

*Rafał JAROSZ
Główny Urząd Miar
Pracownia Wilgotności
Samodzielne Laboratorium Termometrii*

RÓWNOWAŻNOŚĆ I WZAJEMNE UZNAWANIE WYNIKÓW POMIARÓW DLA KOMÓR KLIMATYCZNYCH

W ostatnim okresie zauważono wzrost liczby laboratoriów wzorcujących, badawczych i przemysłowych, w których prowadzone są wzorcowania, pomiary i badania komór klimatycznych. W pracy zostanie przedstawiona budowa stanowiska, analiza szacowania niepewności oraz zalecenia techniczne podczas wykonywania pomiarów, wzorcowań, badań oraz porównań międzylaboratoryjnych dla komór klimatycznych/termostatycznych.

Słowa kluczowe: komory klimatyczne, temperatura powietrza, zalecenia techniczne

EQUIVALENCE AND MUTUAL RECOGNITION OF MEASUREMENT RESULTS FOR CLIMATIC CHAMBERS

In the recent period, noted the increase the number of calibration, research and industrial laboratories, in which are carried out calibration, measurements and test of climatic chambers. The papers presents the construction of measuring stand, uncertainty analysis and technical recommendations during performing measurements, calibrations, testing and interlaboratory comparisons for climatic and thermostatic chambers.

Keywords: climatic chambers, air temperature, technical recommendations

1. KOMORY KLIMATYCZNE I TERMOSTATYCZNE

Większość pomiarów wykonywanych w komorach klimatycznych/termostatycznych (nazwanych dalej komorami) polega na określeniu poprawki lub błędu pomiędzy wskazaniami wyświetlacza/nastawy komory a odpowiadającymi wskazaniami odniesienia w przestrzeni roboczej komory, bardzo często również na określeniu przestrzennego rozkładu generowanych parametrów – dotyczy to pomiarów wykonywanych przez laboratoria wzorcujące. Laboratoria badawcze i przemysłowe wykorzystują najczęściej komorę klimatyczną jako urządzenie pomiarowe gdzie nastawa wartości zadanych pełni rolę wartości odniesienia.

Komory zdefiniowane są najczęściej jako urządzenia pomocnicze, które generują w zamkniętej przestrzeni zadaną temperaturę oraz wilgotność powietrza przy ciśnieniu normalnym z zakresu ciśnienia atmosferycznego (autoklawy nie są tematem rozważań w niniejszej pracy). Analizie poddane zostaną komory posiadające w swoim wyposażeniu wewnętrzne czujniki temperatury (najczęściej Pt100) oraz czujniki wilgotności względnej (czujniki pojemnościowe lub psychrometryczne). Komory klimatyczne wykorzystane do badań w swojej konstrukcji posiadają wymuszony wewnętrzny obieg powietrza co znacznie poprawia przestrzenny rozkład badanych parametrów.

2. STANOWISKO POMIAROWE

W zależności od wykorzystania komór laboratorium powinno dysponować odpowiednim sprzętem pomiarowym tzn. dla laboratoriów wzorcujących jest to zestaw min. 10 precyzyjnych czujników rezystancyjnych Pt100 z jednym pojemnościowym czujnikiem wilgotności względnej. Opcją dającą możliwość optymalnej analizy przestrzeni roboczej komory byłoby posiadanie zestawu min. 10

czujników mierzących równoległe temperaturę i wilgotność względną powietrza. Podczas ustalania założeń do budowy przyszłego stanowiska rozpatrzono obie opcje.

Pracownia Wilgotności do budowy stanowiska wykorzystwała zestaw 10 czteroprzewodowych czujników rezystancyjnych Pt100, typ: T100-200-1L z precyzyjnym skanerem temperatury 1586A SUPRE-DAQ i multiplexerem 1586-2588 DAQ-STAQ, co daje możliwość podłączenia jednocześnie 21 czujników temperatury. Maksymalna niepewność rozszerzona ze świadectw wzorcowania czujników Pt100 jest na poziomie 0,012 °C, dryf poniżej 0,02 °C, natomiast niepewność skanera z multiplexerem na poziomie 0,01 °C. Poniżej prezentowany zestaw do pomiaru temperatury w przestrzeni roboczej komory.



Zdjęcie. 1. Precyzyjny skaner z multiplexerem



Zdjęcie. 2. Zestaw czujników Pt100

Odnośnie termohigrometrów użyto 10 sond HC2A-S z trzema rejestratorami temperatury i wilgotności względnej HL-NT2-D, gdzie niepewność rozszerzana ze świadectwa wzorcowania jest z przedziału $(0,21 \div 0,56) \% RH$, natomiast dla temperatury powietrza na poziomie 0,1 °C. Poniżej prezentowany zestaw termohigrometrów do pomiaru równoległego temperatury i wilgotności względnej.



Zdjęcie. 3. Zestaw 10 sond termohigrometrycznych



Zdjęcie. 4. Sonda termohigrometryczna

Poniżej przedstawione jest stanowisko do pomiarów, badań i wzorcowań komór klimatycznych i termostatycznych.



Zdjęcie. 5. Komora klimatyczna CTS typ: C-40/350

3. BUDŻET NIEPEWNOŚCI

Przyjęte przez laboratoria wzorcujące i badawcze metody wzorcowania A, B, C zostały szczegółowo opisane w przewodniku [2].

Podczas analizy składowych w budżecie niepewności brano pod uwagę poniższe składniki:

- przestrzenny rozkład temperatury/wilgotności względnej powietrza,

Wilgotność względna jest wartością skolerowaną m.in. z temperaturą powietrza, co należy uwzględnić podczas wyznaczania przestrzennego rozkładu wilgotności względnej w komorze.

Można przyjąć, że jeżeli w pustej przestrzeni pomiarowej komory przy ciągłej cyrkulacji powietrza, bez dodatkowych źródeł pary wodnej i nieszczelności - rozkład temperatury punktu rosy/szronu jest jednorodny. Wówczas przestrzenna niejednorodność wilgotności względnej może być obliczona na podstawie niejednorodności temperatury powietrza.

- czasowa stabilność temperatury/wilgotności względnej powietrza,

- składowe dotyczące wzorca roboczego temperatury/wilgotności względnej powietrza,

- efekt radiacji związany z emisyjnością czujnika temperatury i średnicą czujnika spowodowany różnymi temperaturami ścian wewnętrznych i powietrza wewnątrz komory,

W zależności od konstrukcji komory, materiału obudowy wewnętrznej, użytego czujnika do pomiaru temperatury powietrza – efekt radiacji może osiągać wartość kilku stopni °C dla temperatur powyżej 100 °C. Dla temperatur poniżej temperatury 23 °C można uznać składową związaną z efektem radiacji za znikomą.

- zależne od czasu różnice temperatur pomiędzy powietrzem, sondą pomiarową oraz załadowaną komorą,

- czułość na zmiany temperatury w zależności od medium, w którym przebywa czujnik w komorze,

- wpływ warunków otoczenia,

- rozdzielczość komory.

Poniżej przedstawiono przykładowy budżet niepewności dla temperatury powietrza.

Tabela 1

Budżet niepewności dla temperatury powietrza

Wielkość wejściowa	Estymata	Niepewność standardowa	Rozkład	Współczynnik wrażliwości	Udział w niepewności złożonej
T_{std} - wskazanie termometru odniesienia	52,2 °C	0,024 °C	normalny	1	0,024 °C
$T\delta_{cal}$ – poprawka ze świadectwa termometru odniesienia	0	0,025 °C	normalny	1	0,025 °C
$T\delta_{drift}$ – dryf termometru odniesienia	0	0,029 °C	prostokątny	1	0,029 °C
$T\delta_{stdres}$ – rozdzielczość termometru odniesienia	0	0,003 °C	prostokątny	1	0,003 °C
$T\delta_{heat}$ – samonagrzewanie Pt100	0	0,029 °C	prostokątny	1	0,029 °C
indT – wskazanie komory klimatycznej	50,4 °C	0,130 °C	normalny	1	0,130 °C
$T\delta_{inhom}$ – niejednorodność temperatury	0	0,462 °C	prostokątny	1	0,462 °C
$T\delta_{instab}$ – niestabilność temperatury	0	0,346 °C	prostokątny	1	0,346 °C
$T\delta_{radiation}$ – efekt radiacji	0	0,577 °C	prostokątny	1	0,577 °C
$T\delta_{load}$ – obciążenie komory	0	0,092 °C	prostokątny	1	0,092 °C
$T\delta_{res}$ – rozdzielczość komory	0	0,029 °C	prostokątny	1	0,029 °C
$\Delta T_{chamber}$ - poprawka	1,8 °C	0,834 °C			

Niepewność rozszerzona dla wskazania temperatury komory klimatycznej wynosi:

$$U = k \cdot u(\Delta T_{chamber}) = 2 \cdot 0,843 \approx 1,7^{\circ}\text{C} \quad (1)$$

Odnośnie przedstawiania danych na protokole pomiarowym lub świadectwie pomiaru, badania lub wzorcowania należy umieścić informacje dotyczące:

- schematu rozmieszczenia czujników w przestrzeni roboczej,
- informacje dotyczące wypełnienia komory, jeżeli ma zastosowanie.

4. WNIOSKI I ZALECENIA

Na podstawie przeprowadzonych analiz podczas budowy stanowiska pomiarowego, wykonanych pomiarów oraz zaleceń w przewodniku Euramet-u cg.20 [1] wskazuje się aby:

- ✓ komora klimatyczna/termostatyczna badana po raz pierwszy miała przeprowadzone pomiary dla pustej komory jak i z pełnym obciążeniem.
- ✓ użytkownik komory klimatycznej powinien zdawać sobie sprawę iż niepewność rozszerzona dla pustej komory jest mniejsza niż komory z załadunkiem.
- ✓ wyznaczona niepewność rozszerzona jeżeli nie zawiera efektu radiacji wówczas taka informacja powinna być przekazana użytkownikowi komory (świadectwo pomiaru, wzorcowania, protokół pomiarowy).
- ✓ pomiary wykonywane jedynie za pomocą czujników lub układów regulujących temperaturę i wilgotność będących wyposażeniem komory nie są najlepszą metodą dokumentującą

warunki wewnątrz komory klimatycznej i termostaticznej. Dlatego użycie co najmniej jednego czujnika temperatury/wilgotności w centralnym położeniu przestrzeni pomiarowej komory zapewni bardziej wiarygodne dane pomiarowe niż nastawy komory lub czujniki układów regulacji.

- ✓ w przypadku uzyskania dowodu biegłości przez laboratoria wzorcujące lub badawcze zaleca się aby obiekt porównania – komora klimatyczna / termostaticzna był udostępniony przez niezależny instytut metrologiczny tym przypadku Pracownię Wilgotności Głównego Urzędu Miar.
- ✓ w przypadku użytkowania komory z obciążeniem zaleca się zainstalowanie czujników temperatury i wilgotności w bliskim kontakcie z obciążeniem, gdyż dostarczają o wiele bardziej realistyczne dane niż wskazanie komory, która została wywzorcowana.

Przedstawione wyżej wytyczne, zalecenia dotyczące komór klimatycznych i termostaticznych są kolejnym argumentem potwierdzającym zasadność wydzielenia tego typu przyrządów jako oddzielnej poddyscypliny dla poddziedzin temperatury i wilgotności w procesie akredytacyjnym.

Powyższa praca nie wyczerpuje w pełni tematu analizy pomiarów z użyciem komór. Jest pewnego rodzaju wstępem do stworzenia przewodnika zawierającego wytyczne dla wszystkich użytkowników komór klimatycznych i termostaticznych.

LITERATURA

1. DEUTSCHER KALIBRIERDIENST DKD: Guideline DKD-R 5-7: Calibration of Climatic Chambers, wydanie 07/2004, tłumaczenie angielskie 02/2009
2. EURAMET e.V., Technical Committee for Thermometry: EURAMET Calibration Guide No. 20: Guidelines on the Calibration of Temperature and / or Humidity Controlled Enclosures, version 5.0 (09/2017)