

# Lokalne chłodzenie – badania laboratoryjne odczucia cieplne ochotników

Local cooling – laboratory tests of thermal sensations of volunteers

MAGDALENA MŁYNARCZYK, TOMASZ JANKOWSKI, ANNA BOGDAN

DOI 10.36119/15.2021.10.5

Odczuwanie dyskomfortu cieplnego przekłada się na obniżenie uwagi i koncentracji, zwiększenie liczby popełnianych błędów, zwiększenie liczby wypadków a tym samym pogorszenie efektywności i jakości pracy. Tym bardziej należy zwrócić szczególną uwagę na problem odczuwania komfortu cieplnego wśród chirurgów i personelu medycznego. Zaproponowano zastosowanie urządzenia chłodzącego w celu poprawy odczuwania komfortu cieplnego.  
*Słowa kluczowe: komfort cieplny, wentylacja indywidualna, urządzenie chłodzące, odczucia cieplne*

The feeling of thermal discomfort translates into: a reduction in attention and concentration, an increase in the number of made mistakes, an increase in the number of accidents, and thus a deterioration of the efficiency and quality of work. Therefore, special attention should be paid to the problem of thermal comfort among surgeons and medical personnel. It has been proposed to use a local cooling device to improve the perception of thermal comfort.  
*Keywords: thermal comfort, personal ventilation, cooling device, thermal sensation*

## Wprowadzenie

Problem odczuwania dyskomfortu cieplnego wśród zespołu operacyjnego jest ogólnie znany. Ma tu miejsce wciąż żywa dyskusja, czy zapewnić warunki pracy odpowiednie dla personelu medycznego, zapewniając tym samym najbardziej efektywne warunki do pracy? Czy kierować się dobrem pacjenta i przeciwdziałać wystąpieniu niezamierzonej hipotermii śródoperacyjnej?

Zgodnie z publikacjami, odczuwanie dyskomfortu cieplnego przekłada się na obniżenie uwagi i koncentracji, zwiększenie liczby popełnianych błędów, zwiększenie liczby wypadków a tym samym pogorszenie efektywności i jakości pracy [1, 2]. Kwestia komfortu cieplnego była podejmowana na łamach prasy już kilkakrotnie [3, 4] nadal jednak stanowi on problem.

Szczególnie jest to właśnie widoczne w salach operacyjnych – gdzie zachodzi „konflikt” pomiędzy komfortem pacjenta a personelu medycznego.

Należy również zaznaczyć, iż w sali operacyjnej często oczekiwania dotyczące środowiska / temperatury przebywania są niejednorodne [5]. Każda z osób, które biorą udział w operacji wykonuje inną

pracę, a do tego znajduje się w innym miejscu sali operacyjnej [5]. Asystenci operatora i część pielęgniarek wykonują pracę lżejszą fizycznie niż chirurdzy, a anestezjodolcy (wykonujący pracę w pozycji siedzącej) cechują się niższym tempem metabolizmu niż chirurdzy czy pielęgniarki [5]. Traktując jedną grupę personelu medycznego jako priorytetową, z założenia poczucie komfortu cieplnego nie będzie zachowane dla pozostałych osób znajdujących się w sali operacyjnej, w tym także pacjenta.

Oprócz ciężkości wykonywanej pracy, także zastosowana odzież ochronna wpływa na odczucia cieplne i komfort pracy. Im wyższa izolacyjność cieplna zastosowanej odzieży ochronnej tym wymagana jest niższa temperatura powietrza w celu utrzymania komfortu cieplnego. Chirurg często ubrany jest odpowiednio, w odzież chroniącą przed przenikaniem i przesiąkaniem szkodliwych czynników chorobotwórczych

wraz z krwią i innymi płynami ustrojowymi. Nie ma możliwości zmiany odzieży ochronnej na „lżejszą”, gdyż zmniejszona wówczas ochrona może oznaczać ryzyko zarażenia się np. wirusem HIV. Wszystkie te czynniki są tak samo ważne zarówno dla personelu, jak i dla pacjenta [6].

Ponadto, w załączniku A do normy PN-EN 13795:2006, dotyczącej m. in. fartuchów chirurgicznych, można znaleźć jedynie zalecenia dotyczące komfortu odzieży i fartuchów chirurgicznych. Nadal kwestia komfortu traktowana jest marginalnie. W normie czytamy, że fartuchy, oprócz posiadania właściwości ochronnych, powinny minimalizować również stres fizjologiczny [7].

Przy uwzględnieniu stosowanej odzieży oraz wykonywanych czynności zaproponowano zakresy temperatury powietrza w sali operacyjnej, ze względu na komfort personelu medycznego (tabela 1).

**Tabela 1** Temperatura powietrza w salach operacyjnych ze względu na komfort personelu medycznego [8-10]

**Table 1.** Air temperature in operating theatres for the comfort of medical staff [8-10]

| Personel medyczny                                    | chirurg | pielęgniarka operacyjna – instrumentariuszka | pielęgniarka anestezjowa | anestezjolog |
|--|---------|--|--------------------------|--------------|
| Zakres temperatury powietrza w sali operacyjnej [°C] | 18-19,5 | 21-24  | 21-24,5                  | 21-24,5      |

dr inż. Magdalena Młynarczyk – <https://orcid.org/0000-0002-9218-9781> Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy, Zakład Ergonomii

dr inż. Tomasz Jankowski – <https://orcid.org/0000-0003-3620-9407> Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy, Zakład Zagrożeń Chemicznych, Pyłowych i Biologicznych

dr hab. inż. Anna Bogdan prof. uczelni – <https://orcid.org/0000-0003-1502-6548> Politechnika Warszawska, Wydział Instalacji Budowlanych, Hydrotechniki i Inżynierii Środowiska.

Autor do korespondencji/ Corresponding author: [m.mlynarczyk@ciop.pl](mailto:m.mlynarczyk@ciop.pl)

Z powyższej tabeli ewidentnie widać, iż warunki odczuwania komfortu przez chirurga kolidują z warunkami odczuwania komfortu cieplnego pozostałej części personelu medycznego. Przy zwróceniu szczególnej uwagi, na fakt, iż temperatura komfortowa dla pacjenta na sali operacyjnej mieści się w zakresie nawet 24-26°C [11].

Dlatego też poszukuje się nowych rozwiązań z zakresu indywidualnej wentylacji (PV) w celu poprawy komfortu pracy chirurgów i personelu medycznego. Jednym z rozwiązań powyższego problemu może być zastosowanie specjalistycznego urządzenia do chłodzenia chirurgów i personelu medycznego znajdujących się przy stole operacyjnym.

Założono, iż zastosowanie urządzenia chłodzącego powodującego napływ powietrza o innej temperaturze na personel medyczny zebrany wokół stołu operacyjnego wpłynie pozytywnie na poprawę odczucia komfortu cieplnego. Najistotniejszą zaletą wentylacji indywidualnej w porównaniu do ogólnej wentylacji sali operacyjnej jest utrzymywanie odpowiedniej jakości powietrza dostarczanego bezpośrednio do strefy otoczenia człowieka. Prowadzone badania dotyczące porównania systemu wentylacji ogólnej i indywidualnej, dowiodły, że układ wentylacji indywidualnej jest korzystniejszy, m.in. ze względu na satysfakcję użytkowników, np. personel medyczny [12-14].

Większość urządzeń wentylacji indywidualnej bazuje wyłącznie na dostarczaniu zewnętrznego powietrza w strefę oddychania człowieka, nie umożliwiając regulacji kierunku, temperatury i prędkości nawiewanego powietrza.

Dostępne na rynku urządzenia wentylacji indywidualnej są przeznaczone dla pojedynczego pracownika/człowieka, jednak są przypadki/miejsca, gdzie niemożliwym jest ustawienie takiego urządzenia dla każdego z pracowników (brak miejsca, specyfika przeznaczenia pomieszczenia, pozostałe wyposażenie, swoboda ruchów człowieka), wtedy wymagane jest skonstruowanie urządzenia wpływającego jednocześnie na grupę ludzi, jednak z zastrzeżeniem, że każdy człowiek będzie miał możliwość indywidualnego sterowania i wykorzystania urządzenia chłodzącego.

Celem przeprowadzonych badań było sprawdzenie koncepcji czy lokalne chłodzenie chirurgów i personelu medycznego jest możliwe za pomocą nawiewów kierowanych bezpośrednio na każdego członka zespołu, niezależnie od systemu wentylacji/klimatyzacji zastosowanego w sali operacyjnej.

## Urządzenie chłodzące

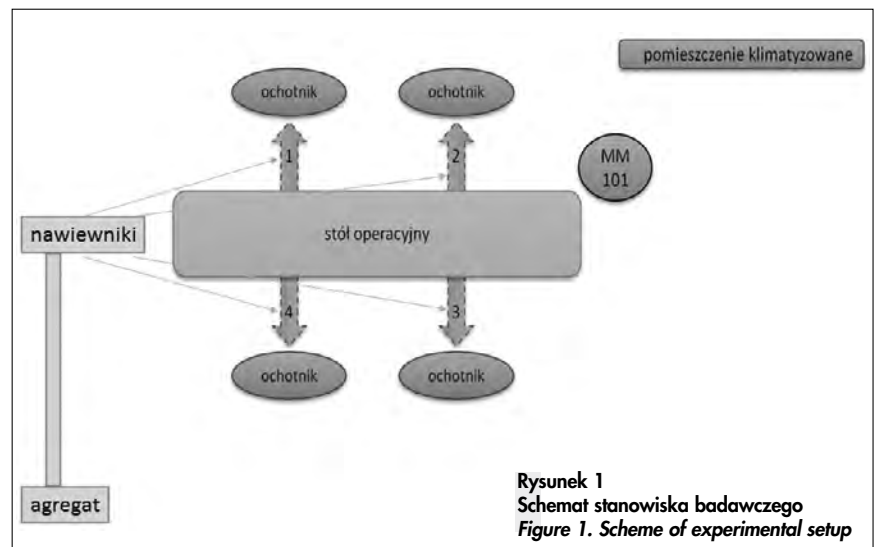
W celu poprawy komfortu cieplnego zebranego wokół stołu operacyjnego, zaproponowano zastosowanie urządzenia chłodzącego, składającego się z 2-ch części: agregatu oraz konstrukcji modułowej z nawiewnikami. Agregat umożliwia regulację temperatury nawiewanego powietrza w zakresie 18-25°C oraz płynną regulację prędkości przepływu powietrza w zakresie 0-2 m/s (mierzonej na wylocie nawiewnika szczegółowy opis urządzenia zamieszczony jest w publikacji [15]).

Nawiewniki umiejscowione pod stołem operacyjnym, skierowane były od przodu na ochotników. Agregat natomiast był ustawiony poza strefą prowadzenia badań (rys. 1). Warunki środowiskowe podczas

nicznych urządzenia, takich jak: odległość płaszczyzny wylotowej nawiewnika od strefy przebywania użytkownika, wymiary geometryczne otworów nawiewnych, czy wartość prędkości powietrza nawiewanego w strefie przebywania człowieka.

W przedstawianym rozwiązaniu, do oczyszczania zanieczyszczonego powietrza zastosowano układy filtracyjne, zarówno na wlocie, jak i wylocie agregatu chłodzącego oraz modułowej konstrukcji nawiewników. Zalecane jest, w tym przypadku, stosowanie przynajmniej dwustopniowej filtracji powietrza z użyciem układu filtrów wstępnych (ISO COARSE) lub dokładnych (ISO PM<sub>10</sub>, ISO PM<sub>2.5</sub>, ISO PM<sub>1</sub>) oraz filtrów wysokoskutecznych (HEPA, ULPA).

Zastosowanie przedstawionego urządzenia chłodzącego w salach operacyj-



Rysunek 1  
Schemat stanowiska badawczego  
Figure 1. Scheme of experimental setup

badania w pomieszczeniu laboratoryjnym były kontrolowane za pomocą miernika mikroklimatu (MM101, EKOHIGIENA APARATURA RYSZARD PUTYRA SP.J., Polska).

Niedogodnością związaną ze stosowaniem urządzenia chłodzącego chirurgów i personelu medycznego w salach operacyjnych jest konieczność umieszczenia elementów końcowych konstrukcji nawiewników bezpośrednio w rejonie przebywania użytkownika. Jest to spowodowane małym obszarem skutecznego działania elementów nawiewnych. To z kolei przedkłada się na konieczność stosowania małych wartości prędkości powietrza w celu nie wpływania na rozdział powietrza w całym pomieszczeniu sali operacyjnej oraz utrzymania parametrów dla I i II klasy czystości, w tym oraz nie zaburzenia w nim laminarnego obiegu powietrza. Powyższą niedogodność można zniwelować poprzez kontrolę parametrów tech-

nich będzie w przyszłości możliwe dzięki możliwości dezynfekcji powierzchni elementów urządzenia, w szczególności modułowej konstrukcji z nawiewnikami. Może być ona przeprowadzana chemicznymi preparatami dezynfekującymi zalecanymi w liście N przez The Environmental Protection Agency (EPA) oraz dopuszczonymi do obrotu na terenie kraju przez Urząd Rejestracji Produktów Leczniczych, Wyrobów Medycznych i Produktów Biobójczych. Dopuszczalna jest również dezynfekcja promieniowaniem UVC.

## Ochotnicy do badań

Badania przeprowadzono na 8 osobowej grupie ochotników, mężczyzn, w wieku od 20 do 30 lat, o wartości indeksu BMI (body mass index) <25. W tabeli 2 zamieszczono szczegółowe dane dotyczące ochotników.

Tabela 2 Dane ochotników  
Table 2. Characteristic of volunteers

| l.p.                             | Wiek [lata] | Wzrost [cm] | BMI      |
|----------------------------------|-------------|-------------|----------|
| 1                                | 23          | 178         | 23,6     |
| 2                                | 23          | 176         | 23,3     |
| 3                                | 24          | 177         | 24,2     |
| 4                                | 24          | 178         | 24,3     |
| 5                                | 20          | 180         | 22,5     |
| 6                                | 24          | 182         | 22,3     |
| 7                                | 23          | 185         | 21,9     |
| 8                                | 21          | 171         | 21,6     |
| Średnia ± odchylenie standardowe | 23±1        | 178±4       | 23,0±1,0 |

## Zastosowana odzież do badań

W czasie badań ochotnicy ubrani byli w zestaw odzieży stosowany na bloku operacyjnym, przeznaczonym do operacji mokrych. Zestaw (o całkowitej izolacyjności cieplnej równej 1.2 clo) składał się z bielejzyny chirurgicznej: bluzy i spodni (55% bawełna, 45% poliester) oraz z fartucha chirurgicznego wykonanego z wysoko-przewiewnej hydrofobowej włókniny typu spunlace (55% celuloza, 45 % PES), zawierający nieprzemakalne wstawki na przedniej części fartucha i rękawach (rys. 2).



Rysunek 2  
Zastosowana odzież do badań (bielizna chirurgiczna oraz fartuch chirurgiczny)  
Figure 2. Tested clothing (surgical underwear and surgical gown)

## Metodyka badania

Na podstawie wyników wcześniejszych badań z wykorzystaniem manekina termicznego Newton [15], wytypowano 8 wariantów działania urządzenia chłodzącego do badań z udziałem ochotników.

W ramach badań własnych określono średnie warunki mikroklimatu w salach operacyjnych [16]. W większości sal panowała temperatura powietrza ( $t_a$ ) ok. 25°C a w niektórych przypadkach 22°C. Dlatego, a też te wartości temperatury powietrza zastosowano podczas badań z udziałem ochotników. W przypadku temperatury nawiewanego powietrza ( $t_n$ ), największe

różnice w temperaturze ekwiwalentnej podczas badań na manekinie termicznym [15] odnotowano dla temperatury 18°C oraz 20°C. W przypadku prędkości przepływu powietrza ( $V_a$ ), największe różnice w odpowiedzi manekina odnotowano dla prędkości 1,0 m/s mierzonej w okolicach nawiewnika, dające przepływ powietrza w okolicy twarzy na poziomie 0,4-0,5 m/s. Wartość ta jest jednak dość duża i może powodować odczuwanie dyskomfortu przez użytkownika (np. z powodu wysuszenia spojówek). Zakłada się, iż prędkość przepływu w granicach 0,3 m/s nie powoduje odczuwania dyskomfortu, dlatego też dodatkowo dla wartości przepływu 0,2-0,3 m/s (mierzonej w okolicy twarzy) wykonano badania. Łącznie wykonano 10 wariantów badań opisanych w tabeli 3, przy uwzględnieniu wyłączzonego urządzenia w temperaturze powietrza 22°C i 25°C.

W trakcie badań ochotnicy wypełniali ankietę dotyczącą odczuć subiektywnych dotyczących oceny środowiska cieplnego.

Pomiędzy ankietami, ochotnicy przeszeni byli o wykonywanie drobnych prac manualnych oraz w celu zaangażowania

Tabela 3 Warianty badań z udziałem ochotników  
Table 3. Variants of research with volunteers

| l.p. | wariant | $t_a$ [°C] | $t_n$ [°C] | Średnia wartość $V_n$ [m/s] mierzona na wysokości twarzy |
|------|---------|------------|------------|--|
| 1    | 22_0    | 22         | -          | -  |
| 2    | 22_I    | 22         | 20         | 0,2 ÷ 0,3  |
| 3    | 22_II   |            |            | 0,4 ÷ 0,5  |
| 4    | 22_III  |            | 18         | 0,2 ÷ 0,3  |
| 5    | 22_IV   |            |            | 0,4 ÷ 0,5  |
| 6    | 25_0    | 25         | -          | -  |
| 7    | 25_I    | 25         | 20         | 0,2 ÷ 0,3  |
| 8    | 25_II   |            |            | 0,4 ÷ 0,5  |
| 9    | 25_III  |            | 18         | 0,2 ÷ 0,3  |
| 10   | 25_IV   |            |            | 0,4 ÷ 0,5  |

także umysłowego ochotnicy rozwiązywali SUDOKU. Ochotnicy wykonywali prace manualne przy wykorzystaniu m.in. systemu Próbek Pracy (Work Samples) [17], które pozwalają na sprawdzenie zdolności manualnych do wykonywania różnych prac. Przykładowe wykonywane czynności zamieszczono na rysunku 3.

Wykonywane prace miały za zadanie zasymulować pracę manualną chirurgów i ich wykonywanie nie było przedmiotem późniejszych analiz. Należy również zaznaczyć, iż w czasie trwania badania ochotnicy 3-krotnie zmieniali rodzaj wykonywanych czynności manualnych.

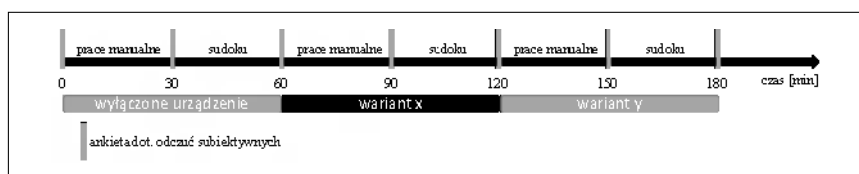
W pojedynczym badaniu brało udział 4 ochotników. Na każdego z ochotników skierowany był jeden nawiewnik (rysunek 4).



Rysunek 4  
Badanie modelu urządzenia chłodzącego z udziałem ochotników  
Figure 4. Study of a cooling device model with the participation of volunteers



Rysunek 3  
Przykłady wykonywanych czynności manualnych (od lewej: VCWS 07 – wielopoziomowe sortowanie; VCWS 04 – zakres ruchu kończyny górnej; VCWS 204 – sprawność palców)  
Figure 3. Examples of manual activities performed (from the left: VCWS 07 – multi-level sorting; VCWS 04 – upper extremity range of motion; VCWS 204 – fine finger dexterity)



Rysunek 5  
Schemat badania z udziałem ochotników  
Figure 5. Scheme of the test with volunteers

Schemat prowadzenia badania zamieszczono na rysunku 5. Pierwsza godzina badania prowadzona była przy wyłączonym urządzeniu (jako wartość odniesienia), następnie przez 1 godzinę badano jeden wariant badania i przez kolejną godzinę kolejny wariant.

Na początku badania oraz po kolejnych 30 minutach, zostały przeprowadzone badania ankietowe.

## Analiza danych

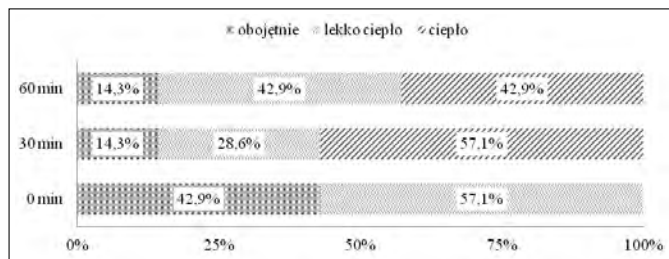
Analizowano częstości występowania danej odpowiedzi (wyrażone w procentach).

Przeprowadzono analizę statystyczną uzyskanych rezultatów z ankiet dot. odczuć subiektywnych ochotników podczas badań wszystkich wariantów I-VIII. Zastosowano 3-czynnikowy test ANOVA dla czynników: temperatura powietrza  $t_a$  (22°C, 25°C), temperatura nawiewanego powietrza  $t_n$  (18°C, 20°C), prędkość przepływu nawiewanego powietrza  $V_n$  (H – 0,5 m/s; L – 0,3 m/s). Wieloczynnikowa analiza wariancji pozwala na zbadanie wpływu wielu zmiennych niezależnych (czynników) na wartość rozpatrywanej zmiennej zależnej (odpowiedzi subiektywnych). Analizę wykonano względem pytań oraz czasu (uwzględniono czas ekspozycji 30 min oraz 60 min). W przypadku występowania statystycznie istotnych różnic, wykonano testy post-hoc (po fakcie) HSD Tukeya, w celu określenia między którymi parami średnich występują różnice.

## Wyniki badań

Poniżej zestawiono na wykresach 3 okresy: 0 min – w momencie początkowym, 30 min – po 30 minowej ekspozycji na dane warunki oraz 60 min – po 60 min przebywania w danym środowisku cieplnym.

Wrażenia cieplne w skali – 3 ÷ +3 (zimno ÷ gorąco) oceniane były w skali ASHRAE, opartej na wskaźniku PMV – subiektywnej oceny komfortu cieplnego. Zakłada się, iż w rozszerzonym zakresie, ochotnicy odczuwają komfort cieplny w przedziale – 1 ÷ +1 (lekkie chłodno ÷ lekko ciepło).



**Rysunek 6**  
Wrażenia cieplne ochotników w temperaturze powietrza  $t_a$  22°C (wariant 22\_0)  
*Figure 6. Thermal sensations of volunteers' at air temperature  $t_a$  22°C (variant 22\_0)*

ochotników na pytanie o wrażenia cieplne zaznaczyło odpowiedź „ciepło”, po 30 min wartość ta zwiększyła się do 63%, a po 60 min ciepło i gorąco zaznaczyło po 25% ochotników. Można zatem stwierdzić, iż przebywanie w  $t_a$  25°C przez 1h u 50% ochotników powoduje odczuwanie dyskomfortu cieplnego (rys. 7).

## Dla włączonego urządzenia, w temperaturze powietrza $t_a$ 22°C

Poniżej zamieszczono odpowiedzi ochotników dla poszczególnych wariantów badań w temperaturze powietrza 22°C i przy włączonym urządzeniu.

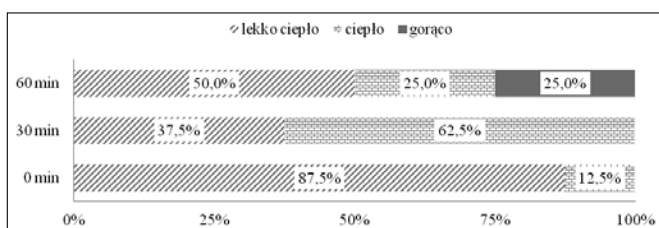
W temperaturze powietrza  $t_a$  22°C, zastosowanie nawiewanego powietrza z prędkością ok. 0,5 m/s na wysokości twarzy, o temperaturze  $t_n$  20°C, powodowało, że po 30 min zmniejszył się procent

## Przy wyłączonym urządzeniu:

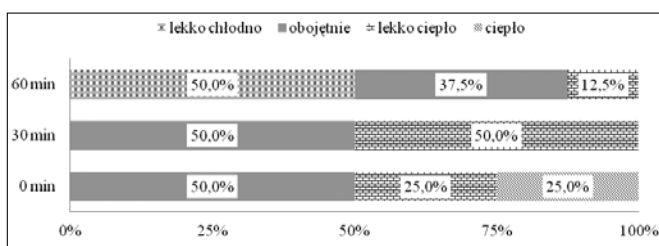
W temperaturze powietrza 22°C, na początku badania 43% ochotników na pytanie o wrażenia cieplne zaznaczyło odczucie „obojętnie” i odpowiednio 57% – „lekkie ciepło”, a więc w zakresie odczuwania komfortu cieplnego. Po 30 minutach oraz po 60 min proporcje te uległy zmianie. Po 1 godzinie przebywania ochotników, ubranych w zestaw odzieży chirurgicznej, w środowisku o temperaturze powietrza 22°C, tylko 14% określało swoje odczucia jako „obojętnie”, 43% „lekkie ciepło”, a 43% odpowiedziało, że odczuwa „gorąco” (rys. 6).

W temperaturze powietrza 22°C, przy wyłączonym urządzeniu ocena odczuć cieplnych ochotników (ubranych w zestaw odzieży chirurgicznej) w czasie 1h badania pogarszała się. Na początku 13%

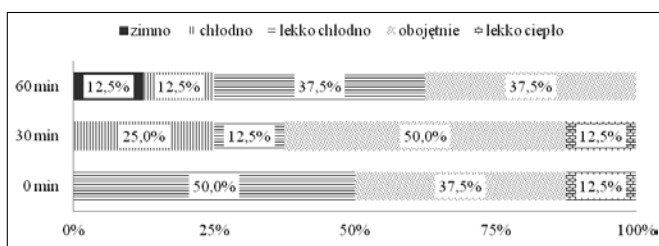
**Rysunek 7**  
Wrażenia cieplne ochotników w temperaturze powietrza  $t_a$  25°C (wariant 25\_0)  
*Figure 7. Thermal sensations of volunteers' at air temperature  $t_a$  25°C (variant 25\_0)*



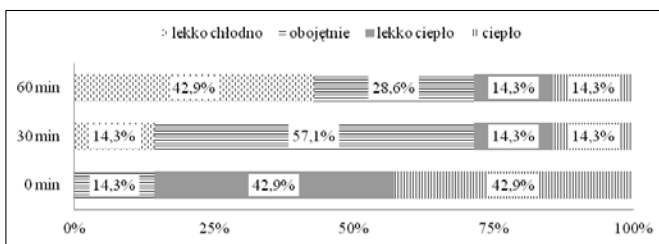
**Rysunek 8**  
Wrażenia cieplne ochotników w temperaturze powietrza 22°C (wariant 22\_II)  
*Figure 8. Thermal sensations of volunteers' at air temperature  $t_a$  22°C (variant 22\_II)*



**Rysunek 9**  
Wrażenia cieplne ochotników w temperaturze powietrza 22°C (wariant 22\_IV)  
*Figure 9. Thermal sensations of volunteers' at air temperature  $t_a$  22°C (variant 22\_IV)*



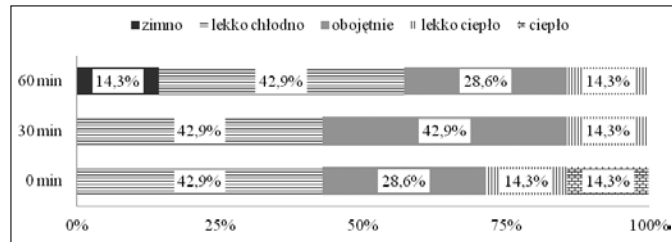
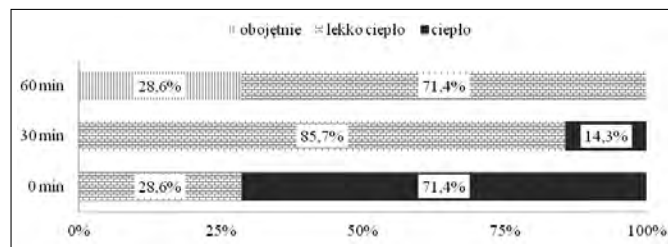
**Rysunek 10**  
Wrażenia cieplne ochotników w temperaturze powietrza 22°C (wariant 22\_I)  
*Figure 10. Thermal sensations of volunteers' at air temperature  $t_a$  22°C (variant 22\_I)*



ochotników odczuwających „ciepło” na rzecz odpowiedzi „lekkie ciepło”. Natomiast po kolejnych 30 minutach, 50% ochotników zaznaczyło odpowiedź „lekkie chłodno”, 38% „obojętnie” oraz 13% „lekkie ciepło”. Tak więc wszystkie odpowiedzi mieściły się w zakresie odczuwania komfortu cieplnego.

Zmniejszenie temperatury nawiewanego powietrza do  $t_n$  18°C, powodowało, iż po 30 min 25% ochotników stwierdziło, iż jest im „chłodno”, ~13% „lekką chłodno”, 50% „obojętnie” i 13%. Po kolejnych 30 minutach ekspozycji, po 12,5% ochotników odpowiedziało „zimno” oraz „chłodno”, po 37,5% „lekką chłodno” i „obojętnie”.

**Rysunek 14**  
Wrażenia ciepłe ochotników w temperaturze powietrza 25°C (wariant 25\_I)  
*Figure 14. Thermal sensations of volunteers' at air temperature  $t_a$  25°C (variant 25\_I)*



W temperaturze powietrza  $t_a$  22°C, nawiewane powietrze o temperaturze  $t_n$  20°C, z mniejszą prędkością ~0,3 m/s na wysokości twarzy powodowało, iż po 60 min. ekspozycji w zakresie odczuwania komfortu cieplnego znalazło się tylko ok. 85% ochotników.

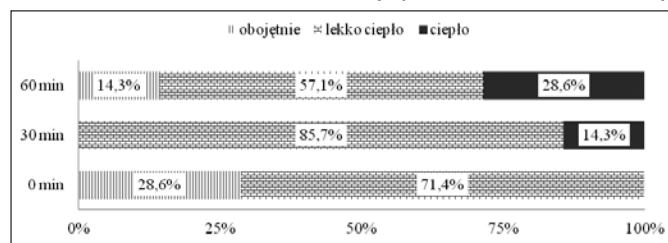
W temperaturze powietrza  $t_a$  22°C, nawiewane powietrze o temperaturze  $t_n$  18°C, z mniejszą prędkością ~0,3 m/s na wysokości twarzy powodowało, iż po 60 min. ekspozycji w zakresie odczuwania komfortu cieplnego znalazło się tylko ok. 86% ochotników

**Dla włączonego urządzenia, w temperaturze powietrza  $t_a$  25°C**

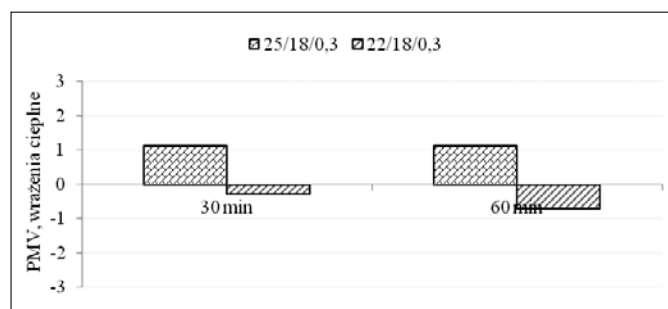
Poniżej zamieszczono odpowiedzi ochotników dla poszczególnych wariantów badań w temperaturze powietrza 25°C i przy włączonym urządzeniu.

Po 30 minutach od włączenia urządzenia w temperaturze powietrza 25°C, o temperaturze nawiewu 20°C i prędkości na wysokości twarzy 0,5 m/s odnotowano, iż zwiększył się procent odpowiedzi mówiących o odczuciu komfortu cieplnego (z 50% na ~63%). Po 1h działania urz-

**Rysunek 15**  
Wrażenia ciepłe ochotników w temperaturze powietrza 25°C (wariant 25\_III)  
*Figure 15. Thermal sensations of volunteers' at air temperature  $t_a$  25°C (variant 25\_III)*

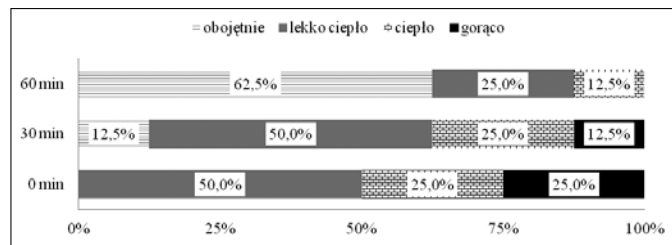


**Rysunek 16**  
Odpowiedzi dot. ogólnych wrażeń cieplnych (-3 - zimno; +3 - gorąco) dla wariantów 25\_III i 22\_III  
*Figure 16. General thermal sensations (-3 - cold; +3 - hot) for variants: 25\_III and 22\_III*

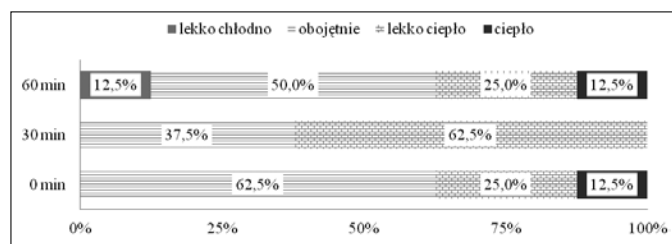


ządzenia w tych warunkach ~88% ochotników odczuwało komfort cieplny.

Po 30 minutach od włączenia urządzenia w temperaturze powietrza 25°C, o temperaturze nawiewu 18°C i prędkości na wysokości twarzy 0,5 m/s odnotowano, iż zwiększył się procent odpowiedzi mówiących o odczuciu komfortu cieplnego



**Rysunek 12**  
Wrażenia ciepłe ochotników w temperaturze powietrza 25°C (wariant 25\_II)  
*Figure 12. Thermal sensations of volunteers' at air temperature  $t_a$  25°C (variant 25\_II)*



**Rysunek 13**  
Wrażenia ciepłe ochotników w temperaturze powietrza 25°C (wariant 25\_IV)  
*Figure 13. Thermal sensations of volunteers' at air temperature  $t_a$  25°C (variant 25\_IV)*

(z 88% na ~100%). Po 1h działania urządzenia w tych warunkach ~88% ochotników odczuwało komfort cieplny.

Po 60 min po włączeniu urządzenia, w temperaturze powietrza  $t_a$  25°C, nawiewane powietrze o temperaturze  $t_n$  20°C, z mniejszą prędkością ~0,3 m/s na wysokości twarzy powodowało, że zwiększył

się procent ochotników odczuwających komfort cieplny z ~29% do 100%.

Dla wariantu 25\_III nie zaobserwowano po zastosowaniu urządzenia poprawy odczucia komfortu cieplnego.

**Analiza statystyczna ankiet**

Przeprowadzono analizę statystyczną uzyskanych rezultatów z ankiet. Istotnie statystyczną różnicę (dla  $p < 0,05$ ) odnotowano dla wrażeń cieplnych pomiędzy wariantami 25\_III i 22\_III w 30 i 60 minutach badania (rys. 16).

**Podsumowanie**

W ramach badań z udziałem ochotników, przeprowadzono łącznie 8 wariantów badań, dla włączonego urządzenia chłodzącego, dla różnych wartości temperatury powietrza ( $t_a$ : 20°C, 25°C), temperatury nawiewu ( $t_n$ : 18°C, 20°C) oraz prędkości przepływu nawiewanego powietrza (mierzona na wysokości twarzy  $V_n$ : 0,3 m/s, 0,5 m/s). Ochotnicy podczas

badan wykonywali lekkie prace manualne oraz zadania matematyczne. Przez cały czas ochotnicy ubrani byli w taki sam zestaw odzieży.

Badania z udziałem ochotników potwierdziły prawidłowe działanie modelu urządzenia chłodzącego. Zastosowanie modelu urządzenia, wpływało pozytywnie na odczuwanie komfortu cieplnego w każdym z przeprowadzonych wariantów badania. Po 60 min ekspozycji na środowiska ( $t_a/t_n/V_n$ ) 22/18/0,5 (wariant 22\_IV) lub 22/18/0,3 (wariant 22\_III) ochotnicy wykazywali odczucia ciepłe w zakresie „zimno” bądź „chłodno” (czyli poza odczuwaniem komfortu cieplnego).

Należy jednak pamiętać, iż zastosowane ustawienia urządzenia mogą również sprawdzić się w salach operacyjnych, w których na człowieka (chirurgów i personel medyczny) wpływają dodatkowe czynniki, takie jak: stres, adrenalina, poczucie odpowiedzialności jak również środowisko zewnętrzne: specjalistyczny sprzęt, lampy.

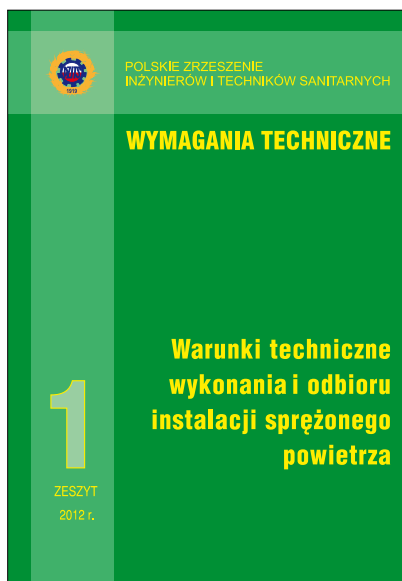
Należy również podkreślić, iż ostateczną decyzję dotyczącą zastosowania rozwiązania w danym obiekcie należy zawsze podjąć w konsultacji z pracownikami technicznymi szpitala i zespołem odpowiedzialnym za kwestie epidemiologiczne, tak aby zastosowane urządzenie nie działało w opozycji do schematu przepływu powietrza zaprojektowanego w danym obiekcie.

## Finansowanie

Publikacja opracowana na podstawie wyników III etapu programu wieloletniego „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy”, finansowanego w latach 2014-2016 w zakresie badań naukowych i prac rozwojowych przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego/Narodowe Centrum Badań i Rozwoju. Koordynator programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy.

## BIBLIOGRAFIA:

- [1] Balaras CA., Dascalaki E., Gaglia A., HVAC and indoor thermal comfort conditions in hospital operating rooms, *Energy and Building* 2007; 39, 454-70
- [2] Chojnacka A., Sudol-Szopińska I. Komfort termiczny w pomieszczeniach biurowych w aspekcie obowiązujących norm, *Bezpieczeństwo Pracy* 2007; 6, 16
- [3] Bogdan A., Sudol-Szopińska I. Komfort cieplny chirurgów pracujących na bloku operacyjnym. *Bezpieczeństwo Pracy* 2008; 11, 6-8
- [4] Sudol-Szopińska I., Chojnacka A. Określanie warunków komfortu termicznego za pomocą wskaźników PMV i PPD. *Bezpieczeństwo Pracy* 2007, 5, 19-23
- [5] Charkowska A. Wpływ warunków środowiskowych i niezamierzonej hipotermii śródoperacyjnej na stan pacjenta *INSTAL* 2021, 3, 31-36; DOI: 10.36119/15.2021.3.4
- [6] Wierzbńska M., Odzież barierowa, *Praca i Zdrowie*, 16.10.2007
- [7] PN-EN 13795:2006 Obłożenia chirurgiczne, fartuchy chirurgiczne i odzież dla bloków operacyjnych, stosowane jako wyroby medyczne dla pacjentów, personelu medycznego i wyposażenia – Część 1: Wymagania ogólne dotyczące wytwórców, przetwórców i wyrobów
- [8] Mora R., English MJM., Athienitis AK., Assessment of thermal comfort during surgical operations. *ASHRAE Transactions* 2001; 107, part 1, 52-62
- [9] Olesen B.W., Bovenzi M., Assessment of the indoor environment in a hospital, w: *Proceedings of the CLIMA 2000 World Congress on Heating, Ventilating and Air-Conditioning held in Copenhagen*, 25-30 August, 1985, Vol. 4: *Indoor Climate, 195-200* [red. Fanger P.O., wyd.: REHVA, Kopenhaga, Dania]
- [10] Sánchez-Barroso G., Sanz-Calcedo J.G., Evaluation of HVAC Design Parameters in High-Performance Hospital Operating Theatres, *Sustainability* 2019; 11(5), 1493; <https://doi.org/10.3390/su11051493>
- [11] Nastase I., Croitoru C., Vartiresa A., Tataranub L. Indoor Environmental Quality in Operating Rooms: A European Standard Review with regard to Romanian Guidelines. *Energy Procedia* 2016; 85, 375-382
- [12] Cermak R., Melikov A.K., Forejt L., Kovar O., Performance of Personalized Ventilation in Conjunction with Mixing and Displacement Ventilation, *HVAC&R Research* 04.2006; vol. 12, nr. 2
- [13] Gao N., Niu J., Zhang H., Coupling CFD and Human Body Thermoregulation Model for the Assessment of Personalized Ventilation, *HVAC&R Research* 07.2006; vol.12, nr 3
- [14] Gao N., Niu J., Modeling the performance of personalized ventilation under different room airflow, *Building Simulation*, 2005, 9th International Conference, Montreal, Canada, 15-18.08.2005
- [15] Młynarczyk M., Bogdan A., Jankowski T., The influence of local temperature and air velocity changes on the thermal sensations of users' working in surgical clothing. *Indoor and Built Environment* 2021, February. doi:10.1177/1420326X21990815
- [16] Uścińcowicz P., Chłodzińska M., Bogdan A., Thermal environment conditions in Polish operating rooms, *Building and Environment* 2015; vol. 94, part 1, pp. 296-304, ISSN 0360-1323, <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.08.003>
- [17] [http://www.deltason.com/products/rehabilitation/valpar\\_overview.html#VCWS\\_](http://www.deltason.com/products/rehabilitation/valpar_overview.html#VCWS_) (dostępne w dniu 22.07.2021 r.)



Warunki techniczne wykonania i odbioru instalacji sprężonego powietrza” adresowane są głównie do wykonawców instalacji sanitarnych, inspektorów nadzoru jak również służb zajmujących się eksploatacją.

# Warunki techniczne wykonania i odbioru instalacji sprężonego powietrza

Niewątpliwie będą one również przydatne dla projektantów instalacji sprężonego powietrza oraz studentów inżynierii środowiska, w ramach której wykładany jest przedmiot: instalacje specjalne.

Obecnie sprężone powietrze jest jednym z szerzej stosowanych nośników energii. Ma ono zastosowanie prawie we wszystkich gałęziach przemysłu, od spożywczego do maszynowego czy też ciężkiego włącznie, a także w stomatologii, medycynie, energetyce, oczyszczalniach ścieków i w wielu innych dziedzinach. Różne jest więc jego zastosowanie a zatem i różne są wymagania co do jego parametrów oraz klasy czystości.

Ważną sprawą przy instalacjach sprężonego powietrza jest oszczędność energii, chociaż mogłoby się wydawać, że zagadnienie to jest dalekie od kwestii związanych z wykonaniem i eksploatacją systemów sprężonego powietrza, ale to pozory. Każda bowiem nieszczelność układu sprężonego powietrza przyczynia się do ucieczki powietrza do atmosfery a tym samym do konieczności dostarczenia energii do wytworzenia sprężonego powietrza brakującego w instalacji. Również źle zaprojektowana (niewłaściwe średnice) i wykonana instalacja będzie generowała niepotrzebne straty.

Cena 1 egz. 40 zł + 5% VAT

Sprzedaż prowadzi:

Ośrodek Informacji „Technika instalacyjna w budownictwie”

02-671 Warszawa, ul. Marynarska 14 | tel. (22) 843-77-71 | e-mail: [wydawnictwo@informacjainstal.com.pl](mailto:wydawnictwo@informacjainstal.com.pl)