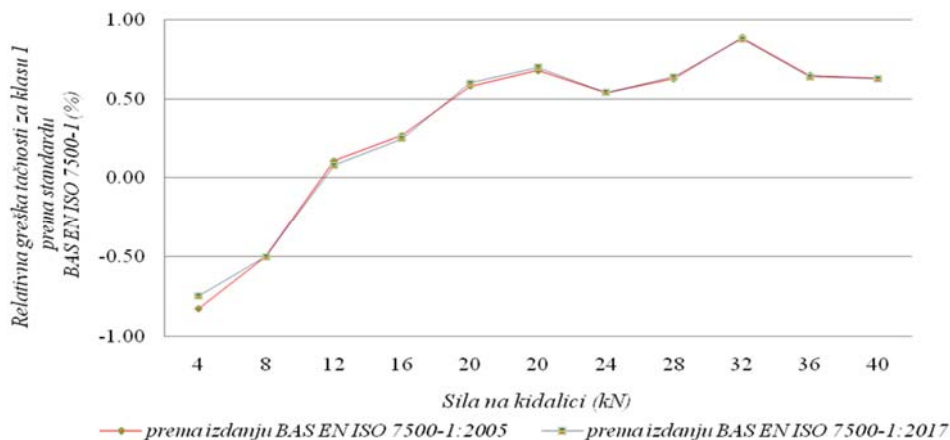
Tabela 4 Rezultati kalibracije (standard BAS EN ISO 7500-1:2005)

Skala mjerila (kN)	Sila na etalonu (kN)	Sila na ispitnom uređaju (kN)			Srednja vrijednost	Relativna greška (%)		Relativna rezolucija (%)	Klasa uređaja
		0°	120°	240°		Tačnost q	Ponovljivost b		
		Sa pomoćnom kazaljkom							
0-40	4	3,96	3,97	3,97	3,97	-0,75	0,25	0,25	1
	8	7,97	7,96	7,95	7,96	-0,50	0,25	0,13	
	12	12,08	11,98	11,98	12,01	0,08	0,83	0,08	
	16	16,10	16,05	15,98	16,04	0,25	0,75	0,06	
	20	20,15	20,10	20,10	20,12	0,60	0,25	0,05	
	20	20,16	20,15	20,10	20,14	0,70	0,30	0,05	
	24	24,16	24,15	24,08	24,13	0,54	0,33	0,04	
	28	28,20	28,20	28,13	28,18	0,64	0,25	0,04	
	32	32,30	32,30	32,25	32,28	0,88	0,16	0,03	
	36	36,30	36,20	36,20	36,23	0,64	0,28	0,03	
40	40,30	40,20	40,26	40,25	0,63	0,25	0,03		
Zaostatak nule	0,00	0,00	0,00	Saglasnost dva etalona (etalon 20 kN i etalon 100 kN) tačka 20 kN					
Relativna greška nule (%)	0,00	0,00	0,00	prema tč.6.5.3.standarda BAS EN ISO 7500-1:2005				0,1≤1,5	

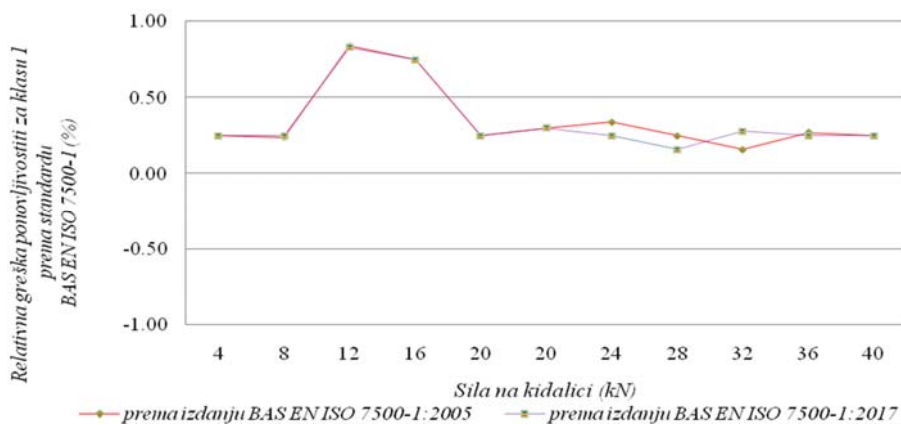
Tabela 5. Rezultati kalibracije (standard BAS EN ISO 7500-1:2017)

Skala mjerila (kN)	Sila na etalonu (kN)	Sila na ispitnom uređaju (kN)			Relativna greška (%)					Rel rez. (%)	Klasa uređaja
		0°	120°	240°	Tačnost				Ponovljivost b		
		Sa pomoćnom kazaljkom			q_1	q_2	q_3	q			
0-40	4	3,96	3,97	3,97	-1,00	-0,75	-0,75	-0,83	0,25	0,25	1
	8	7,97	7,96	7,95	-0,38	-0,50	-0,62	-0,50	0,24	0,13	
	12	12,08	11,98	11,98	0,67	-0,17	-0,17	0,11	0,84	0,08	
	16	16,10	16,05	15,98	0,63	0,31	-0,12	0,27	0,75	0,06	
	20	20,15	20,10	20,10	0,75	0,50	0,50	0,58	0,25	0,05	
	20	20,16	20,15	20,10	0,80	0,75	0,50	0,68	0,30	0,05	
	24	24,16	24,15	24,08	0,67	0,62	0,33	0,54	0,34	0,04	
	28	28,20	28,20	28,13	0,71	0,71	0,46	0,63	0,25	0,04	
	32	32,30	32,30	32,25	0,94	0,94	0,78	0,89	0,16	0,03	
	36	36,30	36,20	36,20	0,83	0,56	0,56	0,65	0,27	0,03	
40	40,30	40,20	40,26	0,75	0,50	0,65	0,63	0,25	0,03		
Zaostatak nule	0,00	0,00	0,00	Saglasnost dva etalona (etalon 20 kN i etalon 100 kN) tačka 20 kN							
Relativna greška nule (%)	0,00	0,00	0,00	prema tč.6.5.3.standarda BAS EN ISO 7500-1:2017				0,1≤1			

Na Slici 4. dat je grafički prikaz relativnih grešaka tačnosti po kalibracionim tačkama uporedo izračunatih prema zahtjevima standarda iz 2005. i 2017.godine, a na Slici 5. grafički prikaz relativnih grešaka ponovljivosti po kalibracionim tačkama uporedo izračunatih prema zahtjevima oba izdanja standarda.



Slika 4. Grafički prikaz relativnih grešaka tačnosti po kalibracionim tačkama



Slika 5. Grafički prikaz relativnih grešaka ponovljivosti

4. ZAKLJUČAK

- Na osnovu dobijenih rezultata kalibracije prema oba izdanja standarda potvrđena je klasa I kidalice.
- Vrijednost relativnih grešaka tačnosti i ponovljivosti su, sa malim odstupanjima u pojedinim kalibracionim tačkama, gotovo identične.
- Kod uslova za saglasnost dva etalona zahtjevniji je standard iz 2017. godine jer uslovljava korištenje etalona bolje klase i u kalibracionim tačkama od 10 % i 20 % mjernog područja.

4. REFERENCE

- [1] Standard BAS EN ISO 7500-1:2017 - Metalni materijali – Kalibracija i verifikacija statičkih jedoosnih mašina-dio 1: Mašine za ispitivanje zatezanjem/pritiskom – Kalibracija i verifikacija sistema za mjerenje sile
- [2] Standard BAS EN ISO 7500-1:2005 - Metalni materijali – Verifikacija statičkih jedoosnih mašina-dio 1: Mašine za ispitivanje zatezanjem/pritiskom – Verifikacija i kalibracija sistema za mjerenje sile