

## UTICAJ STABILNOSTI I (NE)HOMOGENOSTI KAO DOPRINOSA MJERNOJ NESIGURNOSTI KOD KALIBRACIJE KLIMATSKIH KOMORA – INKUBATORA

### THE INFLUENCE OF STABILITY AND (IN)HOMOGENITY AS A CONTRIBUTION TO MEASUREMENT UNCERTAINTY IN THE CALIBRATION OF CLIMATE CHAMBERS – INCUBATORS

Melisa Šabanović, dipl.inž

Univerzitet u Zenici, Institut „Kemal Kapetanović“ Zenica  
Bosna i Hercegovina

Mr.sc. Narcisa Jarović-Bajramović

Univerzitet u Zenici, Institut „Kemal Kapetanović“ Zenica  
Bosna i Hercegovina

#### REZIME

*Kalibracije klimatskih komora - inkubatora (u području temperature) se provode uporednom metodom uz korištenje kalibriranih etalona i koji imaju sljedivost prema etalonu višeg ranga mjeriteljske sposobnosti. Rezultati kalibracije predstavljaju utvrđeno odstupanje inkubatora. Rezultati kalibracije su potpuni samo uz pripadajuću mjernu nesigurnost. Na mjernu nesigurnost utiču doprinosi koji se mogu kvantificirati, odnosno procijeniti na temelju ponavljanja mjerenja i svih ostalih raspoloživih podataka i podataka koji se prikupljaju tokom kalibracije a koji mogu biti korisni u toj procjeni. Neizostavni doprinosi su i stabilnost i (ne)homogenost medija aparature koja služi kao izvor toplote. Kod komora odnosno inkubatora se također ovi doprinosi uzimaju u obzir i isti mjere tokom kalibracije i na kraju definišu za svaku pojedinu komoru odnosno inkubator. Dakle doprinosi nehomogenosti i stabilnosti su jako specifični jer se razlikuju od mjerenja do mjerenja. Na veličinu ovih doprinosa najviše utiču: izrada kvaliteta komore, izolacija, raspored i broj grijača, pozicija senzora unutar komore, da li uređaj ima ili nema ventilaciju, raspored etalona unutar komora odnosno da li se kalibracija radi na cijelom prostoru unutar komore ili zasebnom mjernom mjestu.*

**Ključne riječi:** kalibracija klimatske komore-inkubatori, mjerna nesigurnost, doprinosi stabilnosti i (ne)homogenosti

#### ABSTRACT

*Calibrations of climate chambers - incubators (in the area of temperature) are carried out by a comparative method using calibrated standards that have traceability to a standard of a higher level of metrology ability. The calibration results represent the established deviation of the incubator. Calibration results are complete only with the associated measurement uncertainty. The measurement uncertainty is affected by contributions that can be quantified, that is, estimated based on repeated measurements and all other available data and data collected during calibration that can be useful in that assessment. Indispensable contributions are the stability and (in)homogeneity of the medium of the apparatus that serves as a heat source. In the case of chambers or incubators, these contributions are also taken into account and measured during calibration and finally those are defined for each individual chamber or incubator. So the contributions to (in)homogeneity and stability are very specific*

*because they differ from measurement to measurement. The size of these contributions is most influenced by: the quality of the chamber, insulation, arrangement and number of heaters, the position of the sensor inside the chamber, whether the device has ventilation or not, the arrangement of standards inside the chambers, i.e. whether the calibration is done on the entire space inside the chamber or on a separate measuring point.*

**Keywords:** calibration of climate chamber-incubators, measurement uncertainty, contributions to stability and (in)homogeneity.

## 1. UVOD

Klimatske komore su uređaji koji se primjenjuju za ispitivanje učinaka okoliša na biološke supstance, industrijske proizvode, materijale, električne uređaje i komponente. U komorama se nastoje postići uvjeti što sličniji okolišnim uvjetima u kojima će se ispitivani predmeti nalaziti. Osim očekivanih uvjeta, ispituju se i ekstremni uvjeti kako bi se utvrdila izdržljivost ispitivanog predmeta.

Kao i svi ostali mjerni uređaji i klimatske komore- inkubatori se kalibrišu. Time se osigurava mjerna sljedivost, dobijaju rezultati i određuje pripadajuća mjerna nesigurnost. Kalibracija se provodi izravnom usporedbom kalibrisanog instrumenta s etalonima ili potvrdnim referentnim tvarima, a rezultat tog postupka je utvrđeno odstupanje ispitivanog mjernog instrumenta kao i pripadajuća mjerna nesigurnost, [1].

Prilikom kalibracije klimatske komore-inkubatori pokazuju grešku (odstupanja), koja su definisana međunarodnim preporukama/standardima, [2].

Da bi se omogućile što tačnije i pouzdanije dijagnoze, kalibracija klimatskih komora- inkubatora (u daljem tekstu samo inkubatora) je jako bitna zbog njihove primjene. Inkubatori imaju široku upotrebu u analizi, kontroli kvaliteta i istraživanjima u oblasti farmacije, prehrambene industrije i medicine kao i mnogim drugim. Kod kalibracije inkubatora neizostavni doprinosi su stabilnost, nehomogenost kao i doprinos efekta radijacije. Ovi doprinosi su jako specifični jer se razlikuju od mjerenja do mjerenja i utiču na ukupnu mjernu nesigurnost inkubatora, jer navedeni doprinosi direktno zavise od rezultata dobijenih tokom kalibracije i na taj način prikazuju koliko je inkubator "tačan". Shodno tome, precizna mjerenja inkubatora su veoma važna u različitim oblastima a posebno medicinskim, kako ne bi došlo do ugrožavanja ljudskih života.

## 2. KALIBRACIJA KLIMATSKIH KOMORA- INKUBATORA

Prema standardu DKD-R5-7:2018 postoje tri bitno različite metode kalibracije klimatskih komora: A, B i C. Kalibracija po metodi A odnosi se na korisni volumen koji obuhvaća mjerna mjesta u praznoj klimatskoj komori, po metodi B isto kao i A ali u punoj klimatskoj komori. Pri kalibraciji po metodi C pojedinačna mjerna mjesta u klimatskoj komori ne obuhvaćaju korisni volumen već samo jednu poziciju unutar radnog volumena komore, [3].

U ovom radu korišten je način kalibracije po metodi A.

Ako korisnik usluga u prostoru komore ispituje male predmete tada je dovoljno nekoliko senzora, najmanje pet (od kojih je jedan referentni obično u središtu prostora). To se primjenjuje kada predmeti ispitivanja u komori ne zauzimaju više od 5 cm po X, Y i Z osi, [3]. Kalibracija inkubatora se vrši uz korištenje kalibrisanih etalona-otpornih sonde koje su sljedive prema etalonima višeg ranga mjeriteljske sposobnosti, odnosno u ovom slučaju, u odnosu na sekundarni etalon koji je kalibrisan u "fiksni tačkama" čime je obezbjeđena njegova sljedivost, pa i sljedivost etalona korištenih kod kalibracije inkubatora.

Kalibracija inkubatora počinje kada se etaloni postave na mjerna mjesta. Mjerenje u području temperature se može vršiti u jednoj ili više tačaka, dakle može se obuhvatiti područje temperature koje korisnik usluga koristi ili jedna tačka ako korisnik usluga koristi i zahtijeva

samo određenu temperaturu. Mjerenja se vrše nakon stabilizacije zadate temperature, gdje se vrše očitavanja vrijednosti temperatura sa etalona koji su raspoređeni unutar volumena inkubatora u odnosu na očitavanje sa indikatora inkubatora. Očitavanja se vrše u trajanju od 30 minuta. Očitavanje vrijednosti sa indikatora inkubatora i etalona se vrše uporedo i podaci se unose u zapis o rezultatima kalibracije kao i ostali potrebni podaci, koji se kasnije dalje koriste pri izradi izvještaja i/ili certifikata o kalibraciji, [3].

U ovom slučaju za očitavanja vrijednosti etalona korišten je višekanalni snimač NT logoscreen sa 18 kanala uz koji se koristi pripadajući softver PCA3000+PCC3000 za snimanje podataka. Snimljeni podaci se prebacuju pomoću USB sticka na računar.

U slijedećim tabelama 1,2,3,4 i 5 su prikazani minimalne, maksimalne i srednje vrijednosti rezultata etalona na temperaturi 37 °C za inkubatore serijskih brojeva 1,2,3,4 i 5 i srednje vrijednosti očitavanja sa indikatora inkubatora.

Tabela 1. Rezultati od etalona otpornih sonde TM-1 do TM-6 na temperaturi 37 °C za inkubator serijskog broja 1

Etaloni				Kalibrirano mjerilo	Odstupanje vrijednosti (°C)	Mjerna nesigurnost (°C)
Položaj	Min. Vrij. (°C)	Max. Vrij. (°C)	Sr. Vrij. (°C)	Sr. Vrijednost (°C)		
1*	35.44	35.55	35.50	37.0	1.50	0.7
2	35.64	35.76	35.70	37.0	1.30	0.7
3	35.90	36.04	35.97	37.0	1.03	0.7
4	35.67	35.78	35.73	37.0	1.27	0.7
5	35.83	35.95	35.89	37.0	1.11	0.7

Tabela 2. Rezultati od etalona otpornih sonde TM-1 do TM-6 na temperaturi 37 °C za inkubator serijskog broja 2

Etaloni				Kalibrirano mjerilo	Odstupanje vrijednosti (°C)	Mjerna nesigurnost (°C)
Položaj	Min. Vrij. (°C)	Max. Vrij. (°C)	Sr. Vrij. (°C)	Sr. Vrijednost (°C)		
1*	36.79	36.81	36.80	37.1	0.30	0.3
2	36.99	37.00	37.00	37.1	0.10	0.3
3	36.95	36.97	36.96	37.1	0.14	0.3
4	36.90	36.91	36.91	37.1	0.19	0.3
5	37.02	37.04	37.03	37.1	0.07	0.3

Tabela 3. Rezultati od etalona otpornih sonde TM-1 do TM-6 na temperaturi 37 °C za inkubator serijskog broja 3

Etaloni				Kalibrirano mjerilo	Odstupanje vrijednosti (°C)	Mjerna nesigurnost (°C)
Položaj	Min. Vrij. (°C)	Max. Vrij. (°C)	Sr. Vrij. (°C)	Sr. Vrijednost (°C)		
1*	36.95	37.09	37.02	36.9	-0.12	0.7
2	37.11	37.26	37.19	36.9	-0.29	0.7
3	37.00	37.14	37.07	36.9	-0.17	0.7
4	37.14	37.28	37.21	36.9	-0.31	0.7
5	37.37	37.54	37.46	36.9	-0.56	0.7

Tabela 4. Rezultati od etalona otpornih sondi TM-1 do TM-6 na temperaturi 37 °C za inkubator serijskog broja 4

Etaloni				Kalibrirano mjerilo	Odstupanje vrijednosti (°C)	Mjerna nesigurnost (°C)
Položaj	Min. Vrij. (°C)	Max. Vrij. (°C)	Sr. Vrij. (°C)	Sr.Vrijednost (°C)		
1*	37.37	37.65	37.51	37.0	-0.51	0.4
2	37.19	37.46	37.33	37.0	-0.33	0.4
3	36.93	37.30	37.12	37.0	-0.12	0.4
4	37.23	37.54	37.39	37.0	-0.39	0.4
5	37.26	37.60	37.43	37.0	-0.43	0.4

Tabela 5. Rezultati od etalona otpornih sondi TM-1 do TM-6 na temperaturi 37 °C za inkubator serijskog broja 5

Etaloni				Kalibrirano mjerilo	Odstupanje vrijednosti (°C)	Mjerna nesigurnost (°C)
Položaj	Min. Vrij. (°C)	Max. Vrij. (°C)	Sr. Vrij. (°C)	Sr.Vrijednost (°C)		
1*	36.23	36.27	36.25	37.0	0.75	1
2	36.48	36.53	36.51	37.0	0.49	1
3	37.06	37.09	37.08	37.0	-0.08	1
4	36.55	36.60	36.58	37.0	0.42	1
5	36.27	36.32	36.30	37.0	0.70	1

### 3. UTICAJNI DOPRINOSI KOD KALIBRACIJE KLIMATSKIH KOMORA INKUBATORA

Pri kalibraciji inkubatora su višestruki uticaji na tačnost mjerenja, odnosno prisutan je veliki broj okolnosti na mjernu nesigurnost rezultata. No učešće svakog od mogućih izvora za nastanak eventualne greške pri mjerenju nije isti. Kod kalibracije inkubatora pored rezultata mjerenja rade se procjene mjerne nesigurnosti sa doprinosima koji uzimaju u obzir rezultate etalona i mjerila koje je kalibrisano-tip A statističkim metodama. Kod procjene mjerne nesigurnosti tipa B, nestatistička metoda, uzimaju se u obzir različiti doprinosi počev od mjerne nesigurnosti etalona utvrđeno njegovom kalibracijom, nesigurnost stabilnosti etalona (drift), doprinos nesigurnosti rezolucije etalona i indikatora inkubatora, doprinosi nehomogenosti i stabilnosti temperature, doprinos nesigurnosti uslijed radijacije i dr.

Poseban osvrt u radu se može staviti na doprinose nehomogenosti i stabilnosti temperature, te doprinos efekta radijacije, koji se određuju za svaku komoru posebno.

#### Doprinos - stabilnosti temperatura

Privremena stabilnost se određuje iz snimljenih privremenih nestabilnosti temperature, tokom vremena trajanja od najmanje 30 minuta.

Doprinos se procjenjuje iz mjernih serija za referentno mjerno mjesto, kao najveće odstupanje unutar mjerenja od srednje vrijednosti. Definirano je kao polovina širine doprinosa. Doprinos je izražen pravougaonom distribucijom.

$$u_{B6} = \frac{a}{\sqrt{3}} \cdot C \dots \dots \dots (1)$$

C- koeficijent osjetljivosti; C=1

### Doprinos - nehomogenosti temperatura

se procjenjuje iz rezultata mjerenja za pojedinačna mjerna mjesta u odnosu na referentno mjerno mjesto. Definisano je kao polovina širine doprinosa. Doprinos je izražen pravougaonom distribucijom. C- koeficijent osjetljivosti; C=1

$$u_{B5} = \frac{a}{\sqrt{3}} \cdot C \dots \dots \dots (2)$$

### Doprinos efekta radijacije

Je u ovom slučaju određen na način da su na referentno mjesto u inkubatoru blizu postavljena dva etalona istog tipa, jedan sa zaštitom, a drugi bez zaštite. Razlika dobijenih vrijednosti ova dva etalona predstavlja vrijednost koja će se uzimati u obzir pri procjeni ovog doprinosa izraženog pravougaonom distribucijom. C- koeficijent osjetljivosti; C=1

$$u_{B8} = \frac{a}{\sqrt{3}} \cdot C \dots \dots \dots (3)$$

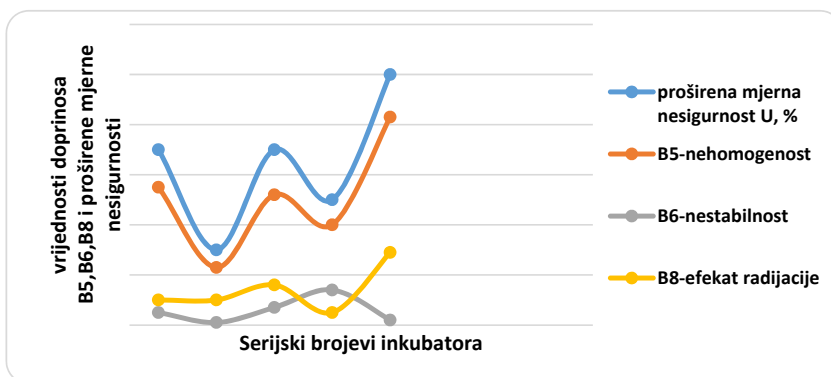
U radu su navedeni pojedinačni doprinosi mjernoj nesigurnosti za inkubatore serijskog broja 1,2,3,4 i 5. Doprinosi mjernoj nesigurnosti, sa akcentom na: stabilnosti, nehomogenost, kao i efektu radijacije, utiču na ukupnu mjernu nesigurnost inkubatora, jer ova tri navedena doprinosa direktno zavise od rezultata dobijenih tokom kalibracije.

U tabeli 6 date su vrijednosti za doprinose nehomogenosti-B5, stabilnosti-B6 i od efekta radijacije-B8 i proširene mjerne nesigurnosti za predmetne inkubatore.

Tabela 6. Vrijednosti doprinosa nehomogenosti, stabilnosti i od efekta radijacije kao i proširene mjerne nesigurnosti za inkubatore serijskog broja 1,2,3,4 i 5.

Serijski broj inkubatora	Doprinos nehomogenosti - B5	Doprinos stabilnosti- B6	Doprinos efekta radijacije- B8	Proširena mjerna nesigurnost U, [°C]
1	0.55	0.05	0.10	0.7
2	0.23	0.01	0.10	0.3
3	0.52	0.07	0.16	0.7
4	0.40	0.14	0.05	0.5
5	0.83	0.02	0.29	1.0

Na slici 1 je dat šematski prikaz vrijednosti doprinosa B5, B6 i B8 i proširenih mjernih nesigurnosti za inkubatore serijskog broja 1,2,3,4 i 5.



Slika 1. Prikaz proširene mjerne nesigurnosti i doprinosa B5, B6 i B8 za inkubatore serijskog broja 1,2,3,4,5.

#### **4. ANALIZA REZULTATA**

Odstupanje rezultata je jako bitno kod inkubatora jer nam pokazuje koliko isti odstupa od etalona, koji su raspoređeni na pozicijama, tako da imamo tačan uvid u rezultate. Ovo je posebno bitno kod inkubatora koji se koriste u medicinske svrhe, kako bi se izbjegla opasna prekoračenja temperature i spriječila bilo kakva temperaturna odstupanja, čak i minimalna koja mogu ugroziti ljudsko zdravlje.

Najveće doprinose nehomogenosti i efekta radijacije ima inkubator serijskog broja 5, tip EN 400, proizvođač Nuve, mjerno područje od 0 ·C do 99,9 ·C. Njegovi doprinosi su najveći za nehomogenosti 0,83 ·C i za doprinos efekta radijacije 0,29 ·C. Ovo je inkubator zapremine 44 l, ima 2 police i isti ima široku primjenu. Ali ovaj inkubator ima sensor Fe-Const. koji je termoelement i kao sensor ima sporiji odziv i manju preciznost od otpornih sonde. Kako su ovi doprinosi veći, to je doprinjelo da i mjerna nesigurnost bude veća.

Inkubator serijskog broja 2, tip ICO 50, proizvođač MEMMERT, mjerno područje od 18 ·C do 50 ·C je imao najmanji doprinos nehomogenosti koji iznosi 0,23 ·C i stabilnosti koji iznosi 0,01 ·C. Ovaj inkubator ima ugrađena 2 Pt senzora, zapremine je 56 l, ima dobru ventilaciju komore, kao i izolaciju, unutrašnji radni prostor inkubatora je od nehrđajućeg čelika. Proširena mjerna nesigurnost je najmanja kod inkubatora serijskog broja 2 i ona iznosi 0,3 ·C. Kako su doprinosi stabilnosti i nehomogenosti najmanji kod ovog inkubatora, a utiču na ukupnu mjernu nesigurnost, to je dovelo da je i mjerna nesigurnost u ovom slučaju najmanja.

#### **5. ZAKLJUČAK**

Iz rezultata istraživanja je vidljivo da su najveći utjecaj na mjernu nesigurnost inkubatora, osim podioka indikatora inkubatora, imali upravo doprinosi nehomogenost i stabilnosti temperature kao i doprinos efekta radijacije. Ako zanemarimo ostale doprinose, sa slike 1 je uočljivo da krivulja proširene mjerne nesigurnosti prati krivulje sa vrijednostima navedenih doprinosa što direktno ukazuje na povezanost, te značaj i uticaj tih doprinosa na ukupnu mjernu nesigurnost.

#### **6. LITERATURA**

- [1] Miškić J. Ispitivanje karakteristika higrostatirane komore [završni rad]. Zagreb: Fakultet strojarstva i brodogradnje; 2020.
- [2] N. Zaimović-Uzunović: Mjeriteljska infrastruktura, Mašinski fakultet u Zenici, Univerzitet u Sarajevu, Zenica, 2003.
- [3] DKD-R 5-7:2018- Calibration of climatic chambers