DOI: 10.65545/COW.2026.11.02




# Komfort cieplny użytkowników sal operacyjnych - wpływ systemu wentylacji

## Thermal comfort of operating room users – the impact of the ventilation system




**Mgr inż. Dominika Kwiecińska**

ORCID ID: 0009-0001-3323-6998
Wydział Inżynierii Środowiska
Politechnika Warszawska
dominika.kwiecinska@pw.edu.pl



**Dr hab. inż. Anna Bogdan, prof. PW**

ORCID ID: 0000-0003-1502-6548
Wydział Inżynierii Środowiska
Politechnika Warszawska



**Mgr inż. Marcin Michalski**

ORCID ID: 0009-0004-6522-2138
Wydział Inżynierii Środowiska
Politechnika Warszawska


**Słowa kluczowe**: szpital, sala operacyjna, komfort cieplny, HVAC, personel medyczny, pacjent


**Streszczenie**

Zapewnienie odpowiednich warunków środowiska wewnętrznego w salach operacyjnych stanowi istotne wyzwanie projektowe, wymagające pogodzenia wymagań higienicznych z komfortem cieplnym personelu medycznego i bezpieczeństwem pacjenta. Celem pracy była ocena wpływu typu systemu wentylacyjnego (laminarnego – LAF oraz mieszającego – MV) oraz temperatury nawiewu (19°C i 26°C) na subiektywną ocenę komfortu cieplnego w warunkach symulowanej sali operacyjnej.

Badania przeprowadzono w laboratorium odwzorowującym rzeczywiste warunki Sali operacyjnej. W badaniu uczestniczyło 50 zdrowych ochotników (25 kobiet i 25 mężczyzn), którzy brali udział w czterech wariantach badania: LAF19, MV19, LAF26 oraz MV26. Ocenę komfortu przeprowadzono z wykorzystaniem standaryzowanego kwestionariusza obejmującego subiektywne odczucia cieplne, preferencje temperaturowe oraz percepcję duszności. Ankietę wypełniano czterokrotnie co 30 minut.

Wyniki wykazały istotne statystycznie różnice w zakresie odczuć cieplnych oraz preferencji temperaturowych pomiędzy wariantami LAF26 i MV26 ($p < 0,05$). W wariantach o temperaturze 19°C obserwowano narastanie odczuć chłodu wraz z czasem ekspozycji. Przy temperaturze 26°C dominowały odpowiedzi wskazujące na warunki neutralne lub ciepłe, jednak wzrastała częstość deklarowanej duszności. Analiza post-hoc wykazała, że percepcja jakości powietrza była silniej związana z poziomem temperatury niż z typem systemu wentylacji.

Wyniki wskazują, że wpływ systemu wentylacji na ocenę komfortu był widoczny w warunkach wyższej temperatury nawiewu. Optymalizacja mikrośrodowiska operacyjnego powinna uwzględniać zróżnicowane wymagania termiczne personelu oraz ryzyko hipotermii pacjenta.


**Keywords:** hospital, operating room, thermal comfort, HVAC, medical staff, patient


**Abstract**

Ensuring appropriate indoor environmental conditions in operating rooms is a significant design challenge, requiring a balance between hygienic requirements, the thermal comfort of medical staff, and patient safety. The aim of this study was to evaluate the influence of the ventilation system type (laminar airflow – LAF and mixing ventilation – MV) and supply air temperature (19°C and 26°C) on the subjective assessment of thermal comfort under simulated operating room conditions.

The study was conducted in a laboratory replicating real operating room conditions. Fifty healthy volunteers (25 women and 25 men) participated in four experimental variants: LAF19, MV19, LAF26, and MV26. Thermal comfort assessment was performed using a standardized questionnaire including subjective thermal sensation, temperature preferences, and perception of stuffiness. The questionnaire was completed four times at 30-minute intervals.

The results showed statistically significant differences in thermal sensations and temperature preferences between the LAF26 and MV26 variants ($p < 0.05$). In the 19°C variants, an increasing sensation of cold was observed with prolonged exposure time. At 26°C, responses indicating neutral or warm conditions predominated; however, the frequency of reported stuffiness increased. Post-hoc analysis demonstrated that the perception of air quality was more strongly associated with temperature level than with the type of ventilation system.

## Wstęp

Komfort cieplny wyraża satysfakcję danej osoby lub grupy osób z warunków termicznych środowiska w pomieszczeniach, w którym osoba (osoby) ta przebywa (ASHRAE, 2019). Na komfort cieplny wpływają takie parametry jak: temperatura powietrza, prędkość powietrza, wilgotność, metabolizm osoby, izolacyjność cieplna odzieży czy cechy indywidualne (wiek, masa ciała). Kompleksowe prace nad oceną komfortu cieplnego rozpoczął zespół profesora Povl Ole Fangera w latach 60. XX wieku w Danii. Wynikiem tych badań było wydanie publikacji, która zawierała przedstawienie modelu PMV (Predicted Mean Vote), określającego przewidywane średnie odczucie cieplnej grupy osób, która przebywa w danym pomieszczeniu, uwzględniające takie czynniki jak: temperatura powietrza, średnia temperatura promieniowania, prędkość ruchu powietrza, wilgotność względną, metabolizm i izolacyjność odzieży. Model ten stał się bazą norm *ISO 7730:2005 Ergonomics of the Thermal Environment — Analytical Determination and Interpretation of Thermal Comfort Using Calculation of the PMV and PPD Indices and Local Thermal Comfort Criteria oraz ANSI/ASHRAE Standard 55, Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*, przy czym norma ASHRAE dodatkowo zawiera model adaptacyjny uwzględniający adaptację behawioralną, fizjologiczną i psychologiczną (model ten ma zastosowanie w obiektach wentylowanych naturalnie, m.in w biurach, szkołach czy budynkach mieszkalnych).

Jednym z zadań środowiska wewnętrznego w salach operacyjnych jest zapewnienie bezpieczeństwa i komfortowych dla pacjenta i personelu medycznego. Oprócz podstawowej funkcji związanej z kontrolą jakości powietrza, systemy wentylacyjne oddziałują na rozkład temperatury, prędkość przepływu powietrza i poziom wilgotności w strefie operacyjnej. Parametry te bezpośrednio wpływają na mechanizmy wymiany ciepła pomiędzy człowiekiem a środowiskiem, a tym samym na komfort cieplny pacjenta oraz zespołu operacyjnego. Zazwyczaj w salach operacyjnych stosowane są następujące systemy wentylacyjne: jednokierunkowy przepływ laminarny oraz system mieszający, przy czym pierwszy z nich bazuje na jednokierunkowym przepływie powietrza z sufitu nad stołem operacyjnym w kierunku podłogi, natomiast drugie zakłada turbulentny nawiew powietrza z sufitu, które intensywnie miesza się z powietrzem w pomieszczeniu. Przeprowadzone badania (Karahan et al., 2020; Wang et al., 2025) ventilation and air conditioning (HVAC wśród personelu okołooperacyjnego stwierdzają, że na odczucie komfortu cieplnego wpływa temperatura, ruch powietrza, płeć, wykonywana praca czy ilość i rodzaj odzieży. Określono również różnice odczuć pomiędzy personelem medycznym. Chirurdzy częściej zgłaszali odczucie gorąca, a anestezjolodzy odczuwali zimno i dyskomfort związany z niską temperaturą otoczenia. Obecne na sali operacyjnej pielęgniarki deklarowały najwyższy poziom komfortu termicznego. Różnice te wynikają z wykonywanej pracy, różnego poziomu metabolizmu, płci i wieku oraz odzieży medycznej. W centrum sali operacyjnej jest pacjent, który zazwyczaj poddany jest znieczuleniu ogólnemu lub miejscowemu. Powoduje to obniżenie zdolności organizmu pacjenta do reakcji termoregulacyjnej. Ocenia się, że wśród 50–90% (Torossian, 2009; Young & Watson, 2006) pacjentów może dochodzić do niezamierzonej hipotermii okołooperacyjnej, co może powodować dreszcze, zaburzenia krzepnięcia, zakażania miejsca operowanego czy wydłużenie rekonwalescencji i pobytu w szpitalu (Sessler, 2016).

Choć literatura ostatnich lat obejmuje zagadnienia związane z komfortem cieplnym personelu medycznego (Rodrigues et al., 2013; Uścinowicz et al., 2015; Zhou et al., 2025), wciąż niewystarczająco rozpoznany pozostaje wpływ różnych systemów wentylacyjnych na subiektywną ocenę warunków cieplnych podczas symulowanych zabiegów operacyjnych. Przeprowadzone badania stanowią próbę wypełnienia tej luki oraz poszerzenia aktualnego stanu wiedzy w zakresie kształtowania mikroklimatu w salach operacyjnych.

## Metodyka

Na etapie opracowywania protokołu badawczego założono, że do analizy zostaną wybrane dwa rozwiązania wentylacyjne: system wentylacji mieszającej oraz jednokierunkowy przepływ laminarny, ponieważ są to systemy najczęściej wybierane do sal operacyjnych. Następnie na podstawie europejskich wytycznych *(AFNOR SPEC S99-120 French Best Practice Guide for Hospital Construction and Operation Aboard i DIN SPEC 94676:2018-07 Ventilation in Hospitals - Coherent Hierarchic Structure and Common Terms and Definitions for a Standard Related to Ventilation in Hospitals*) określono dwie skrajne temperatury powietrza nawiewanego 19°C i 26°C dopuszczalne w salach operacyjnych. Uwzględniając te założenia opracowano cztery warianty badania: MV19 – obejmuje system wentylacji mieszającej przy temperaturze nawiewu wynoszącej 19°C, MV26 – obejmuje system wentylacji mieszającej przy temperaturze nawiewu wynoszącej 26°C, LAF19 – obejmuje system wentylacji laminarnej przy temperaturze nawiewu wynoszącej 19°C oraz LAF26 – obejmuje system wentylacji laminarnej przy temperaturze nawiewu wynoszącej 26°C.

W badaniu uczestniczyło 50 osób, w tym 25 kobiet i 25 mężczyzn, w wieku od 18 do 25 lat. Przed rozpoczęciem badań każdy ochotnik przeszedł szczegółowe badanie lekarskie przeprowadzone przez lekarza nadzorującego projekt, które stanowiło podstawę kwalifikacji do udziału. Do udziału kwalifikowano wyłącznie osoby zdrowe. Średni wzrost kobiet wynosił 1,69 ± 0,038 m, a masa ciała 61,7 ± 5,8 kg. Natomiast u mężczyzn średnia wysokość wynosiła 1,79 ± 0,040 m, a masa ciała 70,1 ± 5,7 kg. Każda osoba brała udział w badaniu czterokrotnie w każdym wariancie. W trakcie badań uczestnicy mieli na sobie własną bieliznę (majtki/slipy oraz biustonosz), jednorazowy fartuch z włókniny oraz czepek z tego samego materiału, odpowiadające standardowemu wyposażeniu stosowanemu w salach operacyjnych.

Ocenę komfortu uczestników badania dokonano z wykorzystaniem kwestionariusza opracowanego w oparciu o normę PN-EN ISO 28802:2012 *Ergonomia środowiska fizycznego — Ocena z zastosowaniem ekspertyzy dotyczącej środowiska obejmującej pomiary wielkości fizycznych środowiska i oceny subiektywne wykonane przez osoby* oraz własnego doświadczenia zespołu badawczego. Narzędzie obejmowało 19 pytań odnoszących się do parametrów

środowiska cieplnego sali operacyjnej, w tym temperatury, ruchu powietrza, wilgotności oraz odczuć cieplnych w obrębie poszczególnych części ciała. Ze względu na obszerność zgromadzonego materiału, w niniejszej pracy przedstawiono wyniki dotyczące wybranych zagadnień związanych z subiektywną oceną komfortu cieplnego.

Respondenci odpowiadali poniższe pytania:

- Jak Pani/Pan może opisać swoje odczucia cieplne w tej chwili? Możliwe odpowiedzi: gorąco (oznaczenia +3), ciepło (oznaczenie +2), nieznacznie ciepło (+1), neutralnie (oznaczenie 0), nieznacznie chłodno (oznaczenie –1), chłodno (oznaczenie –2), zimno (oznaczenie –3),
- Jak Pani wolałaby/Pan wolałby, aby było w sali operacyjnej? Możliwe odpowiedzi: znacznie cieplej (oznaczenia +3), cieplej (oznaczenie +2), nieznacznie cieplej (+1), bez zmian (oznaczenie 0), nieznacznie chłodniej (oznaczenie –1), chłodniej (oznaczenie –2), znacznie chłodniej (oznaczenie –3),
- Jak Pani/Pan może opisać swoje odczucia odnośnie duszności w sali w tej chwili? Możliwe odpowiedzi: bardzo duszno (oznaczenie +3), duszno (oznaczenie +2), nieznacznie duszno (oznaczenie +1), nie odczuwam duszności (oznaczenie 0).

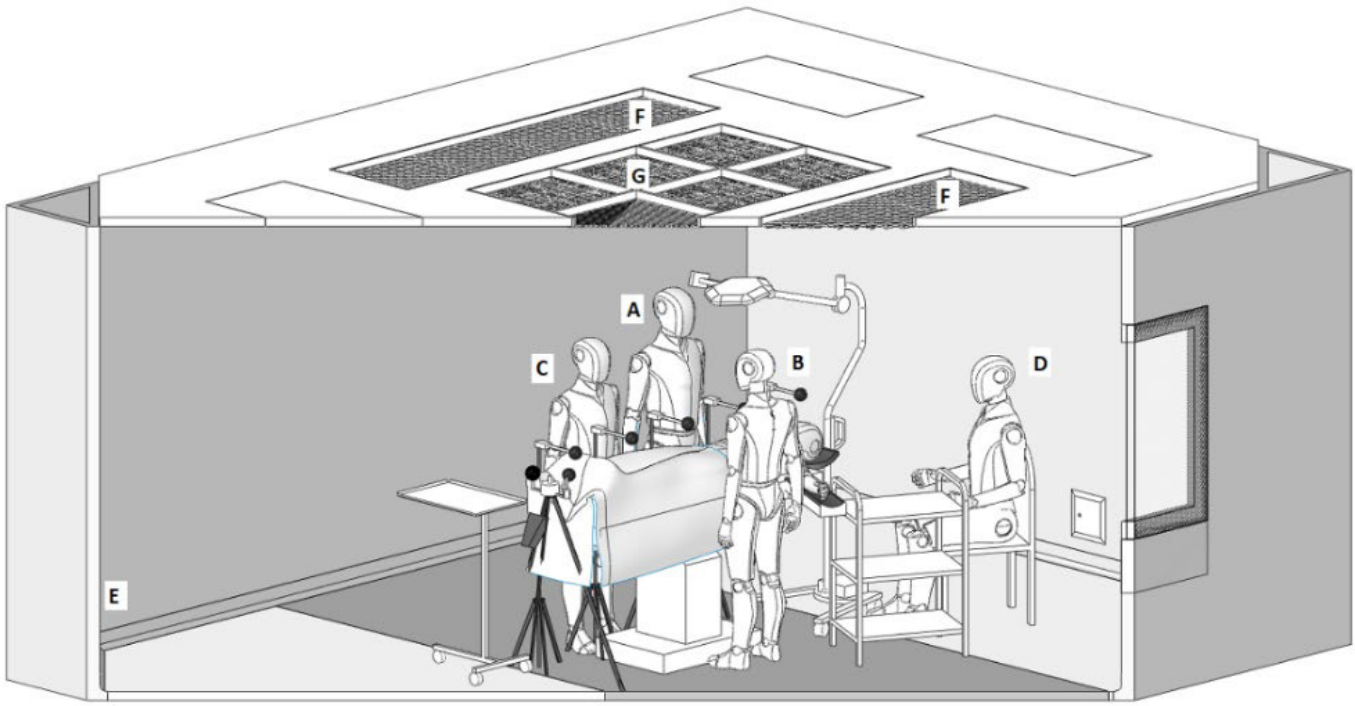
Badanie trwało 90 minut, a sam kwestionariusz był wypełniany co 30 minut. Pomiary realizowano na początku badania (moment 0) oraz po 30, 60 i 90 minutach. Metodyka badań uzyskała pozytywną opinię Zespołu ds. Etyki Badań z Udziałem Człowieka Politechniki Warszawskiej.

Badania realizowano w laboratorium odwzorowującym warunki sali operacyjnej o powierzchni 24,77 $m^2$, wyposażonym w dwa niezależne systemy wentylacyjne: wentylację mieszającą oraz system jednokierunkowego przepływu laminarnego. Strumień objętości powietrza wynosił 2545 $m^3/h$ w przypadku instalacji LAF oraz 2180 $m^3/h$ dla systemu MV. Średnia prędkość przepływu powietrza kształtowała się odpowiednio na poziomie 0,22 m/s (LAF) i 0,30 m/s (MV), przy odchyleniu standardowym równym 0,072 m/s dla LAF oraz 0,0875 m/s dla MV. W pomieszczeniu utrzymywano stałe nadciśnienie o wartości +15 Pa względem otoczenia. Centralnym elementem wyposażenia było regulowane stanowisko operacyjne, którego blat ustawiono na wysokości 0,9 m. Wokół stołu rozmieszczono trzy podgrzewane manekiny odzwierciedlające role personelu medycznego: chirurg główny (A), asystent chirurga (B) oraz pielęgniarka (C). Dodatkowo, po lewej stronie ochotnika, w pozycji siedzącej był anestezjolog (D). Na Rysunku 1 wyloty powietrza oznaczono literą E, nawiewniki systemu LAF literą F, natomiast nawiewniki wentylacji mieszającej literą G. Z badanym był stały kontakt wzrokowy i głosowy przez całe badanie.

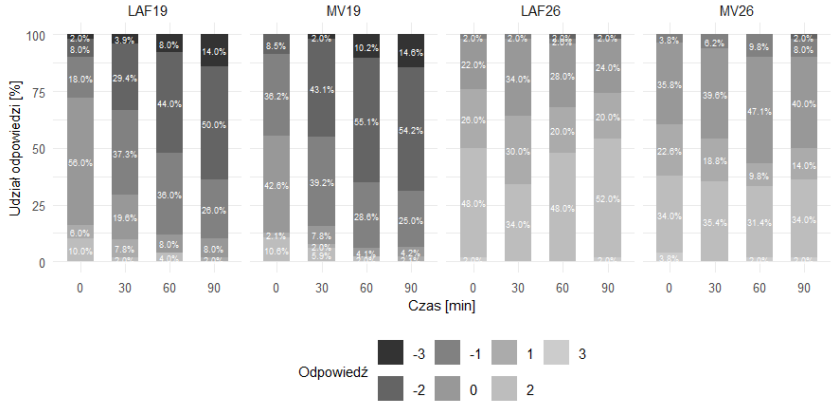
## Wyniki

Na początku zadano pytanie dotyczące subiektywnych odczuć cieplnych. Analiza statystyczna wykazała istotne różnice tylko pomiędzy wariantem LAF26 i MV26. Natomiast warto podkreślić, że podczas wariantów MV19 i LAF19 wraz z kolejnymi punktami pomiarowymi wzrasta odsetek odpowiedzi określających środowisko cieplne jako zimne, chłodne lub lekko chłodne. Rysunek 2 przedstawia procent odpowiedzi w zależności od wariantu i momentu badania.

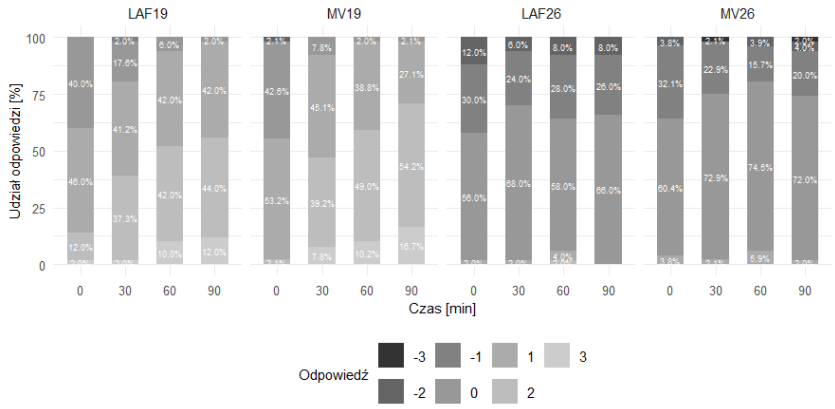
Podczas realizacji wariantu LAF26 w punkcie początkowym „0" 76,0% badanych określiło swoje odczucia jako „gorąco", „ciepło" lub „lekko ciepło", natomiast 22,0% uczestników wybrało odpowiedź „neutralnie". W przypadku wariantu MV26 odczuwanie ciepła w różnym nasileniu zadeklarowało 60,4% osób, a 35,8% oceniło warunki jako neutralne.



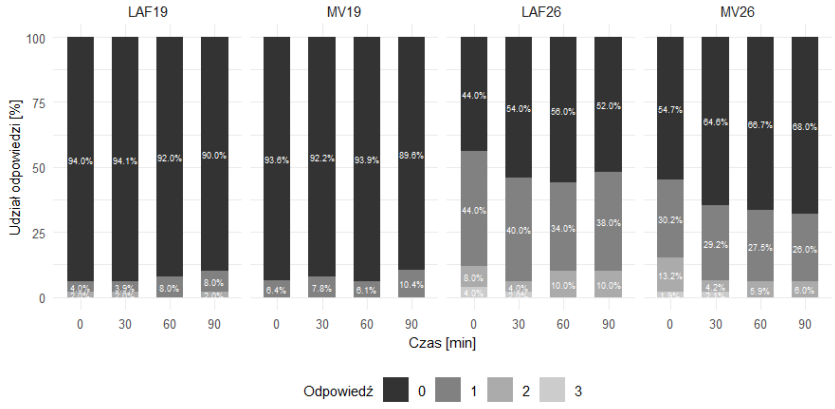

Rysunek 1. Schemat stanowiska badawczego. Źródło: opracowanie własne
Figure 1. Schematic diagram of the experimental setup. Source: authors' own study




Rysunek 2. Procent odpowiedzi w odniesieniu do wariantu badania i czasu badania. Odpowiedzi: gorący (oznaczenie +3), ciepły (oznaczenie +2), lekko ciepły (oznaczenie +1), neutralny (oznaczenie 0), lekko chłodny (oznaczenie −1), chłodny. Źródło: opracowanie własne
Figure 2. Percentage of responses depending on the experimental variant and exposure time. Responses: hot (coded as +3), warm (coded as +2), slightly warm (coded as +1), neutral (coded as 0), slightly cool (coded as −1), cool. Source: authors' own study




Rysunek 3. Procent odpowiedzi w odniesieniu do wariantu badania i czasu badania. Odpowiedzi: znacznie cieplej (oznaczenie +3), cieplej (oznaczenie +2), nieznacznie cieplej (oznaczenie +1), bez zmian (oznaczenie 0), nieznacznie chłodniej (oznaczenie −1), chłodniej (oznaczenie −2). Źródło: opracowanie własne
Figure 3. Percentage of responses depending on the experimental variant and exposure time. Responses: much warmer (coded as +3), warmer (coded as +2), slightly warmer (coded as +1), no change (coded as 0), slightly cooler (coded as −1), cooler (coded as −2). Source: authors' own study




Rysunek 4. Procent odpowiedzi w odniesieniu do wariantu badania i czasu badania. Odpowiedzi: bardzo duszno (oznaczenie +3), duszno (oznaczenie +2), nieznacznie duszno (oznaczenie +1), nie odczuwam duszności (oznaczenie 0). Źródło: opracowanie własne
Figure 4. Percentage of responses depending on the experimental variant and exposure time. Responses: very stuffy (coded as +3), stuffy (coded as +2), slightly stuffy (coded as +1), no sensation of stufiness (coded as 0). Source: authors' own study

Po 30 minutach odsetek odpowiedzi wskazujących na odczucie gorąca w różnym stopniu wynosił 64,0% dla LAF26 oraz 54,2% dla MV26. Odpowiedź „neutralnie" zaznaczyło odpowiednio 34,0% (LAF26) i 39,6% (MV26) uczestników.

Po upływie 60 minut odpowiedzi „gorąco", „ciepło" i „lekko ciepło" wskazało 68,0% badanych w wariancie LAF26 oraz 43,1% w wariancie MV26. Warunki jako neutralne oceniło 28,0% osób w LAF26 i 47,1% w MV26, natomiast pozostałe odpowiedzi odnosiły się do odczuć chłodu o różnym natężeniu.

W czwartym pomiarze (90 min) odpowiedzi klasyfikujące środowisko jako ciepłe stanowiły 74,0% w wariancie LAF26 oraz 50,0% w wariancie MV26. Odpowiedź „neutralnie" wybrało 24,0% uczestników LAF26 i 40,0% w MV26.

Następnie opracowano wyniki dotyczące preferencji ochotników w zakresie preferencji warunków środowiska cieplnego. Na Rysunku 3 zaprezentowano procent odpowiedzi względem wariantu i momentu badania. Istotne statystycznie różnice ($p < 0,05$) odnotowano wyłącznie pomiędzy wariantami LAF26 i MV26. W przypadku wariantów MV19 oraz LAF19 zaobserwowano natomiast, że wraz z upływem czasu zwiększał się odsetek odpowiedzi wskazujących na preferencję wyższej temperatury w sali operacyjnej.

Analizując warianty LAF26 i MV26 w punkcie początkowym (0 min), odpowiedź „bez zmian" wskazało 56,0% badanych w LAF26 oraz 60,4% w MV26. Chęć obniżenia temperatury („nieco chłodniej" lub „chłodniej") zadeklarowało 42,0% (LAF26) i 35,8% (MV26), natomiast potrzebę podwyższenia temperatury w różnym stopniu zgłosiło odpowiednio 2,0% i 3,8%.

Po 30 minutach odpowiedź „bez zmian" wybrało 68,0% uczestników w wariancie LAF26 oraz 72,9% w MV26. Odpowiedzi sugerujące preferencję chłodniejszych warunków („nieco chłodniej", „chłodniej" lub „zimniej") stanowiły 30,0% w LAF26 i 25,0% w MV26.

Po upływie 60 minut „bez zmian" wskazało 58,0% badanych (LAF26) oraz 74,5% (MV26). Chęć obniżenia temperatury („nieco chłodniej", „chłodniej") zadeklarowało 36,0% (LAF26) i 19,6% (MV26), natomiast odpowiedzi „nieco cieplej" lub „cieplej" stanowiły 6,0% w LAF26 oraz 5,9% w MV26.

Podczas ostatniej ankiety odpowiedź „bez zmian" zaznaczyło 66,0% uczestników wariantu LAF26 i 72,0% wariantu MV26. Niższą temperaturę („nieco chłodniej", „chłodniej") wskazało 34,0% badanych w LAF26 oraz 26,0% w MV26, natomiast odpowiedź „nieco cieplej" pojawiła się wyłącznie w MV26 i wyniosła 2,0%.

Ostatnie pytanie dotyczyło percepcji uczestników dotyczący oceny jakości powietrza wewnętrznego poprzez określenie duszności w sali. W analizie wykazano istotne statystycznie różnice pomiędzy wariantami badania. Analiza post-hoc wskazała jednak, że różnice te wynikały z poziomu temperatury nawiewu (19°C a 26°C), nie stwierdzono istotnych różnic pomiędzy systemami wentylacji przy tej samej temperaturze.

Rysunek 4 przedstawia procentowy udział poszczególnych odpowiedzi względem wariantów badania.

W momencie „0" odpowiedź „nie odczuwam duszności" wskazało 94,0% (LAF19), 93,6% (MV19), 44,0% (LAF26) i 54,7% (MV26), „nieznacznie duszno" określiło 8,0% (LAF26) i 13,2% (MV26), „duszno" odczuło 4,0% (LAF19), 6,4% (MV19), 44,0% (LAF26) i 30,2% (MV26), a „bardzo duszno" było 2,0% (LAF19) i 4,0% (LAF26).

Podczas momentu „30" odpowiedź „nie odczuwam duszności" wskazało 94,1% (LAF19), 92,2% (MV19), 54,0% (LAF26) oraz 64,6% (MV26). Odpowiedź „nieznacznie duszno" zadeklarowało 4,0% badanych w LAF26 oraz 4,2% w MV26. „Duszno" odczuwało 3,9% uczestników w LAF19, 7,8% w MV19, 40,0% w LAF26 oraz 29,2% w MV26, natomiast odpowiedź „bardzo duszno" wskazało 2,0% w LAF19 oraz 2,1% w MV26.

W momencie 60 min odpowiedź „nie odczuwam duszności" wskazało 92,0% (LAF19), 93,9% (MV19), 56,0% (LAF26) oraz 66,7% (MV26). Odpowiedź „nieznacznie duszno" zadeklarowało 0,0% w LAF19 i MV19, 0,0% w LAF26 oraz 5,9% w MV26. „Duszno" odczuwało 8,0% badanych w LAF19, 6,1% w MV19, 34,0% w LAF26 oraz 27,5% w MV26, natomiast „bardzo duszno" wskazało 10,0% uczestników w LAF26.

W momencie 90 min odpowiedź „nie odczuwam duszności" wskazało 90,0% (LAF19), 89,6% (MV19), 52,0% (LAF26) oraz 68,0% (MV26). Odpowiedź „nieznacznie duszno" odnotowano u 6,0% badanych w MV26. „Duszno" deklarowało 8,0% uczestników w LAF19, 10,4% w MV19, 38,0% w LAF26 oraz 26,0% w MV26, natomiast „bardzo duszno" wskazało 2,0% w LAF19 oraz 10,0% w LAF26.

## Wnioski

Na podstawie przeprowadzonej analizy sformułowano następujące wnioski:

- w wariantach LAF19 i MV19 wraz z upływem czasu badania rósł procent odpowiedzi wskazujących na odczuwanie chłodu oraz preferencję podwyższenia temperatury,
- w wariantach LAF26 i MV26 większość ochotników deklarowała warunki jako neutralne lub ciepłe, a poziom odczuwanej duszności był wyższy niż przy 19°C,
- odpowiedzi dotyczące duszności wykazały, że percepcja jakości powietrza była związana z poziomem temperatury.

Warunki środowiskowe uzyskane przy temperaturze nawiewu 26°C sprzyjało odczuciom neutralnym lub ciepłym, jednak wiązało się ze wzrostem deklarowanej duszności w porównaniu z wariantami o temperaturze 19°C. Jednakże należy pamiętać, że w sali znajduje się personel medyczny, dla którego temperatura powietrza komfortowa w zależności od wykonywanej pracy jest różna. Według (El-Gamal et al., 2000; Leslie & Sessler, 2003; Olsen & Bovensi, 1985) komfortowa temperatura powietrza dla anestezjologów wynosi 23-24°C, dla pielęgniarek i pielęgniarzy 22-24.5°C, dla chirurgów 19°C, a dla pacjenta wynosi ona powyżej 24°C. Zapewnienie odpowiednich warunków środowiska wewnętrznego w salach operacyjnych jest skomplikowane ze względu na różnice pomiędzy poszczególnymi osobami w sali operacyjnej. Kształtowanie środowiska wewnętrznego odbywa się poprzez system HVAC, który jednocześnie ma wiele zadań do spełnienia, z jednej strony kontrolę zakażeń i zapobieganie hipotermii pacjenta a z drugiej strony zapewnienie komfortu osobom wykonującym precyzyjne zabiegi chirurgiczne, którzy podlegają znacznemu obciążeniu fizycznemu i psychicznemu. W (Wang et al., 2025) autorzy podkreślają, że prędkość i strumień nawiewanego powietrza mają kluczowy wpływ na komfort. Wpływ na ten parametr ma również intensywność pracy, poziom metabolizmu czy stres. Jednokierunkowy system przepływu powietrza charakteryzuje się niskim poziomem turbulencji, natomiast w systemie mieszającym powietrze jest intensywnie mieszane, co prowadzi do większej zmienności lokalnych prędkości przepływu. W (Zhou et al., 2025) wykazano, że lokalne różnice w prędkości powietrza mogą znacząco wpływać na lokalny komfort cieplny.

Przeprowadzone badania ukazują jak ważne jest, aby systemy wentylacyjne na salach operacyjnych stanowiły źródło komfortu dla wszystkich obecnych w pomieszczeniu, równocześnie stanowi to wyzwanie dla projektantów. Sala operacyjna jest środowiskiem o wysokim stopniu złożoności funkcjonalnej, w którym komfort cieplny, kontrola zakażeń oraz bezpieczeństwo pacjenta pozostają ze sobą w złożonej relacji. Jest to szczególnie istotne w kontekście rosnących wymagań dotyczących zrównoważonego projektowania budynków ochrony zdrowia.

## Ograniczenia

Laboratorium sali operacyjnej wyposażone jest w sufit laminarny o wymiarach 1,30 × 1,95 m, który nie spełnia w pełni wymagań określonych w normie DIN 1946-4. Powierzchnia sufitu laminarnego wynosiła 2,535 $m^2$, a prędkość powietrza w płaszczyźnie wypływu wynosiła 0,22 m/s.

## Podziękowania

Badania zostały sfinansowane przez Narodowe Centrum Nauki (numer grantu 2021/41/B/ST8/00700).

## Bibliografia

ASHRAE (2019). ASHRAE Handbook – HVAC Systems and Equipment. *American Society of Heating, Refrigerating*

El-Gamal, N., Elkassabany, N., Frank, S. M., Amar, R., Khabar, H. A., El-Rahmany, H. K., & Okasha, A. S. (2000). Age-related thermoregulatory differences in a warm operating room environment (approximately 26 degrees C). *Anesthesia and Analgesia*, 90(3), 694–698. https://doi.org/10.1097/00000539-200003000-00034

Karahan, A., Budak Ertürk, E., Uğurlu, Z., Ünlü, H., Akovalı, N., Tepe, A., & Özhan Elbaş, N. (2020). *Factors Affecting the Thermal Comfort of Perioperative Personnel in the OR. AORN Journal*, 111(3), 333–344. https://doi.org/10.1002/aorn.12963

Leslie, K., & Sessler, D. I. (2003). Perioperative hypothermia in the high-risk surgical patient. *Best Practice & Research Clinical Anaesthesiology*, 17(4), 485–498. https://doi.org/10.1016/S1521-6896(03)00049-1

Olsen, B., & Bovensi, M. (1985). Assessment of the indoor

environment in a hospital. *Clima Trans*, 195–200.
Rodrigues, N. J. O., Teixeira, S. F. C. F., Miguel, A. S., Oliveira, R. F., Teixeira, J. C. F., & Santos Baptista, J. (2013). Thermal comfort evaluation of an operating room through CFD methodology. *Occupational Safety and Hygiene – Proceedings of the International Symposium on Occupational Safety and Hygiene*, SHO 2013, 411–416. https://doi.org/10.1201/b14391-85
Sessler, D. I. (2016). Perioperative thermoregulation and heat balance. *The Lancet*, 387(10038), 2655–2664. https://doi.org/10.1016/S0140-6736(15)00981-2
Torossian, A. (2009). Thermal management during anesthesia and thermoregulation standards for the prevention of inadvertent perioperative hypothermia. *Best Practice & Research. Clinical Anaesthesiology*, 22, 659–668. https://doi.org/10.1016/j.bpa.2008.07.006
Uścinowicz, P., Chludzińska, M., & Bogdan, A. (2015). Thermal environment conditions in Polish operating rooms. *Building and Environment*, 94(P1), 296–304. https://doi.org/10.1016/J.BUILDENV.2015.08.003
Wang, A., Wang, S.-C., Peng, F., Xia, J., Ren, H., Tan, M.-L., & Zhou, B. (2025). Field questionnaire survey on thermal comfort of medical personnel in operating rooms for hospitals in Nanjing. *Energy and Buildings*, 332, 115423. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2025.115423
Young, V., & Watson, M. (2006). Prevention of Perioperative Hypothermia in Plastic Surgery. *Aesthetic Surgery Journal / the American Society for Aesthetic Plastic Surgery*, 26, 551–571. https://doi.org/10.1016/j.asj.2006.08.009
Zhou, B., Wang, A., Ren, H., Xia, J., Peng, F., Wang, S.-C., Wang, Y.-C., Zhao, H.-Y., Li, W.-J., Tan, M.-L., & Kosonen, R. (2025). Experimental study of thermal comfort by variable temperature and velocity air supply system in operating room. *Building and Environment*, 277. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2025.112927

Zastrzeżenie: Oświadczenia, opinie i dane przedstawione w publikacjach są wyłączną odpowiedzialnością ich autorów i nie odzwierciedlają stanowiska redakcji *Ciepłownictwo Ogrzewnictwo Wentylacja*. Redakcja nie ponosi odpowiedzialności za jakiekolwiek szkody dotyczące osób lub mienia wynikające z idei, metod, zaleceń lub produktów omawianych w treści publikacji. *Artykuł udostępniony na licencji Creative Commons CC BY 4.0.*

Disclaimer: The statements, opinions, and data presented in the publications are the sole responsibility of their authors and do not necessarily reflect the views of the editorial board of *Ciepłownictwo Ogrzewnictwo Wentylacja.* The editorial board assumes no responsibility or liability for any injury to persons or damage to property resulting from any ideas, methods, instructions, or products referred to in the content of the publications. *The article is distributed under the Creative Commons CC BY 4.0 license.*

## KONKURS o nagrodę im. Aleksandra Dariusza Panka III edycja

Zrzeszenie Audytorów Energetycznych (ZAE) ogłasza Konkurs o nagrodę im. Aleksandra Dariusza Panka na najlepszą pracę dyplomową poświęconą efektywności energetycznej w budownictwie. Do udziału w Konkursie zapraszamy absolwentów studiów inżynierskich lub magisterskich.

Konkurs ma na celu uhonorowanie działalności Aleksandra Dariusza Panka, założyciela i pierwszego Prezesa ZAE, wybitnego specjalisty i promotora efektywności energetycznej w Polsce, a także zwiększenie zainteresowania zagadnieniami efektywności energetycznej w budownictwie w środowisku akademickim, promocję absolwentów polskich uczelni na arenie międzynarodowej oraz wsparcie w rozwoju ich kariery zawodowej.

**Przyznawane zostaną następujące nagrody:**

- nagroda specjalna, przyznawana co 3 lata, w formie pokrycia kosztów udziału 1 osoby w międzynarodowej konferencji naukowej Central Europe towards Sustainable Building (CESB), w Pradze. Nagroda obejmuje koszty opłaty konferencyjnej, dojazdu i zakwaterowania;
- nagroda główna, przyznawana corocznie w formie pokrycia kosztów trzyletniego członkostwa w ZAE oraz bezpłatnego udziału w Forum Termomodernizacja przez okres 3 lat licząc od edycji w roku zdobycia nagrody

**III Edycja Konkursu na rok 2026 przeprowadzona zostanie zgodnie z następującym harmonogramem:**

- ogłoszenie konkursu: październik 2025 r.
- **nadsyłanie prac konkursowych: do 31 grudnia 2026 r.**
- ogłoszenie wyników do 30 czerwca 2027 r.

Regulamin konkursu

Formularz zgłoszeniowy

Więcej informacji

**SERDECZNIE ZACHĘCAMY DO WZIĘCIA UDZIAŁU W KONKURSIE**

