

Elżbieta GRADOWSKA, Robert JENDRYS
Okręgowy Urząd Miar w Łodzi
Pracownia Pomiarów Ciśnienia, Temperatury i Wilgotności

POMIARY WILGOTNOŚCI WZGLĘDNEJ I TEMPERATURY POWIETRZA

W referacie przedstawiono stanowisko do wzorcowania przyrządów do pomiarów wilgotności względnej i temperatury powietrza zaprojektowane i uruchomione w Okręgowym Urzędzie Miar w Łodzi. Scharakteryzowano jego parametry techniczne i metrologiczne. Przeprowadzono ocenę wpływu rozkładu temperatury w komorze klimatycznej na wynik wzorcowania oraz niepewność pomiaru. Omówiono wyniki przeprowadzonych prac mających bezpośredni wpływ na najlepszą możliwość pomiarową omawianego stanowiska.

MEASUREMENTS OF RELATIVE HUMIDITY AND AIR TEMPERATURE

In the paper the designed and applied in the Regional Office of Measures in Lodz setup for calibration of the relative humidity and air temperature instruments has been presented. Its metrological and technical parameters have been described. The estimation of the influence of temperature layout in climatic chamber on the result of calibration as well as on the uncertainty of measurement has been carried out. The results of research concerning the direct impact on the best measurement possibility of the described setup have been discussed.

1. WPROWADZENIE

Współczesne procesy produkcyjne wymagają stosowania złożonych technologii, których poprawność jest zapewniona między innymi dzięki przestrzeganiu przepisów związanych z utrzymaniem odpowiednich parametrów klimatu oraz ich monitorowania. Konieczny jest więc pomiar wartości temperatury, wilgotności i ciśnienia powietrza w pomieszczeniach produkcyjnych, magazynowych, laboratoryjnych a także biurowych.

2. OPIS STANOWISKA

Najpopularniejszymi przyrządami pomiarowymi służącymi do monitorowania warunków środowiskowych są termohigrometry dokonujące jednocześnie pomiaru temperatury i wilgotności względnej powietrza oraz barometry dokonujące pomiaru ciśnienia atmosferycznego.

Pierwszym etapem projektu był zakup komory klimatycznej o pojemności 300 dm³, oraz wykonanie badania rozkładu temperatury w jej wnętrzu. Do badań zastosowano 9 sond pomiarowych LB-701 adjustowanych i posiadających aktualne świadectwa wzorcowania. Zostały one umieszczone odpowiednio w środku oraz we wszystkich narożach przestrzeni pomiarowej komory. Po ustabilizowaniu się warunków w komorze, odczytywano wartości temperatury z poszczególnych sond, a następnie zamieniano ich położenie powtarzając pomiary. Badania wykonano dla temperatur (10; 23; 35) °C. Początkowe wyniki badań okazały się niezadowolające. Z uwagi na dużą pojemność różnice w temperaturze wewnątrz komory wynosiły około 1 °C przy średniej temperaturze 23 °C. W celu poprawienia rozkładów parametrów należało zmniejszyć jej przestrzeń pomiarową. Zamontowano więc w jej środkowej części dodatkową klatkę (komorę badań) o pojemności 80 dm³. Dodatkowo zainstalowany wentylator powoduje wymuszony obieg powietrza a w efekcie większą jednorodność powietrza. Przeprowadzone powtórnie badania rozkładu temperatury wykazały słusność podjętych działań. Wartości rozrzutu temperatury kształtowały się na poziomie (0,1 ÷ 0,3) °C w zależności od średniej wartości temperatury wewnątrz komory, stabilność w czasie 20 minut wynosi

0,05 °C. Z przeprowadzonych badań rozkładu temperatury w komorze klimatycznej opracowano dokumentację i sformułowano wnioski. Przeanalizowane i opracowane wyniki badań pozwoliły również na oszacowanie wartości składowej niepewności będącej funkcją rozkładu temperatury w przestrzeni w której wykonujemy wzorcowanie. Kolejny etap projektu polegał na dobraniu odpowiednich wzorców pozwalających określić wartość poprawną temperatury i wilgotności powietrza z założoną dokładnością.

W skład stanowiska weszły:

1. Platynowy czujnik termometru rezystancyjnego – wzorzec kontrolny o zakresie pomiarowym (-50÷670) °C, posiadający dryft w okresie 13 miesięcy na poziomie 0,001 °C.
2. Platynowy czujnik termometru rezystancyjnego- wzorzec roboczy o zakresie pomiarowym (-200÷420) °C, posiadający dryft w okresie 13 miesięcy na poziomie 0,01 °C.
3. Multimetr cyfrowy z panelem SPRT o zakresie pomiarowym (-260÷962) °C i rozdzielczości 0,0001°C. Multimetr posiada opcje wizualizacji wartości pomiarów w postaci wykresu co pozwala ocenić stopień stabilizacji temperatury wewnątrz komory klimatycznej.
4. Higrometr punktu rosy-wzorzec roboczy o zakresie pomiarowym temperatury punktu rosy (-40÷60) °C, rozdzielczości 0,01 °C, dokładności przyrządu deklarowanej przez producenta ± 0,2 °C, posiadający dryft w okresie 13 miesięcy na poziomie 0,09 °C.

Elementem pomiarowym jest czujnik, który za pomocą powierzchniowej fali akustycznej ocenia stan wykroplenia się wody (lodu) na chłodzonej powierzchni kryształu. Przyrząd ten jest bardziej odporny na zanieczyszczenia w porównaniu z tradycyjnymi urządzeniami z chłodzonym lustrem.

3. METODA POMIAROWA

W podstawowej metodzie wzorcowania przyrządów do monitorowania warunków środowiskowych wartości poprawne określone są na podstawie pomiaru temperatury i temperatury punktu rosy. Obliczenie wartości wilgotności względnej RH umożliwia zależność:

$$RH(t) = \frac{p_s(t_{dp})}{p_s(t)} \cdot 100\%, \quad (1)$$

gdzie: $RH(t)$ – wilgotność względna w temperaturze t ; $p_s(t_{dp})$ – ciśnienie cząstkowe nasyconej pary wodnej w temperaturze punktu rosy t_{dp} oznaczane dalej jako p_1 ; $p_s(t)$ – ciśnienie cząstkowe nasyconej pary wodnej w temperaturze t oznaczane dalej jako p_2 .

Z powyższego wynika że dokładność pomiaru temperatury punktu rosy jest czynnikiem decydującym. Źródłami błędów występujących podczas tego pomiaru mogą być: zła instalacja przewodu zasysającego powietrze do głowicy, brak podgrzewania lub izolacji przewodu zasysającego, zanieczyszczenie zasysanego powietrza, zanieczyszczenie kryształu głowicy pomiarowej. Istnieje więc konieczność ciągłej obserwacji przebiegu procesu wzorcowania. Spójność pomiarowa wymienionych wzorców jest zapewniona poprzez odniesienie odpowiednio do państwowego wzorca jednostki miary temperatury oraz wzorca odniesienia jednostki miary wilgotności względnej powietrza utrzymywanych w GUM.

4. PRZEBIEG WZORCOWANIA

Trzeci etap polegał na opracowaniu dokumentacji stanowiska pomiarowego dla wybranej metody, uruchomieniu stanowiska i wzorcowaniu przyrządów dla zlecniodawców.

W procesie wzorcowania przyrządy sprawdzane umieszczane są w komorze klimatycznej w której odpowiednie parametry klimatu uzyskiwane są przy zastosowaniu sterowania funkcji grzania, chłodzenia, nawilżania i suszenia .

Za pomocą wzorców odniesienia dokonujemy jednocześnie pomiaru temperatury powietrza, temperatury punktu rosy oraz ciśnienia. Temperatura powietrza odczytywana jest w sposób bezpośredni z czujnika termometru rezystancyjnego podłączonego do multimetru cyfrowego z modułem SPRT, jednocześnie stanowi ona temperaturę odniesienia dla higrometru punktu rosy.

Wartość wilgotności względnej powietrza uzyskiwana jest w sposób pośredni z pomiarów temperatury punktu rosy odczytywanej z panelu odczytowego higrometru punktu rosy i wartości odniesienia (temperatury powietrza) opisanej powyżej.

Wzorcowania przyrządów użytkowych dokonujemy przez umieszczenie ich w komorze klimatycznej wraz z czujnikiem rezystancyjnym termometru i przewodem zasysającym powietrze do głowicy pomiarowej higrometru punktu rosy. Przewód nie jest podgrzewany więc po wyjściu z komory musi być izolowany aby nie wpływał na wartość wyniku pomiaru. Ogranicza to możliwość dokonywania wzorcowania w przypadku gdy temperatura punktu rosy wewnątrz komory klimatycznej jest wyższa od temperatury otoczenia. Przekroczenie tej wartości powoduje wykroplenie pary wodnej na ściankach przewodu zasysającego higrometru i zaburzenie wyników pomiarów.

W wyniku wzorcowania wyznaczamy poprawki dla zmierzonych wartości temperatur i wilgotności względnej powietrza. Wartości pośrednie poprawek pomiędzy wybranymi wartościami mogą być określane metodą interpolacji liniowej.

Przy wzorcowaniu termometru lub toru temperatury przyrządu określamy poprawkę Δt_p dla temperatury:

$$\Delta t_p = t_{wz} - t_p - \delta t_{pr}, \quad (2)$$

gdzie: t_{wz} - wartość poprawna temperatury; t_p - wskazania przyrządu wzorcowanego; δt_{pr} - poprawka związana z rozdzielczością przyrządu wzorcowanego:

$$t_{wz} = t_s + \Delta t_s + \delta t_{sd} + \delta t_{sr} + \delta t_k, \quad (3)$$

gdzie: t_s - wskazania termometru – wzorca roboczego; Δt_s - poprawka dla wskazań termometru – wzorca roboczego, określana przy jego wzorcowaniu; δt_{sd} - poprawka związana z dryfem termometru – wzorca roboczego, δt_{sr} - poprawka związana z rozdzielczością termometru – wzorca roboczego; δt_k - poprawka związana z rozkładem temperatury w komorze klimatycznej.

Ostateczna postać równania pomiaru dla toru temperatury:

$$\Delta t_p = t_s + \Delta t_s + \delta t_{sd} + \delta t_{sr} + \delta t_k - t_p - \delta t_{pr}. \quad (4)$$

Równanie pomiaru dla wilgotności względnej (określa poprawkę dla wilgotności względnej):

$$\Delta RH_p = RH_{wz} - RH_p - \delta RH_{pr} - \delta RH_{ph}, \quad (5)$$

gdzie: RH_{wz} wartość wilgotności względnej wzorca roboczego; RH_p - wskazania wilgotności względnej przyrządu wzorcowanego; δRH_{pr} - poprawka związana z rozdzielczością przyrządu wzorcowanego; δRH_{ph} - poprawka związana z histerezą przyrządu wzorcowanego:

$$RH_{wz} = RH_{obl} + \delta RH_{dp} + \delta RH_t, \quad (6)$$

gdzie: RH_{obl} - wilgotność względna obliczona na podstawie pomiarów temperatury odniesienia i temperatury punktu rosy; δRH_{dp} - poprawka związana z torem temperatury punktu rosy; δRH_t - poprawka związana z torem temperatury.

Ostatecznie równanie pomiaru dla wilgotności względnej przyjmie postać:

$$\Delta RH_p = RH_{obl} + \delta RH_{dp} + \delta RH_t - RH_p - \delta RH_{pr} - \delta RH_{ph}. \quad (7)$$

Nieodłącznym elementem procesu wzorcowania jest określenie niepewności pomiaru dla zastosowanego stanowiska pomiarowego i metody pomiarowej.

W budżecie niepewności wartości wejściowe związane z wzorcami i przyrządami pomocniczymi przyjmowane są na podstawie ich świadectw wzorcowania, danych producenta i badań własnych. Wartości wejściowe związane z przyrządami wzorcowanymi są przyjmowane na podstawie obserwacji wskazań przyrządu. Poprawność stosowanej metody pomiarowej i procesu wzorcowania została potwierdzona poprzez porównania międzylaboratoryjne. W 2008 r. pracownia otrzymała akredytację w tej dziedzinie.

Tabela 1

Przykład budżetu dla temperatury

Symbol wielkości X_i	Estymata wielkości x_i	Niepewność standardowa $u(x_i)$	Rozkład prawdopodobieństwa	Współczynnik wrażliwości c_i	Udział w złożonej Niepewności standardowej $u_i(y)$
t_s	20,000 °C	0,00289	prostokątny	1	0,00289 °C
Δt_s	0 °C	0,01	normalny	1	0,01 °C
δt_{sd}	0 °C	0,00577	prostokątny	1	0,00577 °C
δt_{sr}	0 °C	0,00289	prostokątny	1	0,00289 °C
δt_k	0 °C	0,0289	prostokątny	1	0,0289 °C
t_p	19,8 °C	0,0289	prostokątny	1	0,0289 °C
δt_{pr}	0 °C	0,0289	prostokątny	1	0,0289 °C
Δt_p	+ 0,2 °C			$u_{\Delta t_p}$	0,05 °C
				$U_{\Delta t_p}$	0,10 °C

Tabela 2

Przykład budżetu dla wilgotności względnej

Symbol wielkości X_i	Estymata wielkości x_i	Niepewność standardowa $u(x_i)$	Rozkład prawdopodobieństwa	Współczynnik wrażliwości c_i	Udział w złożonej niepewności standardowej $u_i(y)$
RH_{obl}	50,02 %	0,00354 %	prostokątny	1	0,00354 %
t_{dp}	+ 9,25 °C	0,02887 °C	prostokątny	3,372 %/°C	0,097346091 %
Δt_{dp}	+ 0,03 °C	0,02 °C	normalny	3,372 %/°C	0,06744335 %
δt_{pd}	0 °C	0,02887 °C	prostokątny	3,372 %/°C	0,097346091 %
δt_{pr}	0 °C	0,00289 °C	prostokątny	3,372 %/°C	0,009734609 %
t_s	+ 20,000 °C	0,00289 °C	prostokątny	3,100 %/°C	0,008948012 %
Δt_s	0 °C	0,01 °C	normalny	3,100 %/°C	0,030996824 %
δt_{sd}	0 °C	0,00577 °C	prostokątny	3,100 %/°C	0,017896025 %
δt_{sr}	0 °C	0,00289 °C	prostokątny	3,100 %/°C	0,008948012 %
δt_k	0 °C	0,02887 °C	prostokątny	3,100 %/°C	0,089480123 %
RH_p	50,3 %	0,02887 %	prostokątny	1	0,028867513 %
δRH_p	0 %	0,02887 %	prostokątny	1	0,028867513 %
δRH_{ph}	0 %	0,28868 %	prostokątny	1	0,288675135 %
ΔRH_p	- 0,28 %			$u_{\Delta RH_p}$	0,34 %
				$U_{\Delta RH_p}$	0,69 %

5. PODSUMOWANIE

Pomiar warunków środowiskowych jest nieodłącznym elementem każdego procesu pomiarowego, technologicznego i produkcyjnego. Z tego względu systemy monitorowania warunków klimatycznych stają się powszechne a ilość przyrządów służących temu celowi stale rośnie. Stanowisko do wzorcowania przyrządów do pomiaru wilgotności względnej i temperatury powietrza zapewnia sprowadzenie wartości odczytywanych z termohigrometrów i termometrów do wartości poprawnej temperatury i wilgotności powietrza poprzez odniesienie do wzorca odniesienia jednostki miary wilgotności powietrza oraz do państwowego wzorca jednostki miary temperatury utrzymywanych w GUM.

LITERATURA

1. Kostyrko K., Okołowicz-Grabowska B.: Pomiary i regulacja wilgotności w pomieszczeniach, Arkady, Warszawa 1977.
2. EA-4/02, Wyrażanie niepewności pomiaru przy wzorcowaniu.