

Ilona MAKOWSKA-WOŹNIAK3 WOJSKOWY OŚRODEK METROLOGII
ul. Wileńska 14, 56-400 Oleśnica**Badanie rozkładu oraz analiza jakości regulacji temperatury i wilgotności powietrza w przestrzeni roboczej komór klimatycznych**

Mgr inż. Ilona MAKOWSKA-WOŹNIAK

Absolwentka Wydziału Technologii Żywności Akademii Rolniczej we Wrocławiu. Specjalista w Zakładzie Kalibracji Przyrządów Pomiarowych Wielkości Fizycznych w 3. Wojskowym Ośrodku Metrologii.



e-mail: i.makowska-wozniak@metrologia.wp.mil.pl

Streszczenie

W artykule przedstawiono wyniki badań niejednorodności rozkładu temperatury oraz wilgotności względnej powietrza wewnątrz przestrzeni roboczych dwóch komór klimatycznych. Dla oceny jakości regulacji układu sterującego doświadczalnie wyznaczono charakterystyki odpowiedzi układu na wymuszenie zmian temperatury oraz wilgotności w czasie oraz zbadano stabilizację parametrów w czasie.

Słowa kluczowe: komora klimatyczna, badanie rozkładu temperatury i wilgotności, badanie stabilizacji.

Research of the distribution and analysis of the quality of air temperature and humidity regulation in the working space of climatic chambers
Abstract

The paper presents the results of inhomogeneity of the temperature distribution and relative humidity inside the working space of two climate chambers. From the perspective of the calibration, the knowledge of the distribution of these parameters is critical for the value of the calibration uncertainty. The deviations of the parameter values in the separate tested areas from the value of the central point of the working space of the chamber parameter were determined. The made measurements confirmed the presence of non-uniform distributions of temperature and humidity inside the working space of the chambers. For the assessment of the quality of the control system, the knowledge of the dynamics of the changes in parameters is crucial. For this reason, the response characteristics of the system to the forcing of changes in temperature and humidity in time were experimentally specified. The temperature and humidity stabilization values were set for 25 °C and for 50 %RH. The performed tests provided information about the areas of occurrence of the factors influencing the inaccuracy of the final result of the measurement inside the working space of the climatic chambers. The set values will allow assessing the quality of the measurement results obtained in the process of calibration through estimating the uncertainty of the measurement.

Keywords: climatic chamber, temperature and humidity distribution measurements, stability test.

1. Wstęp

Temperatura i wilgotność względna powietrza są najczęściej mierzonymi wielkościami w procesach produkcyjnych, magazynowych oraz w ocenie warunków klimatycznych. Warunkiem realizacji dokładnych pomiarów tych parametrów jest stosowanie zarówno odpowiednich metod jak również wytworzenie odpowiednich warunków kalibracji. W celu przeprowadzenia procesu kalibracji przyrządów do pomiaru temperatury i wilgotności względnej powietrza wytwarza się odpowiednią mieszaninę parowo-gazową (najczęściej powietrza) o określonej temperaturze i wilgotności. Jedną z możliwości realizacji procesu kalibracji jest

wspólne umieszczenie wzorca i przyrządu badanego w atmosferze o określonych parametrach klimatu i bezpośrednio porównywanie jego wskazań ze wskazaniami wzorca. W praktyce laboratoryjnej do realizacji tego typu pomiarów wykorzystuje się wysokiej klasy komory klimatyczne, w których przy pomocy przyrządów pomiarowych i układów regulacyjnych realizowane są przebiegi funkcji klimatycznych [2]. Komory wyposażone są w układ z wymuszoną cyrkulacją powietrza, który ma za zadanie zapewnić równomierny rozkład temperatury i wilgotności we wnętrzu przestrzeni roboczej komory. Wymuszona cyrkulacja jest przyczyną występowania strug powietrza o różnej temperaturze i wilgotności. Jest to spowodowane tym, że wewnątrz występują elementy o różnej temperaturze (grzałka, parownik, nawilżacz), a powietrze przez nie przepływające nie jest wystarczająco wymieszane. Z uwagi na występowanie niejednorodności temperatury oraz wilgotności w przestrzeni roboczej komory, z punktu widzenia kalibracji istotna jest znajomość rozkładu tych parametrów, ponieważ rozkład ten ma wpływ na niepewność wykonywanych kalibracji przyrządów pomiarowych.

W procesie regulacji ważną właściwością układu jest możliwość jego stabilizacji. Układ stabilizacji ma za zadanie utrzymanie stałej w czasie wartości wyjściowej mimo działających na nią zakłóceń. W stanie ustalonym inicjują się procesy nieustalone, pojawiają się fluktuacje.

W sztucznie wytworzonych warunkach klimatu, regulacja parametrów odbywa się za pomocą układu sterowania. Podczas pracy komory w zależności od odtwarzanych, wymaganych parametrów klimatu, mają miejsce procesy grzania, chłodzenia, nawilżania lub osuszania.

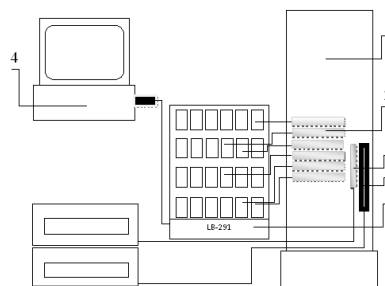
Obiektami badań były dwie komory klimatyczne firmy Vötsch oraz firmy Feutron.

Z uwagi na nieznaną zachodzących zjawisk badania wykonano doświadczalnie. W badaniach ograniczono się do wykonania pomiarów dla wybranych wartości temperatury oraz wilgotności, charakterystycznych dla prowadzonych kalibracji w badanych komorach.

W niniejszym referacie przedstawiono wyniki badań rozkładu temperatury oraz wilgotności względnej powietrza wewnątrz przestrzeni roboczych komór. Dla oceny jakości regulacji układu sterującego doświadczalnie wyznaczono charakterystyki odpowiedzi układu na wymuszenie zmian temperatury oraz wilgotności w czasie oraz zbadano stabilizację parametrów w czasie.

2. Model pomiarowy

Badanie rozkładu temperatury oraz wilgotności względnej wewnątrz przestrzeni roboczych komór przeprowadzono na stanowisku przedstawionym na rysunku 1.



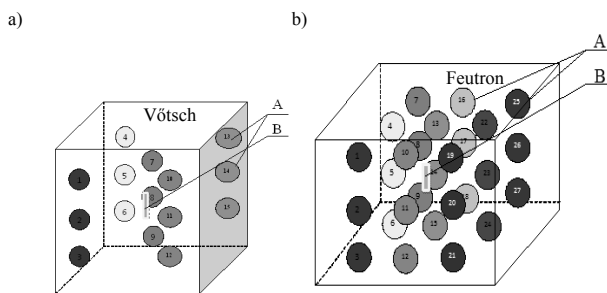
Rys. 1. Schemat stanowiska pomiarowego
Fig. 1. Scheme of the measuring system

Przestrzeń roboczą komory 1 wyposażono w układ wielu czujników temperatury i wilgotności 2, który umożliwił aktualny pomiar rzeczywistych parametrów klimatu panującego w komorze podczas badań. Zastosowano w tym celu wielokanałowy układ pomiarowy temperatury i wilgotności 3 – interfejs LB-291, współpracujący z oprogramowaniem komputerowym 4.

Rozmieszczenie czujników, w zbudowanym na potrzeby badania modelu trójwymiarowym, przedstawiono na rysunku 2, przy czym skrajne czujniki zostały umieszczone w odległości około 15 cm od ścian komory. Oprogramowanie systemu pomiarowego służyło do rejestracji i archiwizacji danych pomiarowych oraz prowadzenia obliczeń.

Komora firmy Vötsch wyposażona jest w przestrzeń roboczą o pojemności 200 dm³. Zakresy pracy komory wynoszą dla temperatury od -40 °C do 180 °C, a dla wilgotności względnej od 10 % do 95 %.

Komora firmy Feutron posiada przestrzeń roboczą o pojemności 400 dm³. Zakresy pracy komory wynoszą dla temperatury od -75 °C do 180 °C, a dla wilgotności względnej od 10 % do 95 %.



Rys. 2. Model pomiarowy: a) dla komory Vötsch, b) dla komory Feutron

Fig. 2. Measurement model: a) in the chamber Vötsch, b) in the chamber Feutron
A - thermohygrometers LB-701, B - wzorec temperatury i wilgotności
A - thermohygrometers LB-701, B - sensors of the standards temperature and humidity

Termohigrometry LB-701, w fazie przygotowań, poddano adiuwacji, a następnie kalibracji, poprzez bezpośrednie porównanie ich wskazań ze wskazaniami wzorców temperatury 5 oraz wilgotności 6. Wyznaczone dzięki temu poprawki uwzględniono jako korekcje uzyskanych wyników pomiarów w celu wyeliminowania błędów systematycznych.

Pomiar polegał na zebraniu serii wyników pomiarów, w badanym punkcie pomiarowym dla pojedynczego termohigrometru [1]. Wartość dla pojedynczego pomiaru była wynikiem średniej z sześciu odczytów parametru przez czujnik. Proces uśredniania realizował program komputerowy.

W przypadku komory Vötsch w badaniu rozkładu temperatury pomiaru wykonano kolejno dla wartości (5, 10, 20, 25, 40, 70) °C, natomiast dla wilgotności względnej dla kolejnych wartości (20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90) %RH. W przypadku komory Feutron pomiary wykonano odpowiednio dla wartości temperatury (-30, -20, -10, 0, 20, 25, 40, 70) °C oraz wilgotności (30, 50, 70) %RH.

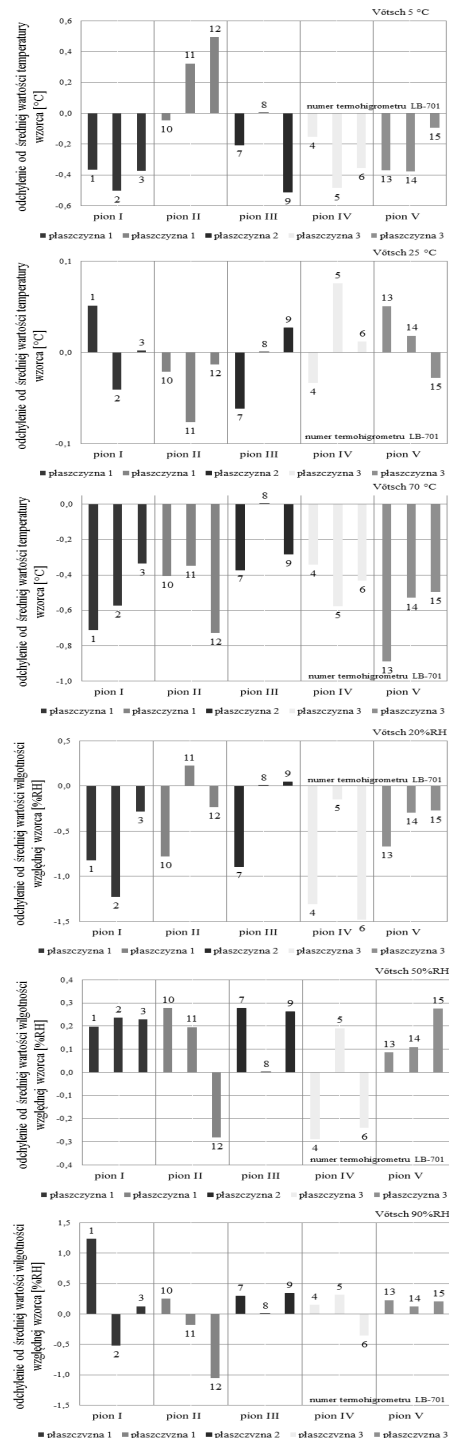
Na podstawie otrzymanych wyników pomiarów przedstawiono w formie graficznej różnice średnich wartości temperatury oraz wilgotności otrzymanych z wyników pomiarów z czujnikami w poszczególnych punktach przestrzeni roboczej, w odniesieniu do średnich wartości otrzymanych w wyniku pomiaru za pomocą sond wzorców dla badanych wartości temperatury oraz wilgotności umieszczonych w punkcie centralnym przestrzeni roboczej komory.

W celu lepszego zobrazowania występujących rozkładów zaprezentowany model został podzielony na płaszczyzny pionowe.

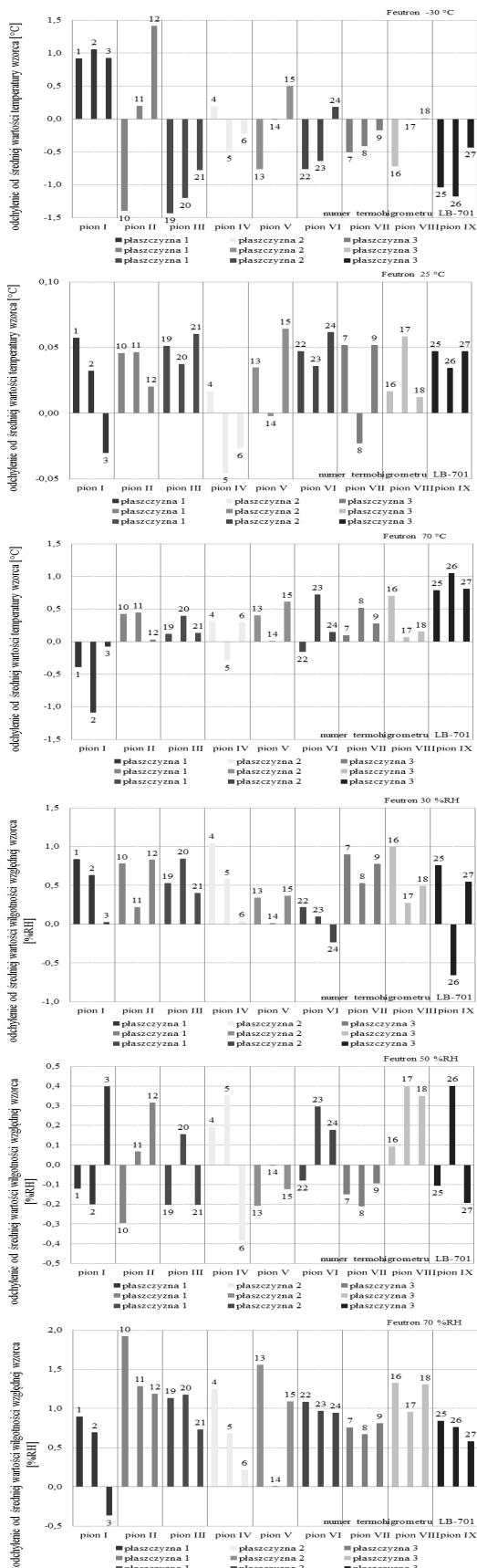
Z uwagi na rozległość zagadnienia w niniejszym artykule nie zaprezentowano całości uzyskanych wyników pomiarów. Przykładowe wyniki przedstawiają wykresy na rysunkach 3 i 4.

Wyniki pomiarów potwierdziły tezę o występowaniu obszarów niejednorodności w przestrzeniach roboczych komór.

Odchylenie wartości temperatury oraz wilgotności związane z niejednorodnością badanych wielkości w przestrzeni roboczej komór klimatycznych określono w temperaturze 25 °C, a dla wilgotności w 50 %RH. W komorze Vötsch wartości te wyniosły $\pm 0,08$ °C oraz $\pm 0,3$ %RH, a w komorze Feutron odpowiednio $\pm 0,06$ °C oraz $\pm 0,4$ %RH.



Rys. 3. Niejednorodność rozkładu wartości temperatury oraz wilgotności względnej w płaszczyznach pionowych w przestrzeni roboczej komory Vötsch dla punktów pomiarowych (5, 25, 70) °C oraz (20, 50, 90) %RH
Fig. 3. Inhomogeneity of temperature and humidity values in vertical planes in the chamber space Vötsch in measuring points (5, 25, 70) °C and (20, 50, 90) %RH



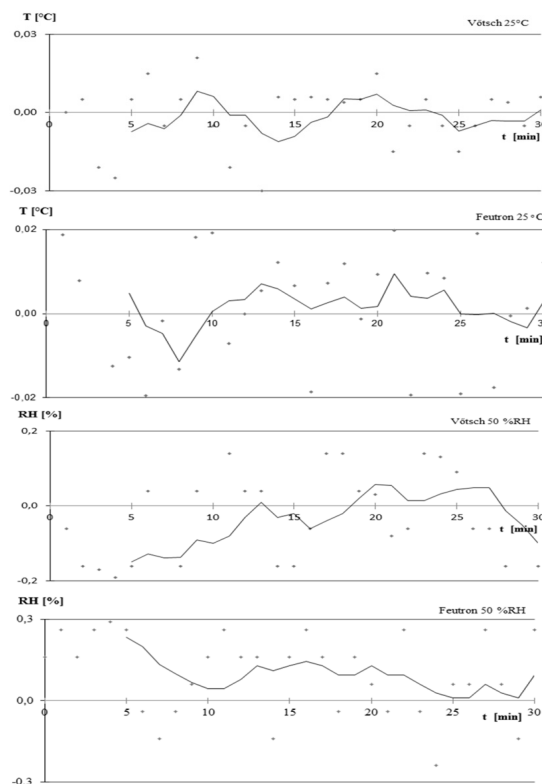
Rys. 4. Niejednorodność rozkładu wartości temperatury oraz wilgotności względnej w płaszczyznach pionowych w przestrzeni roboczej komory Feutron dla punktów pomiarowych (-30, 25, 70) °C oraz (30, 50, 70) %RH
 Fig. 4. Inhomogeneity of temperature and humidity values in vertical planes in the chamber space Feutron in measuring points (-30, 25, 70) °C and (30, 50, 70) %RH

3. Stabilizacja temperatury oraz wilgotności

Badanie stabilizacji wykonano na stanowisku zbudowanym zgodnie z rysunkiem 1. W celu wyznaczenia wartości stabilizacji temperatury oraz wilgotności wykorzystano wzorcowe sondy temperatury 4 oraz wilgotności 5, które umieszczono w geometrycznych środkach przestrzeni roboczych komór [1].

Za wartość odniesienia przyjęto średnią uzyskaną w wyniku wykonania serii 30 pomiarów sondami wzorców w czasie 30 minut. Wyznaczono wartości stabilizacji temperatury w 25 °C oraz wilgotności w 50 %RH, które dla komory Vötsch wyniosły 0,03 °C oraz 0,2 %RH, a dla komory Feutron 0,02 °C oraz 0,3 %RH.

Rysunek 5 ilustruje przebiegi zmian wartości temperatury oraz wilgotności w funkcji czasu.

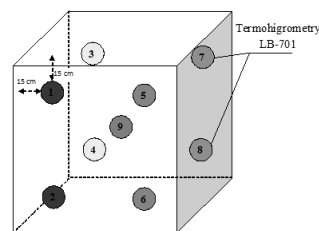


Rys. 5. Fluktuacje temperatury oraz wilgotności względnej
 Fig. 5. Temperature and humidity fluctuations

Zaobserwowane fluktuacje temperatury i wilgotności charakteryzuje okresowa zmienność w czasie.

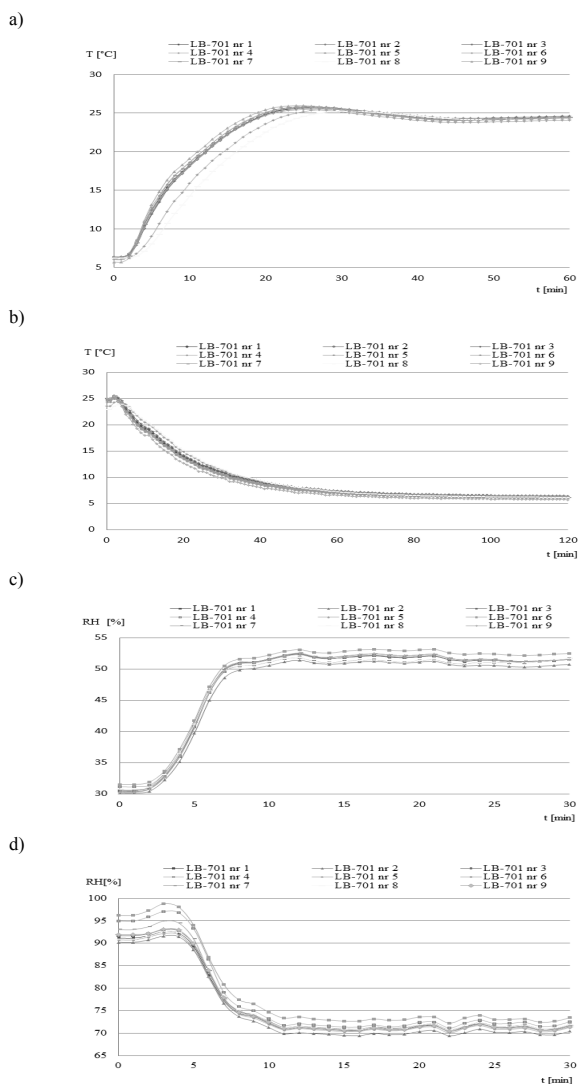
4. Układ sterowania – dynamika zmian

Badanie wykonano na stanowisku przedstawionym na rysunku 1. Pomiaru dokonano przy użyciu dziewięciu czujników temperatury i wilgotności rozmieszczonych zgodnie z modelem przedstawionym na rysunku 6.

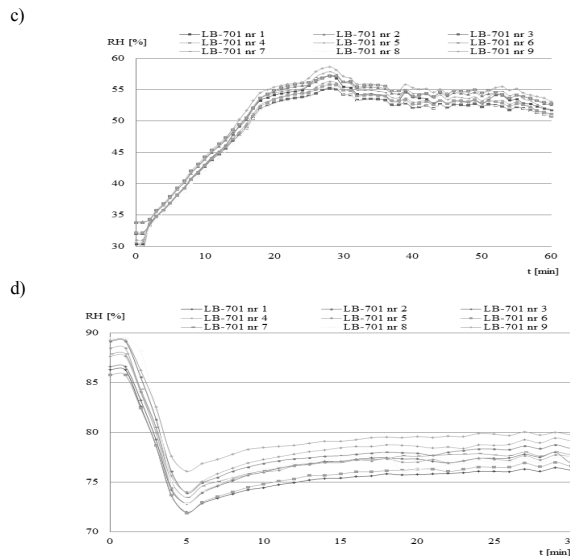
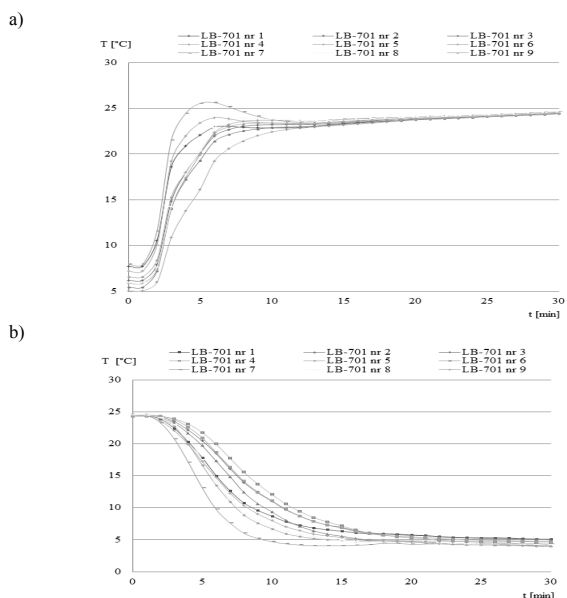


Rys. 6. Rozmieszczenie czujników
 Fig. 6. Sensors arrangement

Zachodzące zmiany wartości parametrów w czasie wewnątrz przestrzeni roboczych komór w funkcji czasu zobrazowano dla komory Vötsch na rysunku 7, a dla komory Feutron na rysunku 8.



Rys. 7. Dynamika zmian temperatury oraz wilgotności, dla procesów a) grzania, b) chłodzenia, c) nawilżania, d) osuszania w komorze Vötsch
Fig. 7. Changes of the temperature and humidity in the process of a) heating, b) cooling, c) humidifying, d) dehumidifying in the chamber Vötsch



Rys. 8. Dynamika zmian temperatury oraz wilgotności, dla procesów a) grzania, b) chłodzenia, c) nawilżania, d) osuszania w komorze Feutron
Fig. 8. Changes of the temperature and humidity in the process of a) heating, b) cooling, c) humidifying, d) dehumidifying in the chamber Feutron

Zaobserwowane kształty krzywych, obrazujących dynamikę odpowiedzi układu sterowania na wymuszenie zmian wartości parametrów klimatu, są bez wątpienia uzależnione od opóźnień z jakimi zachodzą wewnątrz komory procesy wymiany ciepła oraz stopnia nasycenia powietrza parą wodną. Zbadane doświadczalnie czasy odpowiedzi dla poszczególnych procesów, dostarczyły wiedzy niezbędnej przy prowadzeniu kalibracji przyrządów pomiarowych.

5. Podsumowanie

Wykonane badania potwierdziły występowanie rozkładów wartości temperatury oraz wilgotności wewnątrz przestrzeni roboczych komór. Na podstawie otrzymanych wyników pomiarów można stwierdzić, że w przypadku badanych komór niejednorodność temperatury oraz wilgotności w przestrzeniach roboczych jest większa niż ich stabilizacja w czasie. Dla porównania można rozważyć podjęcie próby wyznaczenia niejednorodności lokalnie w punktach, wykorzystywanych do prowadzenia kalibracji i oszacować jaki ma wpływ wybrana metoda na wartość niepewności.

Wartości stabilizacji temperatury oraz wilgotności nie przekroczyły wartości dopuszczalnych dla komór przeznaczonych do wzorcowania i kalibracji, tj. $\pm 0,5^\circ\text{C}$ dla temperatury oraz $\pm 2\% \text{RH}$ dla wilgotności [3].

Przeprowadzone badania dostarczyły częściowej, jednak niezbędnej informacji o obszarach występowania czynników wpływających na niedokładność wyniku końcowego pomiaru wewnątrz przestrzeni roboczej komór klimatycznych.

Wyznaczone wartości pozwolą na ocenę jakości otrzymanych w procesie kalibracji wyników pomiarów i jako składowe niepewności pozwolą na oszacowanie niepewności pomiaru stanowiska do kalibracji przyrządów do pomiaru temperatury i wilgotności względnej powietrza.

6. Literatura

- [1] Deutscher Kalibrierdienst: Guideline DKD-R 5-7, Calibration of Climatic Chambers. Guideline, Edition 07/2004, English translation 02/2009.
- [2] Flakiewicz K.: Wilgotność powietrza i gazów. Pomiary i wzorcowanie. Metrologia, Biuletyn Głównego Urzędu Miar nr 4 (15), strony od 3 do 20, 2009.
- [3] DIN 50011-12:1987-09: Artificial climates in technical applications; air temperature as a climatological quantity in controlled-atmosphere test installations.