

Badanie komfortu cieplnego w budynkach – część 2

Parametrem najczęściej utożsamianym ze środowiskiem cieplnym jest temperatura. Jednym z częściej stosowanych, bardziej miarodajnych wskaźników – oprócz temperatury powietrza – jest **temperatura operatywna** (zwana też *operacyjną, odczuwalną*). Jest to temperatura odczuwalna, odbierana bezpośrednio przez człowieka i jest wypadkową działania temperatury powietrza oraz średniej temperatury promieniowania otoczenia. Można ją obliczyć jako średnią tych dwóch zmierzonych temperatur, jeśli różnica między nimi nie przekracza 4°C lub prędkość powietrza jest nie większa niż 0,2 m/s. W przeciwnym razie należy uwzględnić odpowiednie współczynniki.

Dla pomieszczeń użytkowych takich jak: sypialnie, salony, kuchnie itd. w budynkach mieszkalnych wyposażonych w aktywne systemy ogrzewania i chłodzenia, zaleca się – zgodnie z EN 16798-1 [1] – następujące wartości temperatury operatywnej w zależności od aktywności fizycznej człowieka i izolacyjności odzieży oraz przy wilgotności względnej 50%:

- minimalną temperaturę operatywną w sezonie grzewczym równą 20°C (~1,2 met; ~1,0 clo)
- maksymalną temperaturę operatywną w sezonie chłodniczym równą 26°C (~1,2 met; ~0,5 clo)

Powyższe wartości dotyczą II kategorii klasyfikacji środowiska wewnętrznego, która oznacza średni poziom oczekiwań w zakresie komfortu cieplnego.

Adaptacyjne temperatury komfortowe

Metodą alternatywną wyznaczania temperatury operatywnej jest stosowanie metody opartej na kryterium adaptacyjnego komfortu cieplnego. Metoda ta jest ujęta zarówno w normie EN 16798-1 [1], jak i zaleceniach CIBSE [2] oraz ASHRAE [3] i dotyczy budynków mieszkalnych oraz biurowych bez aktywnych systemów chłodzenia. Zakłada ona, że organizm ludzki jest w stanie dostosować się do warunków otoczenia cieplnego w budynkach. Temperatura powietrza wewnętrznego, którą człowiek odczuwa jako zbyt wysoką w okresie chłodnym, jest przez niego akceptowalna podczas okresu ciepłego (np. fal upałów). Adaptacja ma związek z możliwością wpływu użytkownika budynku na warunki cieplne poprzez np. otwieranie i zamykanie okien, żaluzji, dostosowywanie odzieży do danych warunków klimatycznych itp.

Adaptacyjne podejście do zagadnienia komfortu cieplnego uwzględnia korelację pomiędzy zewnętrzną i wewnętrzną temperaturą w budynkach bez mechanicznego chłodzenia, dlatego adaptacyjne temperatury komfortowe zależą od zmian temperatury zewnętrznej i bazują na temperaturach zewnętrznych z kilku ostatnich dni.

Średnia bieżąca temperatura zewnętrzna T_{rm} jest obliczana w następujący sposób:

$$\theta_{rm} = (1 - \alpha) \cdot \{\theta_{ed-1} + \alpha \cdot \theta_{ed-2} + \alpha^2 \theta_{ed-3} \dots\}$$

gdzie:

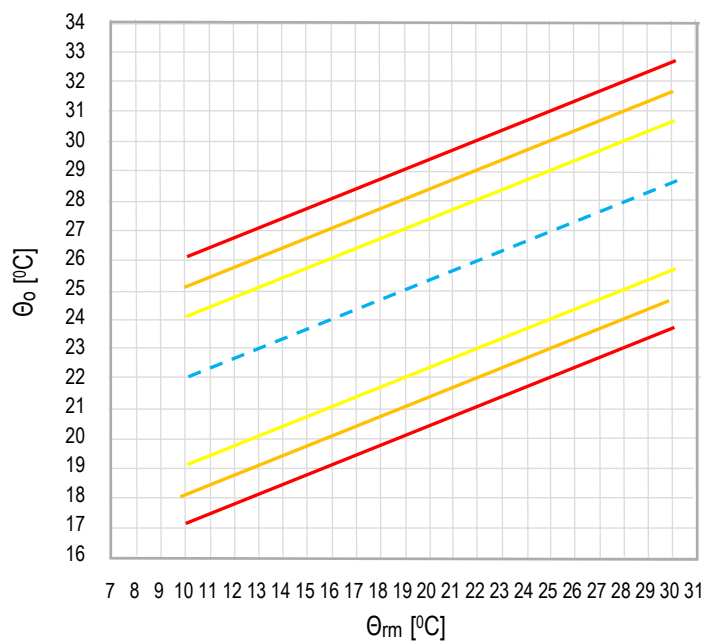
θ_{rm} – średnia bieżąca temperatura zewnętrzna [°C]

θ_{ed-1} – dzienna średnia temperatura powietrza zewnętrznego dla dnia poprzedniego [°C]

θ_{ed-i} – dzienna średnia temperatura powietrza zewnętrznego dla i -tego dnia poprzedniego, (i =2, 3...)
[°C]

α – stała wartość między 0 i 1 (zalecana wartość to 0,8)

Dopuszczalne temperatury operatywne θ_o (dolny i górny limit) oraz optymalna temperatura operatywna są wykreślane w funkcji bieżącej średniej temperatury zewnętrznej (Rys.1).



Rys.1. Temperatura operatywna θ_o w funkcji średniej bieżącej temperatury zewnętrznej θ_{rm} . Linia czerwona – kategoria I (oczekiwania niskie), linia pomarańczowa – kategoria II (oczekiwania umiarkowane), linia żółta – kategoria III (oczekiwania średnie), linia niebieska przerywana – optymalna temperatura operatywna.

Formuły obliczeniowe, które reprezentują poszczególne linie na rys.1 są następujące:

Kategoria I górny limit: $\theta_o = 0,33 \theta_{rm} + 18,8 + 2$

 dolny limit: $\theta_o = 0,33 \theta_{rm} + 18,8 - 3$

Kategoria II górny limit: $\theta_o = 0,33 \theta_{rm} + 18,8 + 3$

 dolny limit: $\theta_o = 0,33 \theta_{rm} + 18,8 - 4$

Kategoria II górny limit: $\theta_o = 0,33 \theta_{rm} + 18,8 + 4$

 dolny limit: $\theta_o = 0,33 \theta_{rm} + 18,8 - 5$

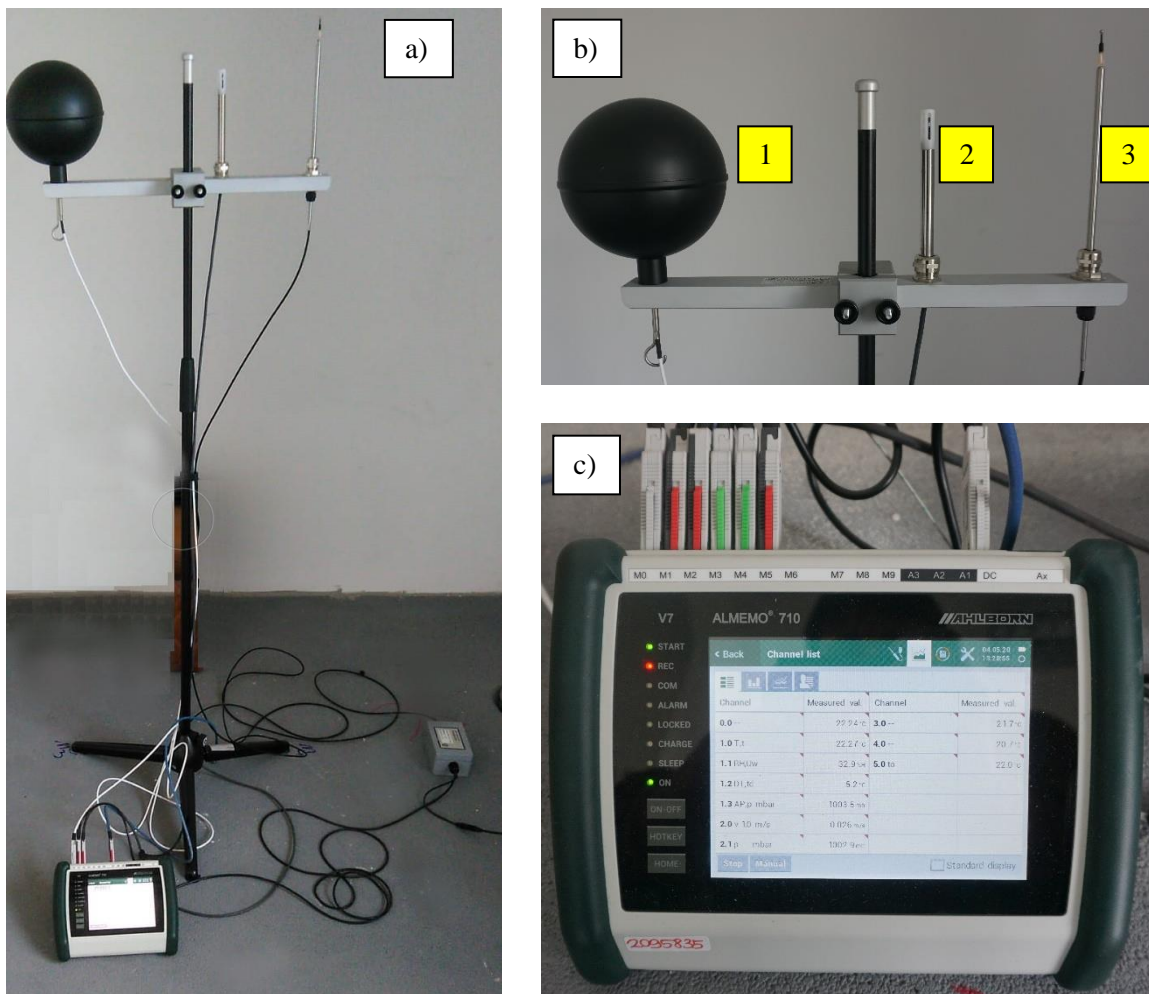
Optymalną temperaturę operatywną wyznacza się ze wzoru:

$$\theta_c = 0,33 \theta_{rm} + 18,8$$

Powyższe limity mają zastosowanie tylko gdy $10^\circ\text{C} < \theta_{rm} < 30^\circ\text{C}$

Pomiary parametrów komfortu cieplnego

Na rys. 2 zaprezentowano kompletny zestaw do pomiaru parametrów komfortu cieplnego.



Rys.2. Zestaw do badania komfortu cieplnego a), b) Statyw z czujnikami; c) Rejestrator

W jego skład wchodzi następujące urządzenia:

- stojak z urządzeniami pomiarowymi (Rys.2a i 2b) w tym:

1 – termometr kulisty

2 – czujnik do pomiaru temperatury powietrza, wilgotności względnej i ciśnienia

3 – termoelektryczny czujnik do pomiaru przepływu powietrza

- rejestrator pomiarów (Rys. 2c)
- oprogramowanie komputerowe

Dzięki temu systemowi możliwy jest jednoczesny pomiar wszystkich parametrów fizycznych niezbędnych do oceny komfortu cieplnego na trzech poziomach (wysokościach) od 0,1 do 1,7 metrów – co umożliwia regulowany stojak. Zarejestrowane wyniki pomiarów temperatury poczernionej kuli, temperatury pomieszczenia oraz przepływu i wilgotności powietrza w pomieszczeniu, a także niezbędne parametry wejściowe (wartość C_{lo} i Met) są wykorzystywane łącznie do obliczenia wartości PMV i PPD, a także temperatury operatywnej (w metodzie opartej na średniej temperaturze promieniowania i średniej temperaturze powietrza wewnętrznego). Jest to możliwe za pomocą oprogramowania będącego częścią zestawu pomiarowego.

[1] EN 16798-1: Charakterystyka energetyczna budynków - Wentylacja budynków - Część 1: Parametry wejściowe środowiska wewnętrznego do projektowania i oceny charakterystyki energetycznej budynków w odniesieniu do jakości powietrza wewnętrznego, środowiska cieplnego, oświetlenia i akustyki - Moduł M1-6.

[2] CIBSE TM52: 2013 (The Chartered Institution of Building Services Engineers London). The limits of thermal comfort: avoiding overheating in European buildings.

[3] ANSI/ASHRAE Standard 55-2017 (The American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers). Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy.

Opracowanie:

Dr inż. Anna Staszczuk