

# **POLITECHNIKA ŚWIĘTOKRZYSKA**

**Wydział Inżynierii Środowiska, Geodezji  
i Energetyki Odnawialnej**



## **ROZPRAWA DOKTORSKA**

**Analiza komfortu cieplnego i jakości powietrza  
wewnętrznych w budynkach użyteczności publicznej**

**mgr inż. Natalia Krawczyk**

Promotor:

dr hab. inż. Łukasz Jan Orman, prof. PŚk

Promotor pomocniczy:

dr Andrzej Lenarcik

Kielce 2023

*Składam serdeczne podziękowania  
Panu dr hab. inż. Łukaszowi J. Ormanowi,  
Profesorowi Politechniki Świętokrzyskiej  
Za cenne uwagi przekazywane  
W dużym spokoju, profesjonalizm,  
Za wszechstronną pomoc,  
Która była dużym wsparciem  
Podczas pisania poniższej rozprawy doktorskiej,  
A także za cały poświęcony czas.*

*Składam również serdeczne podziękowania  
promotorowi pomocniczemu dr Andrzejowi Lenarcikowi  
Za cenne dyskusje, uwagi i życzliwą pomoc.*

*Jednocześnie serdecznie dziękuję wszystkim osobom,  
które wzięły udział w ocenie wrażeń cieplnych.*

## Spis treści

<b>Wykaz oznaczeń i skrótów .....</b>	<b>5</b>
<b>Wstęp .....</b>	<b>6</b>
<b>1. Przegląd literatury .....</b>	<b>7</b>
1.1. Podstawowe zagadnienia związane z komfortem cieplnym.....	7
1.2. Komfort cieplny w badaniach zagranicznych i krajowych .....	13
<b>2. Modelowanie komfortu cieplnego .....</b>	<b>32</b>
2.1. Model Fanger'a .....	32
2.2. Inne modele i zależności korelacyjne .....	49
<b>3. Wnioski z przeglądu literatury .....</b>	<b>52</b>
<b>4. Cele i tezy pracy .....</b>	<b>53</b>
<b>5. Badania eksperymentalne .....</b>	<b>54</b>
5.1. Przedmiot i zakres badań .....	54
5.2. Metodyka badawcza .....	58
5.2.1. Procedura badawcza .....	58
5.2.2. Miernik mikroklimatu .....	59
5.2.3. Ankieta użytkowników pomieszczeń.....	61
5.2.4. Ankietowani .....	64
5.3. Wyniki badań eksperymentalnych i ich analiza .....	66
5.3.1. Badania w budynkach użyteczności publicznej .....	66
5.3.1.1. Parametry mikroklimatu w badanych pomieszczeniach.....	66
5.3.1.2. Wrażenia termiczne (TSV), akceptowalność (TAV) i preferencje (TPV) użytkowników .....	68
5.3.1.3. Ocena i preferencje dotyczące wilgotności powietrza.....	74
5.3.1.4. Ocena jakości powietrza wewnętrznego .....	78
5.3.1.5. Ocena oświetlenia w pomieszczeniach .....	81
5.3.1.6. Ogólne odczucia w pomieszczeniach (GSV).....	85

5.3.1.7.	Ocena produktywności w pomieszczeniach .....	87
5.3.1.8.	Wpływ indeksu BMI, liczby osób na jednostkę kubatury, oświetlenia, stężenia CO <sub>2</sub> na wrażenia termiczne .....	91
<b>6.</b>	<b>Modyfikacja wskaźników PMV i PPD .....</b>	<b>97</b>
6.1.	Porównanie wskaźników PMV i PPD wg modelu Fanger'a z danymi eksperymentalnymi.....	97
6.2.	Modyfikacja modelu Fanger'a .....	102
6.3.	Weryfikacja modelu Fanger'a w warunkach symulowanych .....	116
<b>7.</b>	<b>Podsumowanie i wnioski.....</b>	<b>122</b>
<b>8.</b>	<b>Literatura.....</b>	<b>123</b>
<b>9.</b>	<b>Wykaz rysunków.....</b>	<b>140</b>
<b>10.</b>	<b>Wykaz tabel .....</b>	<b>142</b>
<b>11.</b>	<b>Wykaz fotografii.....</b>	<b>142</b>
<b>12.</b>	<b>Streszczenie w języku polskim .....</b>	<b>143</b>
<b>13.</b>	<b>Streszczenie w języku angielskim .....</b>	<b>144</b>
<b>14.</b>	<b>Wykaz załączników .....</b>	<b>145</b>

## Wykaz oznaczeń i skrótów

Oznaczenie wielkości	Jednostka miary	Nazwa wielkości
TSV	-	Thermal Sensation Vote (głosowanie na wrażenia termiczne)
PMV	-	Predicted Mean Vote (przewidywana średnia ocena)
PPD	-	Predicted Percentage Dissatisfied (przewidywany odsetek osób niezadowolonych)
$t_{cl}$	°C	temperatura powierzchni odzieży
M	W/m <sup>2</sup>	tempo metabolizmu
W	W/m <sup>2</sup>	efektywna moc mechaniczna
$I_{cl}$	m <sup>2</sup> K/W	izolacyjność cieplna odzieży
$t_a$	°C	temperatura powietrza
$\bar{t}_r$	°C	średnia temperatura promieniowania
$t_{cl}$	°C	temperatura powierzchni odzieży
$f_{cl}$	m <sup>2</sup> °C/W	współczynnik powierzchni odzieży
$h_{cg}$	W/m <sup>2</sup> K	współczynnik konwekcji ciepła
$t_g$	°C	temperatura czarnej kuli
$v_{ar}$	m/s	prędkość powietrza
$\sigma$	$5,67 \cdot 10^{-8} \cdot W/(m^2 \cdot K^4)$	stała Stefana-Boltzmana
$p_a$	Pa	ciśnienie cząstkowe pary wodnej
$h_c$	W/(m <sup>2</sup> K)	współczynnik konwekcji ciepła
TAV	-	Thermal Acceptability Vote (głosowanie na akceptowalność termiczną)
TPV	-	Thermal Preferences Vote (preferencje termiczne)
TO	°C	temperatura operatywna
AHV	-	Air Humidity Vote (głosowanie na wilgotność powietrza)

HPV	-	Humidity Preferences Vote (głosowanie na preferencje dotyczące wilgotności)
Wp	%	Wilgotność powietrza
D	m	średnica kuli
IAQV	-	Indoor Air Quality Vote (głosowanie na jakość powietrza w pomieszczeniach)
GSV	-	General Sensation Vote (głosowanie na ogólne wrażenia)
I	lx	natężenie oświetlenia
BMI	kg/m <sup>2</sup>	Body Mass Index (wskaźnik masy ciała)
LLJK	L/m <sup>3</sup>	liczbą osób na jednostkę kubatury

## Wstęp

Współczesne czasy stanowią wyzwanie dla wielu architektów i projektantów zajmujących się budownictwem, zwłaszcza w kontekście tworzenia warunków wewnętrznych sprzyjających komfortowi termicznemu. Komfort termiczny odgrywa istotną rolę w życiu człowieka, zważywszy na znaczący czas spędzony w zamkniętych pomieszczeniach. Komfort cieplny jest to stan, w którym człowiek jest zadowolony z panujących warunków termicznych. Oznacza to, że nie odczuwa on chłodu ani zbytniego ciepła. Dzięki zapewnieniu odpowiednich warunków termicznych, dobrze czujemy się w pomieszczeniu, co wpływa pozytywnie na nasz układ odpornościowy i produktywność. Jednak obecnie napotykamy ogromne trudności w dostosowaniu parametrów mikroklimatu w taki sposób, aby zapewnić odczuwalny komfort cieplny dla użytkowników. Wyzwanie polega na tym, że jedna osoba może odczuwać zbyt wysoką temperaturę, podczas gdy druga może czuć się zmarznięta w tym samym pomieszczeniu i przy tych samych parametrach mikroklimatycznych. Każda osoba postrzega otoczenie na różne sposoby, ponieważ jest to subiektywna ocena.

Równie istotne jest, aby właściwie przewidywać odczucia termiczne użytkowników budynków. Dzięki temu projektanci i konstruktorzy mogliby, jeszcze przed wykonaniem budynku, określić optymalne wyposażenie obiektów i poszczególnych pomieszczeń w urządzenia i elementy służące utrzymaniu właściwych warunków mikroklimatycznych. Wówczas, na etapie projektu, istniałaby możliwość odpowiedniego zaprojektowania instalacji HVAC (heating, ventilation and air conditioning) czy innych elementów np. automatycznych

rolet okiennych, itp. Skuteczne i precyzyjne przewidywanie komfortu cieplnego ma również istotne znaczenie już po wybudowaniu budynku, kiedy to praca systemów ogrzewania i klimatyzacji ma być tak dostosowana, aby maksymalizować odczucie komfortu cieplnego i jednocześnie minimalizować zużycie energii w obiekcie na potrzeby grzewcze i wentylacyjno - klimatyzacyjne. Aby sprostać tym wyzwaniom niezbędny jest wiarygodny i precyzyjny model komfortu cieplnego, który będzie właściwie przewidywał odczucie komfortu cieplnego użytkowników w funkcji parametrów mikroklimatycznych i cech osobniczych użytkowników.

Biorąc pod uwagę powyższa praca koncentruje się na badaniach eksperymentalnych komfortu cieplnego dla dużej liczby użytkowników pomieszczeń w różnych obiektach edukacyjnych, a na podstawie uzyskanej bazy eksperymentalnej możliwe jest opracowanie modyfikacji modelu komfortu cieplnego. Praca stanowi zatem istotny wkład naukowy w rozwój tego istotnego obszaru, ale ma również charakter użytkowy.

Praca składa się z siedmiu rozdziałów. Rozdział pierwszy zawiera aktualny stan wiedzy na temat zakresu komfortu cieplnego, omówienie pięciu czynników wpływających na komfort cieplny (temperatura powietrza, wilgotność względna powietrza, prędkość powietrza, średnia temperatura powietrza i aktywność fizyczna) oraz przedstawienie go w badaniach zagranicznych i krajowych. W rozdziale drugim omówiono równanie komfortu cieplnego wraz z jego elementami oraz inne modele i zależności korelacyjne. Rozdział trzeci i czwarty zawierają wnioski z przeglądu literatury, a także główne cele i tezy pracy. W piątym rozdziale opisano metodykę badawczą ze szczególnym uwzględnieniem parametrów technicznych urządzenia Testo 400. Następnie omówiono badania eksperymentalne w budynkach użyteczności publicznej i komorze klimatycznej. Rozdział szósty kończy się analizą statystyczną modyfikowanych wskaźników PMV i PPD. Rozprawę doktorską kończy siódmy rozdział, który zawiera podsumowanie i wnioski.

## **1. Przegląd literatury**

### **1.1. Podstawowe zagadnienia związane z komfortem cieplnym**

Historia badań nad komfortem cieplnym sięga już co najmniej kilku stuleci. W XVIII wieku, brytyjski lekarz William Buchan [1] zauważył, że temperatura w pomieszczeniach ma wpływ na zdrowie i samopoczucie ludzi. W swojej książce „Domestic Medicine” zalecał, aby temperatura w pomieszczeniach nie przekraczała 21°C [1]. W kolejnych dziesięcioleciach pojawiały się kolejne teorie i badania, które miały na celu określenie optymalnej temperatury

w pomieszczeniach, a także innych czynników wpływających na komfort cieplny. W dzisiejszych czasach pojęcie komfortu cieplnego staje się coraz bardziej istotne.

Temat komfortu cieplnego interesował naukowców od wielu lat, ale można wskazać kilku pierwszych badaczy, którzy zaczęli prowadzić eksperymenty w tej dziedzinie. Jednym z pierwszych naukowców, którzy zainteresowali się tematem komfortu cieplnego, był Robert Boyle - brytyjski fizyk i chemik, który w XVII wieku prowadził eksperymenty nad wpływem temperatury na organizm człowieka. Kolejno Benjamin Thompson - amerykański fizyk i wynalazca, który w XVIII wieku zajmował się badaniami dotyczącymi przewodnictwa cieplnego i wpływu różnych czynników na komfort cieplny. P.O. Fanger - duński inżynier, który w XX wieku stworzył koncepcję indeksu PMV (Predicted Mean Vote) do oceny komfortu cieplnego w pomieszczeniach [2]. Za pomocą wskaźnika PMV można zrozumieć odczucia termiczne ludzi w dowolnym pomieszczeniu. W Polsce obowiązuje norma PN-EN ISO 7730:2006 „Ergonomia środowiska termicznego – Analityczne wyznaczanie i interpretacja komfortu termicznego z zastosowaniem obliczania wskaźnika PMV i PPD (Predicted Percentage Dissatisfied) oraz kryteriów lokalnego komfortu termicznego (org.)” [3] oraz PN-EN ISO 8996:2005 [4]. Wskaźnik PPD dotyczy odsetka osób niezadowolonych z jakości parametrów mikroklimatu. Norma [3] określa takie parametry jak temperatura powietrza, prędkość przepływu powietrza, wilgotność względna powietrza i promieniowanie cieplne. Czynniki te mogą wpływać na dobre samopoczucie lub dyskomfort ludzi. Dyskusję dokładności stosowanej w PN-EN ISO 7730 metody obliczeniowej wg modelu Fangera przedstawiono w pracach własnych [5–11].

Głównym elementem projektowania sztucznego klimatu wewnątrz budynków jest komfort cieplny. Ma on znaczący wpływ na zdrowie ludzkie i jego bezpieczeństwo w budynku. Niezapewnienie dobrych warunków może niekorzystnie wypłynąć na nasze zdrowie, dobre samopoczucie, jak i produktywność. Sprawia to, że czujemy się zmęczeni i stajemy się mniej wydajni, w konsekwencji nasza efektywność wykonywanych czynności znacznie spada. Każdy z nas pracując bądź ucząc się, chce mieć zapewnione odpowiednie warunki do pracy czy nauki. Komfort cieplny charakteryzuje się tym, iż jest nam przyjemnie w danych warunkach klimatycznych. Należy zagwarantować w istniejących i nowoczesnych budynkach odpowiednie warunki termiczne, w których nie jest nam ani zbyt ciepło ani zbyt zimno. Analizom odczuć termicznych w różnych budynkach poświęcono prace własne [12–21]. Należy nadmienić, że zapewnienie odpowiednich warunków mikroklimatu nie dotyczy tylko



budynków, ale także innych przestrzeni zamkniętych – np. samochodów, co analizowano w pracach własnych [9,22].

Czynniki wpływające na komfort cieplny są liczne i różnorodne, a ich wpływ na odczuwanie temperatury przez człowieka może się znacznie różnić w zależności od warunków zewnętrznych, rodzaju pomieszczenia i indywidualnych preferencji użytkowników. Komfort cieplny jest złożonym zagadnieniem, które obejmuje wiele różnych czynników. W celu ustalenia odpowiedniego komfortu cieplnego, rozsądnym rozwiązaniem jest uwzględnienie jak największej liczby czynników wpływających na odczucia cieplne odbierane przez człowieka. Głównymi parametrami, które wpływają na wrażenia termiczne są: temperatura powietrza, wilgotność względna, prędkość przepływu powietrza, średnia temperatura promieniowania oraz aktywność fizyczna [2]. Czynniki wpływające na komfort cieplny są bardzo zróżnicowane i złożone. Oczywistym czynnikiem jest temperatura powietrza. Kiedy temperatura powietrza jest za niska lub za wysoka, to ludzie nie czują się komfortowo w pomieszczeniach. Zbyt wysoka temperatura pogarsza nasze samopoczucie, stajemy się senni, jesteśmy bardziej podatni na infekcje czy też nasza skóra jest sucha. Organizm ludzki potrafi funkcjonować w szerokim zakresie temperatur, lecz tylko w niewielkim czuje komfort cieplny. Taka sama temperatura latem czy zimą będzie inaczej przez nas odczuwana. W zależności od rodzaju pomieszczenia i aktywności, którą się w nim wykonuje, optymalna temperatura może być różna. Na przykład w biurach, w których większość czasu spędza się w pozycji siedzącej, zakres temperatury dotyczący ogrzewania dla osób ubranych w odzież o oporze termicznym około 1,0 clo wynosi 20-24°C, natomiast zakres temperatury dotyczący chłodzenia dla osób ubranych w odzież około 0,5 clo wynosi 23-26°C [23]. W budynkach mieszkalnych zakres dla sezonu letniego jest taki sam, zaś dla sezonu grzewczego wynosi 20-25°C [23].

Innym ważnym czynnikiem wpływającym na komfort cieplny jest wilgotność względna powietrza, która jest wyrażana jako ciśnienie pary wodnej w powietrzu. Wilgotne powietrze może powodować uczucie duszności, a suchość może powodować podrażnienia gardła i oczu. Zmiana temperatury powietrza wpływa w dużym stopniu na wilgotność. Dla temperatury umiarkowanej wynoszącej 26°C oraz umiarkowanej aktywności mniejszej od 2 Met, wilgotność ma mały wpływ na odczucie komfortu cieplnego. Wilgotność względną powyżej 10% ocenia się jako wzrost temperatury pracy o około 0,3°C. Im wyższa temperatura powietrza i aktywność fizyczna, tym jest większy jej wpływ [3]. Optymalna wilgotność powietrza w pomieszczeniach powinna mieścić się w zakresie od 40 do 60%. W przypadku pomieszczeń, w których występuje duża ilość wilgoci, takich jak łazienki czy kuchnie, ważne

jest stosowanie systemów wentylacyjnych, które pozwolą na usunięcie nadmiaru wilgoci z powietrza. Wyższa wilgotność w pomieszczeniach powoduje również powstawanie grzybów, pleśni, które w sposób negatywny wpływają na zdrowie ludzkie. Natomiast przy niskich wartościach wilgotności możemy czuć suchość w gardle, osłabienie odporności organizmu, czy zmęczenie. Utrzymanie prawidłowego poziomu wilgotności w pomieszczeniach służy naszemu zdrowiu [24]. Podsumowując, wilgotność powietrza jest ważna przy ocenie komfortu cieplnego. W związku z tym wskazane jest, aby jej wartość była na odpowiednim poziomie.

Kolejnym czynnikiem wpływającym na komfort cieplny jest prędkość przepływu powietrza, która ma znaczący wpływ na rzeczywiste odczuwanie komfortu cieplnego. Prędkość jest to parametr, związany z wymianą ciepła przez konwekcję między środowiskiem a ciałem ludzkim. To zjawisko wpływa nie tylko na komfort termiczny, ale również na negatywne odczucia związane z przeciągiem w pomieszczeniu. Zwiększając prędkość powietrza zrównoważamy odczucia ciepła, które spowodowane są wzrostem temperatury w pomieszczeniu. W przypadku natężenia przepływu powietrza nie ma minimalnej wartości, która mogłaby zapewnić komfort cieplny. Ruch powietrza w pomieszczeniu może być spowodowany na przykład otwarciem okien, drzwi lub włączeniem wentylatorów. Przykładowo latem, gdy temperatura wewnątrz pomieszczenia jest wyższa, to większa prędkość powietrza nie wpłynie negatywnie na nasz komfort. Pozytywne aspekty wzrostu prędkości powietrza zależą od rodzaju ubioru, różnicy w wysokości temperatury ciała lub ubioru człowieka, aktywności fizycznej a wartością temperatury powietrza. Zwiększenie strat ciepła poprzez zwiększenie ruchu powietrza jest korzystniejsze, gdy średnia temperatura promieniowania jest wyższa od temperatury powietrza niż sytuacji odwrotnej [3]. Zbyt szybki przepływ powietrza może powodować uczucie zimna i dyskomfortu, nawet jeśli temperatura powietrza jest odpowiednia. W biurach i innych pomieszczeniach, w których ludzie pracują w pozycji siedzącej, optymalna prędkość przepływu powietrza w sezonie grzewczym wynosi 0,16 m/s, natomiast w sezonie chłodniczym 0,19 m/s. Dopuszczalne są wyższe maksymalne prędkości przepływu powietrza w czasie, gdy temperatura powietrza jest wyższa od 25°C pod warunkiem, że użytkownicy mogą kontrolować prędkość powietrza [25].

Ostatnim ważnym czynnikiem wpływającym na komfort cieplny jest promieniowanie cieplne. Promieniowanie cieplne pochodzi z różnych źródeł, szczególnie ze słońca, sztucznego oświetlenia i urządzeń grzewczych. W pomieszczeniach, w których występują źródła istotnego promieniowania cieplnego, ważne jest, aby unikać bezpośredniego kontaktu z nimi. W biurach i innych pomieszczeniach, w których nie ma znaczących źródeł promieniowania cieplnego,

optymalne warunki termiczne można osiągnąć poprzez stosowanie systemów wentylacyjnych i klimatyzacyjnych. Średnia temperatura promieniowania służy do oceny zjawiska utraty energii cieplnej ciała ludzkiego, zachodzącego w danym pomieszczeniu, gdzie funkcjonuje człowiek. Średnia temperatura promieniowania to jednolita temperatura otoczenia, która jest reprezentowana przez ciemne powierzchnie, odpowiadające utracie ciepła poprzez promieniowanie, zrównanej z stratami w otoczeniu. Można wyróżnić dwa przypadki promieniowania, krótkofalowe oraz o normalnej długości fali. Dla promieniowania krótkofalowego, średnia temperatura promieniowania zależy od zdolności pochłaniania promieniowania przez zewnętrzną powierzchnię odzieży. Odzież koloru czarnego noszonego przez człowieka sprawia, że temperatura promieniowania jest wyższa, niż gdy ten sam człowiek ma ubiór o jasnym kolorze. Promieniowanie słoneczne jest przykładem promieniowania krótkofalowego. Natomiast przy promieniowaniu o normalnej długości, pochłanianie promieniowania będzie równe zdolności jego emisji. Zdolność emisji odzieży dla drugiego przypadku nie ma wpływu na średnią temperaturę promieniowania. Dzieje się tak, dlatego, że wartość temperatury jest taka sama dla ubrań wykonanych z materiałów włókienniczych, jak i z aluminium. Wykonując obliczenia obejmujące wymianę ciepła z otoczeniem przez promieniowanie, wartość ta wynosi 0,97. Oznacza to zdolność do emitowania promieniowania przez skóry i tekstylia [26]. Zagadnienie wymiany ciepła przez promieniowanie poruszono w pracy własnej nt. pomiarów termowizyjnych [27]. Wpływ temperatury odzieży na komfort użytkowników poprzez proces wymiany ciepła zbadano w publikacji [28]. Autorzy wykazali, że tkaniny mogą poprawić komfort termiczny użytkownikom, a tym samym będzie to miało wpływ na oszczędność energii w pomieszczeniach.

Nie mniej ważnym czynnikiem, który może zaburzyć parametry komfortu cieplnego jest aktywność fizyczna. W organizmie człowieka podczas wykonywania aktywności fizycznej zachodzą procesy metaboliczne. Inne preferencje dotyczące komfortu cieplnego będzie miał człowiek wykonujący większy wysiłek fizyczny niż człowiek bez żadnej aktywności fizycznej, np. tryb siedzący lub przejście z jednego pomieszczenia do drugiego. W celu utrzymania równowagi cieplnej organizm ludzki wykorzystuje system termoregulacji, który w miarę wzrostu temperatury ciała będzie próbował ją obniżyć wydzielając pot, a tym samym schładzając powierzchnie skóry. Ciepło wytwarzane przez człowieka wyrażane jest w jednostce  $W/m^2$  przy założeniu pola powierzchni ciała człowieka. Wartości ciepła uzyskiwanego w procesach metabolicznych w przypadku spoczynku wynoszą około  $58 W/m^2$ , a dla aktywności fizycznej takiej jak chodzenie około  $140 W/m^2$  [3].

Warto zwrócić uwagę na aktualną sytuację post-epidemiczną na świecie. Covid – 19 zmienił nasze życie prywatne, społeczne oraz gospodarcze. Z tego powodu większość z nas zmieniła tryb życia na zdalny. Wiąże się to z tym, że pracując w zamkniętych pomieszczeniach, chcemy czuć się w nich komfortowo. Ogólnie rzecz biorąc, odczucie komfortu cieplnego znacząco wpływa na wydajność pracy (czemu poświęcono prace własne [29–32]). Dlatego ważne jest zapewnienie odpowiednich warunków w danym pomieszczeniu poprzez zastosowanie odpowiednich urządzeń klimatyzacyjnych i grzewczych. Dostarczone do budynku ciepło może być wytwarzane z wykorzystaniem metod konwencjonalnych, jak również metod alternatywnych, do których należą: fotowoltaika, turbiny wiatrowe, panele słoneczne, pompy ciepła itp. W celu zminimalizowania strat ciepła, w budynkach można zastosować systemy magazynowania energii, które zdobywają coraz większą popularność dzięki integracji z technologiami odnawialnych źródeł energii (OZE). Duża część energii wykorzystywana jest do utrzymania komfortu cieplnego w budynkach. Ważne jest, aby zapewnić komfort cieplny i tym samym zmniejszyć koszty energii. Zagadnieniu porównania odczuć termicznych w budynkach tradycyjnych i inteligentnym, zasilanym z OZE poświęcono prace własne [12–18].

Wraz z rozwojem technologii i wzrostem świadomości ludzi na temat wpływu warunków termicznych na zdrowie i samopoczucie, pojawiają się nowe metody badań komfortu cieplnego oraz normy i wytyczne określające optymalne warunki termiczne w różnych rodzajach pomieszczeń. Jedną z metod jest tzw. adaptacyjne modelowanie termiczne, które uwzględnia fakt, że ludzie są w stanie dostosować się do różnych warunków termicznych i wybierają takie rozwiązania, które są dla nich najbardziej komfortowe.

Podsumowując, historia badań nad komfortem cieplnym sięga kilku stuleci, a wraz z rozwojem technologii i wzrostem świadomości ludzi, pojawiają się coraz bardziej zaawansowane metody badania i normy określające optymalne warunki termiczne w różnych rodzajach pomieszczeń. Właściwe zaplanowanie i wykonanie instalacji wentylacyjnej, grzewczej oraz klimatyzacyjnej jest kluczowe dla zapewnienia odpowiednich warunków termicznych w budynkach. Wymagane jest tu dokładne określenie potrzeb termicznych pomieszczenia, a także dobór odpowiednich urządzeń, takich jak grzejniki, klimatyzatory czy rekuperatory, które pozwolą na dostarczenie optymalnej ilości ciepła lub chłodu do pomieszczenia. Wpływ na komfort cieplny mają również czynniki związane z otoczeniem zewnętrznym, takie jak nasłonecznienie, kierunek i siła wiatru, a także parametry klimatyczne, takie jak temperatura i wilgotność powietrza na zewnątrz. W przypadku budynków

mieszkalnych, ważne jest również zadbanie o izolację termiczną budynku, która pozwala na utrzymanie pożądanej temperatury wewnątrz pomieszczeń oraz minimalizowanie strat ciepła. Wreszcie, nie można zapominać o indywidualnych preferencjach użytkowników pomieszczeń, które także mają wpływ na odczuwanie komfortu cieplnego. Wymagania dotyczące temperatury i wilgotności powietrza mogą się różnić w zależności od wieku, płci, stanu zdrowia oraz aktywności fizycznej. Dlatego też, aby osiągnąć optymalne warunki termiczne w różnego rodzaju pomieszczeniach, konieczne jest uwzględnienie jak największej liczby czynników wpływających na komfort cieplny, a także uwzględnienie indywidualnych potrzeb użytkowników. W ten sposób można zapewnić zarówno zdrowe i komfortowe warunki pracy, jak i mieszkania, co przekłada się na lepsze samopoczucie oraz zwiększenie efektywności i produktywności użytkowników pomieszczeń.

## **1.2. Komfort cieplny w badaniach zagranicznych i krajowych**

Komfort cieplny badany wszędzie tam, gdzie przebywają ludzie tj. w przestrzeniach otwartych (np. na chodnikach, w centrach miast) i zamkniętych (np. budynkach, środkach transportu). W przypadku budynków obiektem zainteresowań badaczy są w szczególności budynki użyteczności publicznej, obiekty handlowe, domy i mieszkania. Zwłaszcza istotną wydaje się analiza odczuć cieplnych w budynkach użyteczności publicznej, co jest związane m.in. ze znaczącą ilością energii potrzebnej do utrzymania właściwych parametrów mikroklimatu pomieszczeń, a także wpływem warunków środowiska wewnętrznego na produktywność pracowników zakładów pracy czy zdolność do przyswajania wiedzy uczniów i studentów obecnych w budynkach dydaktycznych.

Badania nad komfortem cieplnym na kampusie uniwersyteckim w Stanach Zjednoczonych prowadzili Aghniaey i in. [33]. Przeanalizowali 11 sal lekcyjnych o zakresie temperatur od 21 do 27°C. W artykule zostały zmierzone następujące parametry: temperatura powietrza w pomieszczeniu, wilgotność względna, stężenie CO<sub>2</sub>, średnią temperaturę promieniowania, prędkość powietrza. W badaniu wzięło udział 1336 studentów. Co więcej oszacowano poziom izolacji odzieży oraz ocenę wrażenia termicznego na podstawie 7 punktowej skali ASHRAE. Umieszczone zostało również pytanie na temat czy w czasie wykonywanych badań, studenci byli zdrowi czy chorzy. Temperatura powietrza i wilgotność względna były mierzone za pomocą rejestratorów temperatury i wilgotności. Przenośny miernik wykorzystano do zbadania poziomu dwutlenku węgla i średniej temperatury promieniowania. Wszystkie parametry zostały zmierzone, podczas gdy uczniowie uzupełniali ankiety. Przyjęty wskaźnik metabolizmu był równy 1,2 Met. Okazało się, że ogólnie

wytworzony mikroklimat sprzyjał akceptowalności uczniów. Po analizie ankiet ustalono, że uczniowie nie wykazywali chęci zmiany temperatury, jeśli wynosiła ona około 23,5°C. Mors i inni [34] prowadzili badania w budynkach szkolnych i zaobserwowali znaczną różnicę między PMV wyznaczonym za pomocą normy a danymi z ankiet. Wrażenia termiczne (AMV) w pracy [33] mieszczą się w zakresie od -2 do +2. Został przeprowadzony również test ANOVA, aby ustalić zależność między wartościami AMV a temperaturami operacyjnymi w badanym pomieszczeniu. Stężenie CO<sub>2</sub> utrzymywało się między 700 a 1300 ppm. Wilgotność względna mieściła się w zakresach 50 ± 10%. Mierzone temperatury w różnych miejscach sali nie różniły się znacząco (do ± 0,5°C). Autorzy pokazali, że akceptowalność termiczna spadła do mniej niż 80% przy wyższej temperaturze. Badania w szkole zaprezentowali również autorzy [35], którzy przeprowadzili ocenę stanu zdrowia i komfortu cieplnego osób w wieku szkolnym w 54 salach lekcyjnych w Holandii. Zmierzyli takie parametry jak: stężenie dwutlenku węgla, temperaturę i wilgotność powietrza. Badania wykazały, że dzieciom najbardziej przeszkadzał hałas i światło słoneczne. Niecałe 40% ankietowanych nie lubiło panującej temperatury w klasie, przy szerokim zakresie temperaturowym (od 21°C do 26,2°C). Autorzy [36] zaproponowali badanie, w którym ocenili subiektywne odczucia termiczne uczniów i obiektywne pomiary parametrów na podstawie 982 ankiet. Na tej podstawie stwierdzono, że uczniowie w lekkich ubraniach przystosowali się do chłodniejszych warunków termicznych w klasie.

Jungsoo i Richard [37] skoncentrowali się na badaniu zachowań termoregulacyjnych uczniów. Autorzy przeprowadzili badania ankietowe, w których uczestniczyli uczniowie szkół podstawowych i średnich. Ankietowani zostali poproszeni o ocenę aktualnego komfortu termicznego oraz wyrażenie preferencji dotyczących temperatury wewnątrz sal lekcyjnych. Dodatkowo, uczniowie zostali zapytani o swoje zachowania adaptacyjne, takie jak zmiana ubioru, otwieranie okien, korzystanie z wentylatorów itp. oraz w przypadku, gdy odczuwają dyskomfort termiczny. Na podstawie zebranych 4866 odpowiedzi autorzy stwierdzili, że studenci preferują chłodniejsze warunki klimatyczne. Natomiast uczniowie klas podstawowych wykazują szerszy zakres tolerancji odczuć termicznych. Jiang i in. [38] na podstawie badań przeprowadzonych w szkole wykazali, że dyskomfort termiczny uczniów jest spowodowany wysoką lub niską temperaturą powietrza. Środowisko termiczne jest ściśle związane z wydajnością uczniów jak i stanem zdrowia. Podobne badania przeprowadzili Lipczyńska i in. [39], którzy wykonali badania w trzech warunkach środowiskowych. Badanie przeprowadzono przy temperaturze powietrza 23°C, a następnie zwiększyli wartość do 26°C oraz do 27°C. Dla badanych osób najbardziej komfortowa temperatura była na poziomie 26°C, bo aż 91%

ankietowanych było zadowolonych z tych warunków. Dodatkowo zmiana temperatury z 23 na 26°C przyczyniła się do oszczędności energii wykorzystywanej do chłodzenia. Autorzy potwierdzili, że jeżeli warunki komfortu cieplnego ulegają poprawie, wzrasta również produktywność badanych osób.

Merabtime wraz z współautorami [40] przeprowadzili badania w budynku edukacyjnym na 41 uczniach w wieku od 17-22 lat. Ankietowani byli niezadowoleni z warunków termicznych w obszarze obejmującym kawiarnie oraz części wypoczynkowej. Autorzy [40] dowiedli, że można poprawić odczucia cieplne, podwyższając temperaturę o 1°C. W Indonezji, w Makassar, Hamzah i in. [41] zbadali czynniki, które w największym stopniu wpływają na samopoczucie uczniów szkół podstawowych. Przebadali łącznie 1111 osób, w 33 salach dydaktycznych z 6 różnych szkół. Najlepsza według uczniów temperatura sprzyjająca nauce i poczuciu komfortu mieściła się w przedziale od 29,1°C do 30,0°C, co związane jest z lokalizacją Indonezji, w której panuje strefa klimatu równikowego wilgotnego wraz z wysokimi temperaturami. Autor [42] przebadał 180 osób w szkole podstawowej (w wieku 7-12 lat) w porze suchej i deszczowej pod kątem ciepłego oraz wilgotnego klimatu w Nigerii. Odkrył, że dzieci są bardziej wrażliwe na wahania temperatury. Wynikało to z faktu, że średnia temperatura w porze suchej wynosiła 29,1°C, a w porze deszczowej 28,1°C. Okazało się, że dzieci bardziej akceptowały temperaturę w porze deszczowej niż w porze suchej, określając ją jako niedopuszczalną.

Artykuł [43] opisuje badania komfortu cieplnego w naturalnie wentylowanych klasach szkolnych w Indiach. W artykule zaprezentowano wyniki badań, które miały na celu określenie, jakie czynniki wpływają na komfort cieplny w pomieszczeniach oraz jakie są preferencje termiczne uczniów. Badania przeprowadzono w trzech szkołach podstawowych, gdzie wykonano pomiary temperatury powietrza, wilgotności i prędkości powietrza w klasach. W ankiecie dla uczniów zapytano o ich preferencje dotyczące temperatury, prędkości powietrza i wilgotności. Na podstawie zebranych danych opracowano model matematyczny, który umożliwiał określenie, jaka temperatura i prędkość powietrza byłyby optymalne dla komfortu termicznego w klasach. Wyniki badań wykazały, że w klasach szkolnych w Indiach optymalna temperatura wynosi około 25°C, a prędkość powietrza nie powinna przekraczać 0,2 m/s. Respondenci preferowali również wilgotność powietrza na poziomie około 60%. Na podstawie tych wyników zalecono, aby przyszłe budynki szkolne były zaprojektowane z myślą o naturalnej wentylacji, aby umożliwić zapewnienie optymalnych warunków termicznych w klasach. W artykule podkreślono również, że badania komfortu cieplnego w szkołach są

szczególnie ważne, ponieważ komfort termiczny ma wpływ na zdolność uczniów do skupienia uwagi i nauki. Przeprowadzone badania mogą pomóc w projektowaniu bardziej efektywnych i przyjaznych dla środowiska budynków szkolnych, co może przyczynić się do poprawy jakości nauczania.

Autorzy [44] wykonali 32 pomiary w 10 różnych pomieszczeniach znajdujących się w 6 oddzielnych budynkach edukacyjnych w Portugalii. W wyniku tych pomiarów zebrano 490 kwestionariuszy. Dla każdego pomieszczenia obliczono wskaźnik PMV. Badania zostały przeprowadzone w łagodnym klimacie, gdzie średnia temperatura w styczniu wynosiła 6,9°C, a w lipcu 21,4°C. Temperatura powietrza, średnia temperatura promieniowania, prędkość powietrza i wilgotność względna zostały zarejestrowane za pomocą specjalnego urządzenia pomiarowego. Kwestionariusz zawierał pytania dotyczące subiektywnego odczucia termicznego, oceny warunków termicznych, preferencji dotyczących temperatury oraz tolerancji na warunki termiczne. Okazało się, że model PMV-PPD miał większą zmienność i przewidywał niższe subiektywne odczucia termiczne niż wynikało to z odpowiedzi udzielonych w kwestionariuszach. Stwierdzono umiarkowaną korelację między wskaźnikiem PMV a subiektywnym odczuciem termicznym w zależności od temperatury operacyjnej.

Z kolei autorzy [45] przeprowadzili badania dotyczące temperatury i wilgotności względnej na polskim i hiszpańskim uniwersytecie oraz ankiety w celu oceny komfortu termicznego. Wykorzystali do tego metody pomiarowe i analizę danych, aby zbadać i porównać parametry mikroklimatyczne w badanych salach lekcyjnych. Wyniki badań wykazały, że optymalna temperatura powietrza wewnętrznego dla studentów w Polsce wynosiła od 21,7 do 22,3°C, podczas gdy w Hiszpanii wynosiła od 23,3 do 24,8°C. Co ciekawe, większość hiszpańskich studentów odczuwała chłód, mimo że temperatura mieszcząca się w zalecanym zakresie była o około 2°C wyższa niż w Polsce. Wyjaśnienie tego zjawiska można znaleźć w modelach adaptacyjnych komfortu termicznego, które sugerują, że dla danego miesiąca testowego Hiszpania ma wyższe wartości komfortu termicznego niż Polska. Artykuł [46] bada korelację między danymi eksperymentalnymi a modelami matematycznymi w kontekście oceny komfortu termicznego. Testy rozpoczęto po 30 minutach od rozpoczęcia zajęć. W ramach badania, przeprowadzono bezpośrednie pomiary parametrów mikroklimatu wewnętrznego oraz przeprowadzono kwestionariusze w okresie jesieni, zimy i wiosny w salach lekcyjnych na Uniwersytecie w Perugii, Terni i Pavii we Włoszech. Temperatury powietrza wewnętrznego oscylowały w zakresie od 20,9 do 26,4°C, średnie temperatury promieniowania mieściły się w przedziale od 20,1 do 25,1°C, a wilgotność względna wynosiła od 25 do 63,7%.



Ruch powietrza był niewielki, a maksymalna prędkość powietrza wynosiła 0,085 m/s. Odczucia termiczne zgłaszane przez respondentów w analizowanych salach lekcyjnych były ogólnie bardzo zadowolające, przeważnie mieściły się w akceptowalnym zakresie od -0,5 do +0,5, z wyjątkiem dwóch przypadków, gdzie wynosiły odpowiednio 0,6 i 0,78. Z kolei badacze [47] przeprowadzili analizę warunków termicznych, akustycznych i oświetleniowych w siedmiu salach lekcyjnych na Uniwersytecie w Pavii we Włoszech. Testy obejmowały pomiar różnych parametrów fizycznych, takich jak temperatura powietrza wewnętrznego i zewnętrznego, wilgotność względna, średnia temperatura promieniowania i prędkość powietrza. Dodatkowo, respondenci odpowiedzieli na ankiety dotyczące ich odczuć. Do badań komfortu cieplnego użyli trzynastostopniową skalę komfortu cieplnego zamiast stosowanej wg normy ISO 7730 [3] siedmiostopniowej. Jednakże, nie zaobserwowano istotnych różnic między tymi dwoma skalami. Zebrano 331 kwestionariuszy od respondentów dotyczących ich doświadczeń związanych z komfortem termicznym. Interesującym wnioskiem była obserwacja, że średnie wartości wskaźnika PMV i PPD mogą się różnić między kobietami a mężczyznami, z różnicą maksymalną wynoszącą odpowiednio 0,45 i 11,57%. Ogólnie rzecz biorąc, trzy z siedmiu badanych sal lekcyjnych miały bardzo dobry poziom komfortu termicznego (średnia PMV wynosiła od 0,08 do 0,36), podczas gdy dwóch pozostałych salach były niezadowolające (z średnim PMV wynoszącym 1,15 i -1,10).

Singh i inni [48] zbadali komfort termiczny w klasach lekcyjnych z naturalną wentylacją w okresie letnim w klimacie złożonym w Indiach na 900 uczniach (głównie mężczyznach). Badanie obejmowało ocenę termiczną, preferencje oraz akceptowalność, jak i pomiary parametrów środowiskowych. Średnia temperatura wewnątrz pomieszczenia wynosiła 30,4°C (z zakresem od około 26,6°C do około 36°C), a średnia wilgotność względna wynosiła 39,4%. Opór cieplny odzieży wynosił 0,41 clo. Metodą Griffithsa obliczono średnią temperaturę komfortu na poziomie 29,8°C. Około 59% uczestników badania zgłosiło neutralne odczucia termiczne, a 69% wyraziło preferencję „bez zmian” w zakresie warunków termicznych. Około 81% udzielonych odpowiedzi mieściło się w przedziale komfortu. Wyniki badania wskazują, że zdecydowana większość uczestników jest zadowolona z warunków, które mogą być uznane za niezadowolające przez europejskich respondentów. Artykuł [49] skupia się na ocenie komfortu termicznego we włoskich salach lekcyjnych w okresie przejściowym, wykorzystując podejście obiektywne i subiektywne. Autorzy przeprowadzili badania, które obejmowały zarówno pomiary parametrów fizycznych środowiska, jak i kwestionariusze wypełniane przez użytkowników sal lekcyjnych. W badaniu uwzględniono kilka aspektów

oceny komfortu termicznego. Po pierwsze, przeprowadzono pomiary różnych parametrów mikroklimatycznych, takich jak temperatura powietrza, wilgotność względna i prędkość powietrza, aby uzyskać obiektywne dane dotyczące warunków termicznych w salach lekcyjnych. Po drugie, zastosowano podejście subiektywne, korzystając z kwestionariuszy wypełnianych przez użytkowników sal lekcyjnych, aby uzyskać informacje na temat ich odczuć termicznych, preferencji i zadowolenia z warunków termicznych. Stwierdzili, że istnieje zgodność między ocenami subiektywnymi a danymi obiektywnymi, co wskazuje na istotność uwzględnienia perspektywy użytkowników przy ocenie komfortu termicznego. Większość uczestników badania wyraziła zadowolenie z warunków termicznych w salach lekcyjnych. Wyniki badania pokazują, że istnieje stopniowa zmiana preferencji dotyczących komfortu termicznego, która występuje od sezonu ogrzewczego do sezonu przejściowego, gdy temperatury są bardziej umiarkowane.

Celem artykułu [50] była ocena warunków termicznych wewnątrz budynku szkoły i zrozumienie poziomu komfortu termicznego doświadczanego przez uczniów i personel szkolny. Autorzy przeprowadzili badanie terenowe, w którym dokonano pomiarów parametrów środowiskowych, takich jak temperatura powietrza, wilgotność, prędkość powietrza i natężenie światła. Dodatkowo, w pracy wykonano badania ankietowe wśród uczniów i personelu szkolnego, aby uzyskać informacje na temat ich percepcji komfortu termicznego oraz ewentualnych problemów z nim związanych. Skonfrontowali wyniki z wytycznymi i standardami dotyczącymi komfortu termicznego, aby ocenić, czy budynki szkolne spełniają odpowiednie kryteria. W omawianej pracy [50] stwierdzono, że budynek szkolny nie zapewnia odpowiednich warunków termicznych ze względu na temperaturę i wilgotność względną powietrza. Głównie zimą i latem większość użytkowników budynku odczuwała dyskomfort, gdzie temperatura powietrza zimą wahała się w przedziale od 19 do 26°C ( $PMV = -1,4$ ), zaś latem od 27 do 35°C ( $PMV = +1,4$ ). Autorzy podkreślają też konieczność uwzględnienia czynnika ludzkiego i dostosowania środowiska do potrzeb użytkowników. Mishra z innymi autorami [51] skupili się na analizie percepcji komfortu termicznego studentów w trakcie trwania zajęć w ogrzewanym pomieszczeniu uniwersyteckim. Autorzy przeprowadzili pomiary parametrów środowiskowych oraz badania ankietowe, aby uzyskać informacje na temat ich odczuć termicznych i preferencji dotyczących warunków w salach lekcyjnych. Na podstawie zebranych danych z okresu dwóch tygodni, autorzy dokonali analizy statystycznej i ocenę percepcji komfortu termicznego studentów w trakcie trwania zajęć. Zbadali zmienność odczuć termicznych w różnych porach zajęć oraz zidentyfikowali czynniki, które wpływają na poziom

komfortu termicznego studentów. 76% uczniów oceniło środowisko jako „do przyjęcia”, a na temat skarg dotyczących jakości środowiska, 62% uczniów nie zawierało żadnych problemów. Głównie skargi dotyczyły hałasu (14%) i oświetlenia (10%).

Badania nad komfortem cieplnym prowadzone też były w budynkach biurowych (które wykazują bardzo wiele podobieństw do budynków edukacyjnych w zakresie odczuć termicznych – i cechują się podobnym sposobem ich wykorzystania tzn. okresowym), między innymi przez autorów [52,53], którzy ustalili, że optymalna temperatura dla użytkowników to 27,2°C. Ponadto stwierdzili, że prędkość powietrza w biurach była niska, co wskazuje na potrzebę zastosowania wentylatorów sufitowych. Z kolei Langevin i in. [54] zauważyli, że wskaźniki PMV precyzyjniej przewidują odczucia cieplne w warunkach laboratoryjnych niż w badaniach terenowych. Manu i in. [55] przeprowadzili badania komfortu cieplnego w 16 budynkach w trzech porach roku, zimą, wiosną i latem. Badanie wykonali dla budynków z wentylacją naturalną, z klimatyzacją i trybem mieszanym. Autorzy wyjaśnili, że mieszkańcy biur są tolerancyjni na wysokie temperatury. Jazizadeh i in. [56] przeprowadzili badania w budynkach biurowych pod kątem komfortu cieplnego. Doszli do wniosku, że najistotniejszym czynnikiem wpływającym na komfort cieplny jest temperatura powietrza. Hwang i Chen [57] skupili się na identyfikacji czynników projektowych, które wpływają na obciążenia chłodnicze i komfort termiczny w biurach w klimacie gorącym i wilgotnym. Autorzy analizowali wpływ różnych parametrów, takich jak kształt i orientacja fasady, stosunek powierzchni przeszkleń do powierzchni elewacji, zacienienie, izolacja termiczna oraz charakterystyki materiałów budowlanych na obciążenia chłodnicze i komfort termiczny w biurach. W badaniach wykorzystano symulacje numeryczne oraz modele matematyczne, aby zidentyfikować czynniki, które mają największy wpływ na obciążenia chłodnicze i komfort termiczny w biurach w klimacie gorąco-wilgotnym. Yang i inni [58] przeprowadzili badania w biurze przy temperaturze 18°C, w którym pracownicy mieli do dyspozycji różne rodzaje indywidualnych systemów komfortu termicznego, takich jak podgrzewane koce, podgrzewane dywany, podgrzewane poduszki oraz osobiste wentylatory. W trakcie badań, przeprowadzono pomiary temperatury powietrza, wilgotności względnej oraz prędkości powietrza w biurze. Dodatkowo, przeprowadzono badania ankietowe wśród pracowników, w celu zbadania ich poziomu komfortu termicznego i preferencji co do rodzaju i ilości indywidualnych systemów komfortu termicznego. Wyniki badań pokazały, że indywidualne systemy komfortu termicznego mogą poprawić poziom komfortu pracowników w biurze o niskiej temperaturze. W szczególności, podgrzewane koce okazały się najbardziej skutecznym sposobem na poprawę

komfortu termicznego pracowników. Co więcej, wyniki badań wykazały, że zastosowanie indywidualnych systemów komfortu termicznego może prowadzić do zmniejszenia zużycia energii w biurze. Szczególnie istotne jest, że podgrzewane koce, podgrzewane dywany oraz osobiste wentylatory mogą przyczynić się do redukcji zużycia energii w biurze poprzez zwiększenie komfortu termicznego pracowników i umożliwienie obniżenia temperatury w pomieszczeniu.

W budynkach mieszkalnych badania komfortu cieplnego prowadzili badacze [59]. Ich wyniki wykazały, że PMV (ang. Predicted Mean Vote) latem był poniżej zera i na odwrót zimą. Wskaźnik PMV wyrażony jest w siedmiopunktowej skali, gdzie „-3” oznacza „zimno”, a „+3” gorąco. Zakres komfortu przyjęto od -0,5 do +0,5. Autorzy wykazali, że badani usatysfakcjonowani byli z temperatury powietrza równej 21,5°C w mieszkaniach ogrzewanych w czasie zimy. Natomiast w pomieszczeniach klimatyzowanych latem zadowalająca temperatura powietrza dla ankietowanych była równa 23°C. Li wraz z innymi badaczami [60] wykonali badania nad komfortem termicznym użytkowników budynków z wykorzystaniem kaskadowych systemów wentylacji interaktywnej. W badaniach zastosowano metody modelowania numerycznego i symulacje komputerowe w celu analizy wpływu różnych czynników na komfort termiczny użytkowników. W ramach badań skupiono się na kaskadowych systemach wentylacji interaktywnej, które pozwalają na bardziej efektywne wykorzystanie energii i zasobów naturalnych. W badaniach wykorzystano model wielocząłonowy ciała człowieka, który pozwolił na dokładne zbadanie termicznego komfortu użytkowników w różnych warunkach. Badania objęły analizę wpływu temperatury powietrza, wilgotności powietrza, prędkości przepływu powietrza i innych czynników. Wyniki badań przedstawiają, że kaskadowe systemy wentylacji interaktywnej mogą pomóc w zapewnieniu lepszego komfortu termicznego użytkowników budynków. Szczególnie ważne jest właściwe dostosowanie prędkości przepływu powietrza, aby zapewnić odpowiedni poziom wentylacji i uniknąć nieprzyjemnych przeciągów. Badania dowiodły, że odpowiednie ustawienie prędkości przepływu powietrza może przyczynić się do zwiększenia termicznego komfortu użytkowników o 20-30%.

Artykuł [61] dotyczy badania komfortu cieplnego w tradycyjnych domach ludowych w regionie Alentejo w Portugalii, przy użyciu metody adaptacyjnego podejścia do komfortu. Autorzy wykorzystali zarówno metody jakościowe, jak i ilościowe, aby zbadać preferencje i doświadczenia mieszkańców w zakresie temperatury, wilgotności i przepływu powietrza w tych domach. Badacze zaobserwowali, że mieszkańcy tych domów mają różne preferencje

co do temperatury i wilgotności w zależności od pory roku i zewnętrznych warunków pogodowych. Wnioski z tego badania mogą pomóc w projektowaniu i modernizacji tradycyjnych domów ludowych, aby zapewnić mieszkańcom optymalny komfort cieplny. Lourenço Niza i Broday w swojej pracy [62] opisali wyniki analizy danych dotyczących komfortu cieplnego w Brazylii, przeprowadzonej na podstawie drugiej wersji bazy danych ASHRAE Global Thermal Comfort Database. Badanie skupiło się na określeniu warunków termicznych, które są preferowane przez mieszkańców Brazylii, biorąc pod uwagę różne zmienne, takie jak temperatura, wilgotność, prędkość powietrza, ubranie, aktywność fizyczna itp. Do analizy wykorzystano metodę dyskryminacyjną, która pozwala na identyfikację zmiennych, które są najbardziej istotne dla oceny komfortu cieplnego w różnych warunkach. Wyniki analizy dostarczają informacji o preferowanych zakresach temperatur i wilgotności, a także o czynnikach wpływających na odczucie komfortu cieplnego w Brazylii. W 2023 roku Lei wraz z innymi badaczami [63] opisali wytyczne i listę kontrolną do projektowania eksperymentów badających komfort termiczny w pomieszczeniach, w których biorą udział ludzie. Autorzy artykułu zwracają uwagę, że badania dotyczące komfortu termicznego wewnątrz pomieszczeń są skomplikowane i wymagają odpowiedniego projektowania eksperymentów. W artykule przedstawiono zasady projektowania eksperymentów, które umożliwiają uzyskanie wiarygodnych wyników, a jednocześnie zapewniają bezpieczeństwo i dobre samopoczucie uczestników. Lista kontrolna składała się z czterech kategorii: projekt badania, procedury badawcze, pomiary i analiza danych. W każdej kategorii przedstawiono szereg pytań, które badacze powinni sobie zadać, aby zapewnić wiarygodność i rzetelność wyników badania. Należy również zapewnić odpowiednie warunki pomieszczenia, takie jak oświetlenie, wentylacja i poziom hałasu. Bardzo interesującym badaniem okazała się praca badawcza przeprowadzona w domach jednorodzinnych w stolicy Arabii Saudyjskiej, Rijadzie przez autorów [64], którzy ukazują wyniki badania komfortu termicznego w warunkach klimatu pustynnego. W badaniu wykorzystano narzędzie do symulacji numerycznej komputerowej, aby porównać wpływ różnych parametrów na komfort termiczny budynków jednorodzinnych w warunkach klimatu pustynnego. W ramach badań dokonano analizy komfortu termicznego w odniesieniu do czynników takich jak: temperatura powietrza, wilgotność powietrza, prędkość wiatru, nasłonecznienie, kolor dachu i ścian, a także materiały budowlane. Wyniki badania wykazały, że różne parametry mają znaczący wpływ na komfort termiczny w warunkach klimatu pustynnego. W szczególności, kolor dachu i ścian, materiały budowlane, a także prędkość wiatru wpływają na komfort termiczny na zewnątrz budynków. Na przykład, zastosowanie jasnych kolorów na dachu i ścianach może pomóc w zmniejszeniu absorpcji

ciepła przez budynek, co może przyczynić się do poprawy komfortu termicznego. Dodatkowo, materiały budowlane, np. izolacja termiczna, mogą przyczynić się do utrzymania odpowiedniego komfortu termicznego budynków w pustynnym klimacie.

Komfort cieplny ma duże znaczenie przy projektowaniu systemów grzewczych i klimatyzacyjnych. Główny cel stawiany urządzeniom klimatyzacyjnym, jest utrzymanie parametrów powietrza w ustalonych granicach. Jednocześnie należy zaznaczyć, że na komfort cieplny wpływa wiele parametrów, co również podlegało badaniom i analizom. Ricardo i inni [65] w swoich badaniach zbadali jaki wpływ na odczucia termiczne ma waga, rodzaj wentylacji i płeć. Zauważyli, że mężczyźni, osoby z nadwagą oraz osoby przebywające częściej w pomieszczeniach z klimatyzacją odczuwają dyskomfort termiczny w porównaniu do osób z niższym wskaźnikiem BMI (body mass index), kobietami, a także z osobami, którzy rzadziej korzystają z klimatyzacji. Artykuł [66] opisuje badanie wpływu płci na percepcję komfortu cieplnego w pomieszczeniach w sezonie letnim i zimowym oraz porównuje metody przewidywania temperatury komfortu. Badanie zostało przeprowadzone w Pakistanie i obejmowało 971 uczestników (526 kobiet i 445 mężczyzn) różnych grup wiekowych. Celem badania było zrozumienie czy płeć ma różne wymagania dotyczące temperatury komfortu w różnych sezonach i jakie metody przewidywania temperatury są najlepsze w ocenie komfortu cieplnego. Wyniki badania wykazały, że kobiety miały wyższe wymagania dotyczące temperatury komfortu niż mężczyźni, zarówno w sezonie letnim, jak i zimowym. Według badań autorów [67] kobiety preferują wyższe temperatury powietrza, zarówno w budynkach klimatyzowanych jak i w budynkach z trybem mieszanym - naturalnie wentylowanym lub klimatyzowanym. Buonocore i inni [68] wskazują, że wilgotność względna ma negatywny wpływ na postrzeganie termiczne przy temperaturze powyżej 30°C. Cao wraz z innymi autorami [69] przeprowadzili badania porównawcze w trzech strefach klimatycznych w Chinach, wnioskując, że ludzie mieszkający w najcieplejszym środowisku lepiej przystosowywali się do zimnego środowiska. Kolejna praca [70] przedstawia w jaki sposób można zminimalizować zużycie energii zachowując przy tym komfort użytkowników. Djamila [71] przeanalizował wpływ poszczególnych elementów mikroklimatu na komfort cieplny. Luo i in. [72] omówili w swoich badaniach tempo metabolizmu człowieka i komfort cieplny. Przeprowadzili przegląd literaturowy, aby pokazać, że tempo metabolizmu jest najbardziej istotne dla odczuć cieplnych człowieka. W pracy [73] określono, że na wrażenia termiczne znaczący wpływ ma wzrost tempa metabolizmu. Z kolei inni autorzy [28] omówili materiały systemów termoregulacyjnych pod kątem wymiany ciepła wewnątrz i na zewnątrz budynku.

Ważne jest, aby zapewnić komfort termiczny użytkownikom a jednocześnie oszczędzać energię. Akimoto i in. [74] wykonali badania, porównując komfort cieplny z produktywnością. Zbadali takie parametry jak: temperaturę powietrza, temperaturę promieniowania, prędkość przepływu powietrza oraz wilgotność względną. Badanie na temat odczuwania zmęczenia wykazało, że najczęściej występującą dolegliwością u uczestników senność, która głównie zależy od rodzaju pracy. Według badania [75] wilgotność względna ma silniejszy i bezpośredni wpływ na produktywność i komfort cieplny, niż dwutlenek węgla. Wilgotność względna ma pozytywny wpływ do 55% na produktywność i komfort cieplny użytkowników. Homoda i in. [76] wnioskuje, że największy wpływ na odczucia komfortu cieplnego ma temperatura powietrza i wilgotność.

W pracy [77] naukowcy zbadali wpływ różnych rodzajów aktywności fizycznej na komfort termiczny na zewnątrz przy niskich temperaturach powietrza. Opisali, jakie czynniki mają wpływ na odczuwalną temperaturę i komfort termiczny w warunkach zimowych, takie jak wiatr, temperatura powietrza, nasłonecznienie i wilgotność. Następnie autorzy przedstawili wyniki badań nad wpływem różnych rodzajów aktywności fizycznej na odczuwalną temperaturę i komfort termiczny, w tym joggingu, marszu i ćwiczeń na siłowni na świeżym powietrzu. Wyniki badań sugerują, że różne rodzaje aktywności fizycznej mogą mieć różny wpływ na odczuwanie temperatury i komfortu termicznego na zewnątrz w zimnym mieście. Na przykład, jogging może zwiększać odczuwalną temperaturę ciała dzięki wytworzeniu ciepła metabolicznego, podczas gdy ćwiczenia na siłowni na świeżym powietrzu mogą prowadzić do chłodzenia ciała w wyniku wiatru. Praca ta może być interesująca dla osób zainteresowanych wpływem aktywności fizycznej na komfort termiczny na zewnątrz w zimnych warunkach oraz dla projektantów miejskich i urbanistów, którzy zajmują się planowaniem przestrzeni publicznych.

Komfort termiczny bada się również poza budynkami, na przykład w parkach, obszarach miejskich, [78], gdzie analizuje się wpływ zróżnicowanego krajobrazu na rozkład temperatury powietrza i komfort termiczny ludzi na zewnątrz. Autorzy wykorzystali indeks termicznego komfortu na zewnątrz, który określa poziom komfortu termicznego na podstawie temperatury powietrza, wilgotności i prędkości wiatru. Obszary z większą różnorodnością krajobrazu (takie jak obszary zielone, parki i wody) miały niższe temperatury powietrza i wyższy poziom termicznego komfortu. Z drugiej strony, obszary o dużej gęstości zabudowy i braku zieleni miejskiej charakteryzowały się wyższymi temperaturami powietrza i niższym poziomem termicznego komfortu. Podobne badania przeprowadzili autorzy [79–81], którzy

opisali metodologię oceny komfortu termicznego na zewnątrz dla miast turystycznych, w regionach o zimnym i ciepłym klimacie. Inne badania [82] opierają się na temat wpływu morfologii miejskiej na komfort termiczny na poziomie mikroskopowym. Badanie zostało przeprowadzone w Xiamen, który jest miastem przybrzeżnym w południowo-wschodniej Chinach. Autorzy badania wykorzystali model numeryczny do symulacji przepływu powietrza i transferu ciepła w różnych warunkach urbanistycznych. Badali wpływ czterech czynników urbanistycznych: proporcji wysokości do szerokości (H/W), gęstości zabudowy, rozkładu wysokości budynków i ich orientacji względem kierunków wiatru. Wyniki badania wykazały, że czynniki urbanistyczne mają istotny wpływ na komfort termiczny na poziomie mikroskopowym. W szczególności, im większa gęstość zabudowy, tym niższa temperatura odczuwalna, a im większa proporcja H/W, tym wyższa temperatura odczuwalna. Ponadto, orientacja budynków względem kierunków wiatru również ma wpływ na komfort termiczny. Budynek ustawiony równolegle do kierunku wiatru zapewnia lepszy komfort termiczny niż budynek ustawiony prostopadle do kierunku wiatru. W badaniu [82] zbadano również wpływ rozkładu wysokości budynków na termiczny komfort. Okazało się, że ustawienie wyższych budynków wzdłuż ulic może zmniejszać prędkość wiatru i zwiększać temperaturę odczuwalną, co prowadzi do niższego komfortu termicznego. Podobne badania przeprowadzili autorzy [61], gdzie przedstawili metaanalizę dotyczącą wyzwań związanych z określaniem komfortu termicznego w tradycyjnych domach mieszkalnych. Tradycyjne domy mieszkalne, nazywane także domami wernakularnymi, charakteryzują się wykorzystaniem lokalnych materiałów budowlanych i technik konstrukcyjnych. Ze względu na to, że są one zazwyczaj zaprojektowane z myślą o określonych warunkach klimatycznych, mogą zapewniać naturalny komfort termiczny bez potrzeby stosowania klimatyzacji czy ogrzewania. W artykule przedstawiono wyniki analizy literatury naukowej związanej z komfortem termicznym w tradycyjnych domach mieszkalnych. Autorzy zwrócili uwagę na wyzwania związane z określaniem komfortu termicznego w tego typu budynkach, takie jak brak jednoznacznych definicji komfortu termicznego, brak standardów oceny, różnorodności typów tradycyjnych domów mieszkalnych oraz wpływu czynników kulturowych i społecznych na percepcję komfortu termicznego. Analiza literatury wykazała, że komfort termiczny w tradycyjnych domach mieszkalnych zależy od wielu czynników, takich jak: klimat, materiały budowlane, sposób wentylacji, orientacja budynku względem słońca, a także czynniki kulturowe i społeczne. Ponadto, brak standardowych narzędzi do oceny komfortu termicznego w tradycyjnych domach mieszkalnych powoduje, że trudno jest dokładnie określić, czy dany budynek zapewnia odpowiedni komfort termiczny. Wprowadzenie standardowych narzędzi do



oceny komfortu termicznego w tradycyjnych domach mieszkalnych może pomóc w zapewnieniu odpowiedniego komfortu termicznego mieszkańcom, a także przyczynić się do ochrony dziedzictwa architektonicznego i kulturowego. Taleghani i in. [83] zbadali wpływ zazielenienia na ocenę komfortu cieplnego. Wielka Brytania nie jest kojarzona z ciepłym klimatem, ale zmieniający się wciąż ocieplający się klimat wywołał falę upałów w Manchesterze, co badali autorzy [83], w którym testowali poczucie komfortu cieplnego w pomieszczeniach na terenie kampusu Uniwersytetu Salford w okresie od maja do października. Badacze skupili się na analizie efektów zazielenienia na mikroklimat oraz ocenę wpływu tych zmian na komfort termiczny wewnątrz budynków. Ustalili, że komfort cieplny w pomieszczeniach poprawił się o 20,8% w najgorętsze dni w roku po zasadzeniu około 17% więcej drzew. Pomiary w pomieszczeniach wykonali także badacze [84], którzy wskazali przyrost popularności ekologicznych budynków i znaczenie aspektów związanych z komfortem termicznym użytkowników. W artykule przedstawiono wyniki badania, którego celem było zbadanie, w jaki sposób systemy zielonych budynków wpływają na projektowanie środowisk termicznie komfortowych. Badania przeprowadzono na przykładzie dwóch systemów: LEED i BREEAM (są to certyfikaty świadczące o najwyższej jakości budynków). Autorzy artykułu zbadali, jakie wymagania dotyczące termicznej wydajności budynku są określone w tych systemach ratingowych, a następnie porównali je ze standardami w zakresie termicznej wydajności, które są uznawane za właściwe przez specjalistów z dziedziny komfortu termicznego. Wyniki badań sugerują, że oba systemy mają określone standardy dotyczące efektywności termicznej, jednak różnią się w szczegółach, a wymagania mogą się różnić w zależności od kraju, w którym są stosowane. Ponadto, w przypadku niektórych kategorii budynków, systemy nie uwzględniają wystarczająco potrzeb komfortu termicznego użytkowników.

Z kolei inni badacze [85] skupili się na porównaniu komfortu termicznego między wioskami miejskimi a osiedlami formalnymi w rozwijających się miastach Chin, na przykładzie miasta Shenzhen. Autorzy artykułu zauważyli, że w miastach rozwijających się, takich jak Shenzhen, nadal istnieje wiele wiosek miejskich, które powstały przed rozwojem miasta. Wioski te często charakteryzują się gęstą zabudową i brakiem dostępu do usług publicznych, takich jak transport, edukacja czy służba zdrowia. Z drugiej strony, w miastach takich jak Shenzhen powstają nowe osiedla formalne, które są planowane z myślą o zapewnieniu mieszkańcom dostępu do różnych usług oraz komfortowych warunków życia. Celem artykułu było porównanie czy mieszkańcy wiosek miejskich i osiedli formalnych

doświadczają różnic w komforcie termicznym w różnych okresach roku. W tym celu autorzy przeprowadzili badanie terenowe, podczas którego zbierali dane dotyczące temperatury powietrza, wilgotności, prędkości wiatru i odczuwalnej temperatury w trzech różnych miejscach w Shenzhen: w osiedlu formalnym, w wiosce miejskiej oraz na terenie otwartym. Dane te zostały następnie przeanalizowane przy użyciu różnych metod statystycznych, w celu określenia, czy występują istotne różnice w komforcie termicznym między badanymi miejscami. Wyniki badania wykazały, że w wioskach miejskich odczuwalna temperatura była wyższa niż w osiedlach formalnych, zwłaszcza latem. Mieszkańcy wiosek miejskich byli bardziej narażeni na doświadczanie upałów, ze względu na brak przestrzeni zielonych oraz zaniedbaną infrastrukturą. W osiedlach formalnych natomiast odczuwalna temperatura była niższa, ponieważ wiązało się to z większą dostępnością przestrzeni zielonych, które zacieniały otoczenie dając uczucie chłodu. Wskazują też, że konieczne jest rozwijanie infrastruktury i przestrzeni zielonych w wioskach miejskich, aby poprawić komfort termiczny mieszkańców. W przypadku osiedli formalnych natomiast należy zadbać o to, aby rozwój był zrównoważony i uwzględniał potrzeby mieszkańców oraz otoczenia. Zhu wraz z innymi autorami [86] opisali badania mające na celu zbadanie zależności między odczuciem termicznym a reakcjami fizjologicznymi ludzi w różnych mikroklimatach miejskiego parku. Badania przeprowadzono na grupie ochotników, którzy mieli za zadanie spacerować przez park w różnych warunkach mikroklimatycznych, podczas gdy ich reakcje fizjologiczne (takie jak temperatura ciała, wilgotność skóry i przewodnictwo skóry) oraz subiektywne odczucie ciepła były mierzone. W wyniku badań zidentyfikowano zależności między czynnikami środowiskowymi, takimi jak temperatura powietrza, wilgotność i prędkość wiatru, a reakcjami fizjologicznymi i subiektywnym odczuciem ciepła ochotników. Badania wykazały, że istnieją zróżnicowane preferencje termiczne i odpowiedzi fizjologiczne na zmiany warunków mikroklimatycznych w parku. Stwierdzono, że temperatura powietrza, wilgotność powietrza i prędkość wiatru miały wpływ na odczucie termiczne i odpowiedzi fizjologiczne badanych osób. Zidentyfikowano również różnice między poszczególnymi grupami wiekowymi i płcią w preferencjach termicznych i fizjologicznych.

Liu i inni [87] przedstawili badania porównawcze dotyczące komfortu termicznego wewnątrz i na zewnątrz budynków, przeprowadzone w różnych regionach Chin. Autorzy wykorzystali wiele baz danych i narzędzi pomiarowych, aby zbadać wpływ różnych czynników na komfort termiczny, takich jak temperatura powietrza, wilgotność, prędkość wiatru, nasłonecznienie i intensywność promieniowania. Badania przeprowadzono w trzech sezonach:

wiosennym, jesiennym i letnim, aby uwzględnić zmieniające się warunki klimatyczne. Wyniki badania wskazują, że wewnątrz budynków zazwyczaj panują lepsze warunki termiczne niż na zewnątrz, a różnice między nimi są szczególnie wyraźne w letnich miesiącach. Autorzy zwracają uwagę na to, że komfort termiczny jest złożonym zagadnieniem, zależnym od wielu czynników, takich jak aktywności człowieka, indywidualne preferencje i stan zdrowia. Dlatego ważne jest, aby projektanci budynków i urbanistyka uwzględniali wspólnie różne aspekty komfortu termicznego, takie jak wentylacja, izolacja, systemy klimatyzacji, ekspozycja na słońce i otoczenie. Badacze podkreślają również, że badania te mają zastosowanie praktyczne w kontekście zmian klimatycznych i wzrostu liczby ludności w miastach. W warunkach coraz częstszych ekstremalnych temperatur i suszy, zapewnienie komfortu termicznego staje się coraz bardziej pilne, a projektowanie budynków i planowanie przestrzenne musi uwzględniać te kwestie. Podsumowując, artykuł ten stanowi wartościowe źródło wiedzy na temat komfortu termicznego wewnątrz i na zewnątrz budynków, a jego wyniki mogą znaleźć zastosowanie w praktyce projektowania i planowania miast.

Komfort cieplny, oprócz budynków, bada się również w środkach transportu, co opisano w pracach własnych [9,22,88]. Coraz częściej badacze prowadzą badania w pojazdach. Artykuł [89] to przegląd teorii dotyczących komfortu termicznego, które mają zastosowanie w projektowaniu pojazdów elektrycznych, które coraz częściej pojawiają się na rynku. Artykuł prezentuje aktualny stan wiedzy na temat koncepcji związanych z termicznym komfortem w pojeździe, ze szczególnym uwzględnieniem aspektów związanych z efektywnością energetyczną, a także wpływem na komfort kierowcy i pasażerów. Omówiono kilka popularnych modeli komfortu termicznego, takich jak PMV/PPD, Adaptive Model of Thermal Comfort i Fanger's Model of Thermal Comfort. Przedstawiono również wyniki badań dotyczących wpływu temperatury otoczenia, wilgotności, prędkości powietrza i innych czynników na komfort cieplny wewnątrz pojazdu elektrycznego. W kolejnych częściach artykułu omówiono specyficzne kwestie związane z projektowaniem systemów klimatyzacji dla pojazdów elektrycznych. Zwrócono uwagę na ważne czynniki, takie jak wydajność energetyczna, koszty produkcji, wydajność, ergonomia i wygląd systemów klimatyzacji. Autorzy artykułu zwrócili również uwagę na kwestie związane z ekologicznym wpływem systemów klimatyzacji na środowisko naturalne. W podsumowaniu artykułu autorzy przedstawili perspektywy na przyszłość badań dotyczących termicznego komfortu w pojazdach elektrycznych. Zwrócono uwagę na potrzebę bardziej zaawansowanych badań empirycznych, które pozwolą na udoskonalenie istniejących modeli termicznego komfortu i zapewnienie

jeszcze lepszych warunków dla kierowców i pasażerów pojazdów elektrycznych. Z kolei w artykule [90] opisano badania przeprowadzone na temat komfortu termicznego wewnątrz samochodów użytkowych oraz ekonomii stosowania systemów klimatyzacyjnych z termoelektrycznymi chłodziarkami. Autorzy skupiają się na problemach termicznych w samochodach użytkowych, które często są wykorzystywane przez długie godziny i w różnych warunkach atmosferycznych. Według autorów, poprawa komfortu termicznego w takich pojazdach jest kluczowa dla poprawy warunków pracy kierowców i efektywności wykorzystania samochodów. Autorzy przeprowadzili badania nad komfortem termicznym wewnątrz różnych modeli samochodów użytkowych, w zależności od warunków zewnętrznych, takich jak temperatura i wilgotność powietrza, natężenie światła słonecznego, prędkość wiatru, a także od obciążenia pojazdu i sposobu użytkowania. W ramach badań autorzy opracowali system klimatyzacji z termoelektrycznymi chłodziarkami, który miał na celu zapewnienie lokalnego chłodzenia w obszarach krytycznych, takich jak obszar kierowcy i pasażerów. Przeprowadzono również analizę ekonomiczną zastosowania takiego systemu, która pokazała, że zastosowanie chłodziarek termoelektrycznych może być bardziej ekonomiczne niż tradycyjne systemy klimatyzacyjne. Wnioski z badań przedstawione w artykule mogą być pomocne w projektowaniu i produkcji samochodów użytkowych z lepszymi warunkami termicznymi dla kierowców i pasażerów oraz bardziej efektywnymi systemami klimatyzacyjnymi. Feng i inni [91] wykonali badania oceniające komfort termiczny w różnych środowiskach pojazdów. Autorzy skupili się na wpływie lokalnych odczuć termicznych ludzkiego ciała na poziomie mikroklimatu w różnych częściach ciała, takich jak głowa, szyja, klatka piersiowa, brzuch, plecy, kończyny górne i dolne, stopy i ręce. Badania zostały przeprowadzone z wykorzystaniem modelu ludzkiego ciała w warunkach laboratoryjnych, a także w trzech różnych pojazdach: samochodzie, autobusie i pociągu. W trakcie badań mierzono różne parametry środowiska. W szczególności skupiono się na temperaturze powietrza, prędkości przepływu powietrza oraz wilgotności względnej. Wyniki badań pokazały, że różne części ciała mają różne preferencje termiczne i reagują w inny sposób na zmiany warunków termicznych. Na przykład, stopy i dłonie są bardziej wrażliwe na chłód, podczas gdy klatka piersiowa i plecy są bardziej wrażliwe na ciepło. Ponadto stwierdzono, że pojazdy mają różne poziomy termicznego komfortu i że zależą one od czynników, takich jak szybkość przepływu powietrza i temperatura powierzchni. Autorzy podsumowują, że ich badania są ważne, bo uwzględniają lokalne odczucia termiczne ludzkiego ciała w projektowaniu środowisk pojazdów, aby zapewnić optymalny poziom termicznego komfortu dla pasażerów.

Z kolei badania w autobusach elektrycznych wykonali autorzy [92], skupiający się na opracowaniu metod poprawy warunków klimatycznych dla komfortu termicznego i efektywności energetycznej. Badania wykonano na dwóch różnych typach autobusów elektrycznych, w celu zbadania wpływu różnych ustawień klimatyzacji na poziom komfortu termicznego i zużycie energii. W trakcie badań, przeprowadzono pomiary temperatury, wilgotności powietrza, prędkości powietrza, natężenia światła i poziomu hałasu wewnątrz autobusu. Dodatkowo dokonano badania ankietowe wśród pasażerów, w celu zbadania ich preferencji co do warunków klimatycznych w autobusie. Wyniki badań pokazały, że dobór odpowiedniej konfiguracji systemu klimatyzacji w autobusie elektrycznym może znacznie wpłynąć na poziom komfortu termicznego pasażerów i efektywność energetyczną autobusu. Badania naświetlają też, że konfiguracja systemu klimatyzacji, która zapewnia optymalne warunki klimatyczne dla pasażerów, może prowadzić do zmniejszenia zużycia energii w autobusie. Zostały także objaśnione preferencje pasażerów co do warunków klimatycznych w autobusie różniące się w zależności od pory roku i warunków atmosferycznych na zewnątrz. W związku z tym, optymalne ustawienia klimatyzacji w autobusie powinny uwzględniać różne warunki zewnętrzne i preferencje pasażerów.

Oprócz badań w warunkach rzeczywistych, prace eksperymentalne dotyczące komfortu cieplnego realizowane są także przy użyciu komory klimatycznej, której zaletą jest możliwość precyzyjnej kontroli parametrów mikroklimatu. Arslanoglu i Yigit [93,94], którzy wykorzystali komorę klimatyczną w sezonie letnim oraz jesiennym, aby obserwować zmiany odczuć cieplnych człowieka. Badacze kontrolowali temperaturę powietrza, wilgotność względną oraz prędkość powietrza. Omawiane parametry utrzymywali na stałym poziomie: 24°C, 50% i 0,2 m/s (lato). Natomiast jesienią nie używali klimatyzacji a temperatura powietrza wyniosła 20°C. Badaniom poddano 25 zdrowych studentów, których poproszono o noszenie tego samego zestawu odzieży (bielizna, koszulka, długie spodnie i skarpety). Metodę Taguchi zastosowali do optymalizacji trzech parametrów: do oceny wpływu koloru koszulki na komfort termiczny, typ lampy halogenowej i rodzaj postawy. Do oszacowania procentowego udziału poszczególnych czynników zastosowano metodę ANOVA. Wyniki wskazują, że w sezonie letnim najważniejszym czynnikiem wpływającym na wzrost temperatury na plecach jest rodzaj lampy halogenowej, który odpowiada za 89% efektu. Kolejnym istotnym czynnikiem jest kolor koszulki, który przyczynia się do wzrostu temperatury zaledwie o 4,7%. Natomiast pozycja postawy ma znikomy wpływ, odpowiadając jedynie za 0,55% efektu. Dla sezonu jesiennego kolor koszulki ma najbardziej dominujący wpływ na wzrost temperatury na plecach (65,2%),

a następnie na czynniki halogenowe (16,8%) i pozycję postawy (4,7%). Wzrost temperatury na skutek strumienia ciepła promieniowania lampy oświetleniowych w lato osiągnął do 1,66°C, a w jesień do 2,28°C. Pokazano, że temperatura ciała człowieka wzrosła bardziej w sezonie jesiennym niż w letnim, gdyż komora nie była klimatyzowana jesienią. Badacze doszli do wniosków, że badani odczuwali dyskomfort termiczny, ponieważ strumień ciepła powodował różnice temperatur skóry. Udowodnili, że głowa jest najbardziej dotknięta promieniowaniem. W artykule [95] zostało przeprowadzone badanie na temat komfortu cieplnego w komorze klimatycznej. W badaniu wzięło udział 15 kobiet i 15 mężczyzn. Wywnioskowano, że na odczucia termiczne znaczący wpływ mają temperatura powietrza i zdolność adaptacji termicznej ciała. Ponadto zaobserwowano znaczną zależność między temperaturą skóry a odczuciami termicznymi. Badania w komorze klimatycznej w Polsce przeprowadziła Dębska i Krawczyk [96], które dotyczyły porównania wrażeń cieplnych mikroklimatu (TSV) w komorze i sali wykładowej przy tych samych parametrach. Autorzy wykazali, że 75% respondentów znajdujących się w sali wykładowej akceptowało warunki termiczne, dla jednej osoby (tylko 25% z nich) oceniło ją jako komfortową, natomiast 75% respondentów z komory oceniło ją jako komfortową i co ciekawsze dla 25% była one nieprzyjemne. Co istotniejsze przy ocenie TSV i PMV, to TSV według badanych osób w komorze klimatycznej wynosiło -0,5, czyli uznano je za komfortowe, ale już PMV wynosiło powyżej -1,5. Natomiast dla sali wykładowej oba wskaźnik przekroczyły wymagany zakres komfortu.

Artykuł [97] opisuje badanie dotyczące wykorzystania urządzeń noszonych na ciele do pomiaru komfortu termicznego w warunkach cieplnych z wentylacją za pomocą wentylatora. Badanie zostało przeprowadzone w tropikach, gdzie panują wysokie temperatury i wilgotność powietrza, a wentylacja jest jednym z najważniejszych sposobów na poprawę stanu komfortu termicznego. W badaniach wykorzystano urządzenia noszone na nadgarstku, które mierzą temperaturę skóry i poziom wilgotności, a także przepływ powietrza w pobliżu ciała. Dane te zostały następnie wykorzystane do oceny komfortu termicznego i określenia czy warunki były odpowiednie dla ludzkiego organizmu. Wyniki badań wskazują na skuteczność wykorzystania urządzeń noszonych na ciele do pomiaru komfortu termicznego, zwłaszcza w warunkach cieplnych z wentylacją za pomocą wentylatora. Autorzy artykułu podkreślają, że wykorzystanie takich urządzeń może pomóc w projektowaniu systemów klimatyzacyjnych i wentylacyjnych, które zapewnią komfort termiczny użytkowników. Natomiast artykuł [98] skupia się na prognozowaniu komfortu termicznego użytkowników w przestrzeniach zamkniętych z zastosowaniem różnych aranżacji wentylacji podłogowej z zastosowaniem

niskiej prędkości powietrza (UFAD - Underfloor Air Distribution). W badaniach wykorzystano modelowanie numeryczne i symulacje komputerowe, aby przewidzieć poziom komfortu cieplnego w różnych aranżacjach wentylacji podłogowej. W szczególności badano wpływ prędkości, temperatury i wilgotności powietrza na komfort termiczny użytkowników. Wykazano, że różne aranżacje wentylacji podłogowej mogą wpłynąć na poziom komfortu termicznego w przestrzeniach zamkniętych, w tym w salach konferencyjnych i audytoryjnych. Badania wykazały, że zastosowanie UFAD z różnymi aranżacjami dystrybucji powietrza może wpłynąć na prędkość powietrza i temperaturę powietrza w różnych obszarach pomieszczenia. Odpowiednio zaprojektowane i dostosowane do potrzeb użytkowników systemy wentylacji podłogowej z zastosowaniem niskiej prędkości powietrza (UFAD) mogą pomóc w poprawie komfortu termicznego użytkowników. Ustawienie prędkości powietrza i temperatury powietrza na odpowiednim poziomie może przyczynić się do zapewnienia równomiernego rozkładu temperatury i prędkości powietrza w całym pomieszczeniu.

Warto też wspomnieć o pracy Hesaraki i in. [99], którzy omówili systemy promiennikowe LTH/HTC. Badanie to wykazało, że dzięki tym systemom można zaoszczędzić prawie 30% energii, a jednocześnie zapewnić korzystniejsze warunki komfortu cieplnego. Dodatkowo ujawnili, że połączenie dwóch systemów (promiennikowy i powietrzny) również polepszy komfort termiczny. Mohammed i inni [100] opisują innowacyjny hybrydowy system, który składa się z fotowoltaicznego komina słonecznego i wymiennika ciepła powietrze-ziemia, służącego do utrzymania komfortu termicznego w budynkach. Autorzy artykułu opisują, jak zastosowanie takiego systemu może pomóc w zmniejszeniu zużycia energii potrzebnej do klimatyzacji i wentylacji budynków oraz w ograniczeniu emisji gazów cieplarnianych. Opisują także zasadę działania fotowoltaicznego komina słonecznego oraz wymiennika ciepła powietrze-ziemia i przedstawiają wyniki badań nad wydajnością i skutecznością tego systemu. Artykuł jest skierowany do osób zainteresowanych nowoczesnymi rozwiązaniami w dziedzinie efektywności energetycznej budynków oraz ochrony środowiska. Kolejna praca [101] jest przeglądem literatury dotyczący komfortu termicznego w budynkach tymczasowych. W artykule przedstawiono wyniki analizy literatury naukowej związanej z komfortem termicznym w budynkach tymczasowych, takich jak namioty, kontenery i budynki tymczasowe stosowane na placach budowy lub w czasie organizacji imprez masowych. Autorzy zwrócili uwagę na wyzwania związane z zapewnieniem komfortu termicznego w tego typu budynkach, takich jak brak izolacji termicznej, niskie walory estetyczne oraz brak standardowych narzędzi do oceny komfortu termicznego. Analiza literatury wykazała, że komfort w budynkach

tymczasowych zależy od wielu czynników, głównie od temperatury, wilgotności i prędkości powietrza, a także od izolacji termicznej, systemu wentylacji oraz ilości i rodzaju źródeł ciepła. Ponadto, czynniki zewnętrzne, takie jak warunki atmosferyczne, wpływają na komfort termiczny w budynkach tymczasowych. Autorzy [101] podkreślają, że zapewnienie stanu równowagi cieplnej w budynkach tymczasowych jest ważne dla zapewnienia zdrowia i bezpieczeństwa użytkowników. W przypadku namiotów, kontenerów i innych budynków tymczasowych, w których przebywają ludzie (pracownicy budowlani, ochotnicy czy uczestnicy imprez masowych) ważne jest zapewnienie odpowiedniego komfortu termicznego, aby uniknąć niebezpiecznych sytuacji związanych z zbyt wysoką lub zbyt niską temperaturą mogącą negatywnie wpłynąć na ich samopoczucie. Han i inni [102] przeprowadzili pomiary warunków termicznych oraz ankietę dotyczącą odczuć termicznych wśród osób przebywających w namiotach na zachodnim płaskowyżu Syczuanu w Chinach. Pomiary warunków termicznych przeprowadzono przy użyciu termometrów, termohigrometrów i anemometrów. Dokonano pomiarów temperatury powietrza, wilgotności względnej powietrza, prędkości wiatru i natężenia promieniowania słonecznego wewnątrz i na zewnątrz namiotów. Ankieta dotycząca odczuć termicznych została przeprowadzona na grupie 68 uczestników przebywających w namiotach, która obejmowała pytania w zakresie odczuć termicznych, komfortu cieplnego oraz preferencji temperatury wewnątrz namiotu.

## **2. Modelowanie komfortu cieplnego**

### **2.1. Model Fangera**

Najpopularniejszą metodą do wyznaczenia komfortu cieplnego jest model Fangera [26,103], który opracowano już w latach 70tych XX wieku. Człowiek czuje się najlepiej, gdy ilość ciepła wytwarzanego na drodze metabolizmu jest równa ciepłu traconemu do otoczenia (odnosi się do utrzymania równowagi cieplnej organizmu). Ciało ludzkie wytwarza ciepło jako produkt uboczny procesów metabolicznych, takich jak trawienie pokarmów, pracę mięśni czy funkcjonowanie narządów wewnętrznych. Jednocześnie, ciepło jest tracone do otoczenia przez różne ścieżki. Jest to ściśle związane z promieniowaniem, przewodzeniem i konwekcją, a także wymianą ciepła na drodze utajonej (zmiana fazy cieczy w parę w postaci odparowania wody z powierzchni skóry, płuc). Gdy ilość ciepła wytwarzanego przez organizm jest równa ciepłu traconemu do otoczenia, osiągamy stan równowagi termicznej. W takiej sytuacji, nasze ciało nie nagrzewa się ani nie ochładza, co pozwala nam czuć się komfortowo. To idealne dopasowanie między produkcją a utratą ciepła pozwala utrzymać stabilną temperaturę ciała.



Ilość wytwarzanego i traconego ciepła może się zmieniać w zależności od różnych czynników. Na przykład, podczas intensywnego wysiłku fizycznego organizm wytwarza większą ilość ciepła, dlatego musi również zwiększyć ilość ciepła traconego, aby utrzymać równowagę termiczną. W takiej sytuacji, nasze ciało może reagować, zwiększając tym przepływ krwi do skóry w celu zwiększenia utraty ciepła przez pocenie się i rozszerzanie naczyń krwionośnych. Niezachowanie równowagi termicznej może prowadzić do dyskomfortu. Jeśli organizm produkuje więcej ciepła niż jesteśmy w stanie oddać, może to prowadzić do przegrzania organizmu, poczucia gorąca, nadmiernego pocenia się czy osłabienia. Z kolei, jeśli traconemu ciepłu przewyższa ilość wytwarzanego ciepła, możemy odczuwać zimno, dreszcze czy drżenie mięśni. Dlatego zachowanie równowagi termicznej jest kluczowe dla naszego komfortu i dobrego samopoczucia. Nasz organizm posiada różne mechanizmy regulacyjne, między innymi termoregulację przez układ nerwowy i krążenie krwi, które pomagają nam utrzymać optymalną temperaturę ciała w zależności od warunków otoczenia i naszych aktywności. Założenie, że człowiek czuje się najlepiej w sytuacji, gdy ilość ciepła wytwarzanego na drodze metabolizmu jest równe ciepłu traconemu do otoczenia jest podstawą fizyczną modelu Fangera [26,103].

W praktyce Model Fangera związany jest z dwoma następującymi wskaźnikami: PMV określanego jako średnia ocena komfortu cieplnego (Predicted Mean Vote) oraz PPD oznaczającego przewidywaną liczbę osób niezadowolonych (Percentage of Dissatisfied people). Model zaproponowany w [2] ma przede wszystkim na celu określenie czy wartości PMV i PPD dla danego budynku są zgodne z normą lub czy mogą znacząco odbiegać od wyznaczonych przedziałów. Do obliczenia PMV i PPD wykorzystuje się obowiązujące normy: ISO 7730 [3] wraz z PN-EN 16798-1:2019 [25] oparte na modelu Fangera. Jednak rzeczywistą wartość obu wskaźników dla danej grupy ludzi wyznacza się w oparciu o badania ankietowe (i w ten sposób, można zweryfikować poprawność obliczeń modelowych), a można je obliczyć w oparciu o wzory zamieszczone w normie ISO 7730 [3]. Wzór na PMV uwzględnia cztery parametry mikroklimatu tj. temperaturę powietrza, średnią temperaturę promieniowania, prędkość powietrza, ciśnienie cząstkowe pary wodnej, a także cechy osobnicze tj. poziom metabolizmu i izolacyjność termicznej odzieży. Zależność na PPD to funkcja PMV. Wskaźnik PMV wyrażony jest za pomocą siedmiopunktowej skali od -3 do +3, gdzie wartość ujemna oznacza zimno, zaś dodatnia gorąco. W oparciu o model Fangera środowisko termiczne jest akceptowalne, jeśli wartość PMV mieści się w zakresie od -0,5 do +0,5 (dla budynku kategorii II, czyli to m.in. rozpatrywane w pracy budynki użyteczności publicznej). Ludzie preferują

neutralne środowisko termiczne, czyli takie, gdzie wartość PMV wynosi 0. Fanger opierając się o szeroki zakres literatury i na podstawie własnych badań stworzył równanie komfortu cieplnego, który składa się z wielu składowych. Pierwszym warunkiem do odczuwania stanu komfortu cieplnego przez człowieka jest uzyskanie równowagi cieplnej, która wyrażona jest równaniem [104]:

$$f \left[ \frac{Q}{A_{Du}}, \Lambda_{cl}, t_w, t_{mr}, \rho_w, v, t_s, \frac{Q_w}{A_{Du}} \right] = 0$$

$$f \left[ \frac{Q}{A_{Du}}, \Lambda_{cl}, t_w, t_{mr}, \rho_w, v, t_s, \frac{Q_w}{A_{Du}} \right] = 0 \quad (1)$$

gdzie:

$\frac{Q}{A_{Du}}$  - ilość wewnętrznego ciepła wytwarzanego przez organizm (wydatek energetyczny) w odniesieniu do jednostki pola powierzchni ciała nie okrytego odzieżą ( $A_{Du}$  = powierzchnia DuBois),

$\Lambda_{cl}$  - opór przewodzenia ciepła odzieży,

$t_w$  - temperatura powietrza,

$t_{mr}$  - średnia temperatura promieniowania,

$\rho_w$  - ciśnienie cząstkowe pary wodnej w otaczającym powietrzu,

$v$  - względna prędkość przepływu powietrza,

$t_s$  - - średnia temperatura skóry,

$\frac{Q_w}{A_{Du}}$  - ilość ciepła zużytego do odparowania potu w odniesieniu do jednostki pola powierzchni ciała nie okrytego odzieżą.

Działanie układu termoregulacyjnego organizmu człowieka polega na utrzymywaniu niemal stałej temperatury wewnętrznej. Można zatem przypuszczać, że po dłuższym okresie przebywania w stałym (umiarkowanym) środowisku termicznym i przy niezmiennym natężeniu procesów metabolicznych w organizmie zostanie ustalona równowaga termiczna. W ten sposób wytworzone ciepło nie będzie kumulować się w ludzkim ciele. Bilans cieplny w tych warunkach wyraża się równaniem:

$$Q - Q_d - Q_w - Q_{ou} - Q_{oj} = Q_p = Q_R + Q_K \quad (1)$$

gdzie:

$Q$  - ilość ciepła wytwarzanego w organizmie zależna od wydatku energetycznego,

$Q_d$  - straty ciepła na skutek dyfuzji pary wodnej przez skórę,

$Q_w$  - straty ciepła na skutek odparowania potu ze skóry,

$Q_{ou}$  - utajona utrata ciepła przez oddychanie,

$Q_{oj}$  - jawna utrata ciepła przez oddychanie,

$Q_p$  - ilość ciepła przenikającego od skóry do zewnętrznej powierzchni odzieży okrywającej ciało,

$Q_R$  - strata ciepła przez promieniowanie z zewnętrznej powierzchni odzieży okrywającej ciało,

$Q_K$  - straty ciepła przez konwekcje z zewnętrznej powierzchni odzieży okrywającej ciało.

Z równania można odczytać, że ilość ciepła  $Q$  wydzielanego przez organizm ludzki, pomniejszona o straty ciepła na parowanie potu ( $Q_d + Q_w$ ), jak również na oddychanie ( $Q_{ou} + Q_{oj}$ ), jest równa ilość ciepła przenoszonego przez odzież  $Q_p$  i rozpraszanego na zewnętrznej powierzchni odzieży przez promieniowanie i konwekcję.

Energia cieplna uwalniana w procesach utleniania zachodzących w organizmie człowieka i odniesiona do jednostki czasu (ciepło metaboliczne  $Q_M$ ) ulega niekiedy częściowemu przekształceniu w moc mechaniczną  $N$ , ale przede wszystkim w ciepło wewnętrzne organizmu, a więc:

$$Q_M = Q + N \quad (2)$$

Przedstawiamy następującą definicję sprawności ruchowej:

$$\eta = \frac{N}{Q_M} \quad (3)$$

Po podstawieniu do równania otrzymuje się:

$$Q = Q_M(1 - \eta) \quad (4)$$

lub w odniesieniu do jednostki powierzchni zewnętrznej ciała:

$$\frac{Q}{A_{Du}} = \frac{Q_M}{A_{Du}}(1 - \eta), \frac{W}{m^2} \quad (5)$$

W pracy [2] podano ilość ciepła wytwarzanego przez ludzki organizm podczas wykonywania różnych czynności metabolicznych. Podczas siedzenia bez ruchu organizm ludzki wytwarza ciepło metaboliczne równe  $58 \text{ W/m}^2$ , zaś w czasie chodzenia po równinie  $3,2 \text{ km/h}$  -  $116 \text{ W/m}^2$ . W większości przypadkach, gdy sprawność ruchowa  $\eta = 0$  oznacza to, że nie została wykonana żadna praca mechaniczna. Przykładowo osoba spacerująca po

poziomej płaszczyźnie sprawność mechaniczna wynosi zero, co oznacza, że człowiek nie wykonuje żadnej pracy. W szczególnych przypadkach jednak wartość  $\eta$  może przyjmować wartości w zakresie od 0,20 do 0,25. Dotyczy to np. chodzenia pod górę lub wchodzenia po schodach. W szczególnych przypadkach  $\eta$  może również przyjmować wartości mniejsze od zera, gdy praca zewnętrzna zamieniana jest na ciepło wewnątrz ciała człowieka (praca ujemna). Na przykład dzieje się tak, gdy człowiek schodzi ze zbocza góry. Energia potencjalna człowieka jest następnie przekształcana w energię cieplną, która jest uwalniana w stawach i mięśniach nóg.

Dyfuzja pary wodnej przez skórę jest częścią utajonego procesu parowania, który nie jest kontrolowany przez układ termoregulacyjny organizmu. Przyjmuje się, że gęstość masowego natężenia przepływu dyfundującej pary wodnej jest proporcjonalna do różnicy między ciśnieniem nasyconej pary wodnej w temperaturze skóry a ciśnieniem cząstkowym pary wodnej  $\rho_w$  w otaczającym powietrzu. Równanie, które opisuje utratę ciepła w wyniku dyfuzji pary wodnej przez skórę jest następujące:

$$Q_d = r\beta A_{DU}(\rho_s - \rho_w) \quad (6)$$

gdzie:

$Q_d$  - straty ciepła wskutek dyfuzji pary wodnej przez skórę, W;

$r$  - ciepło parowania wody J/kg;

$\beta$  - współczynnik przenikania masy wodnej przez skórę,  $kg/m^2 \cdot s \cdot N/m^2$ ;

$\rho_s$  - ciśnienie nasyconej pary wodnej przy temperaturze skóry,  $N/m^2$ ;

$\rho_w$  - ciśnienie cząstkowe pary wodnej w otaczającym powietrzu,  $N/m^2$ .

Głównym oporem na dyfuzję pary wodnej są głębsze warstwy zrogowaciałej warstwy naskórka. Odporność tej warstwy jest bardzo wysoka w porównaniu z odpornością na dyfuzję zwykłych rodzajów odzieży. Dotyczą one strat ciepła na skutek odparowywania potu przez osoby w pozycji siedzącej oraz w warunkach komfortu cieplnego. Na podstawie tych danych ustalono wartość:

$$\beta = 1,27 \cdot 10^{-9}, \frac{kg}{\left| m^2 \cdot s \cdot \frac{N}{m^2} \right|} \quad (7)$$

Z tablic właściwości pary wodnej można wyznaczyć wartość  $\rho_s$  w funkcji  $t_s$ . Zależność ta dla wartości temperatury z zakresu  $27^\circ\text{C} < t_s < 37^\circ\text{C}$  wyraża się wzorem:

$$\rho_s = 256t_s - 3360, \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \quad (8)$$

Podstawiając  $r$ ,  $\beta$  i  $\rho_s$  do równania otrzymujemy:

$$Q_d = 3,06 \cdot 10^{-3} \cdot A_{Du}(256t_s - 3360 - \rho_w), W \quad (9)$$

Przy umiarkowanym wydzielaniu potu i umiarkowanych wartościach temperatury, a więc także umiarkowanych wartościach ciśnień cząstkowych pary wodnej, czyli w warunkach typowych dla komfortu cieplnego, można przyjąć, że cała masa wydzielanego potu odparowuje.

Ciepło i para wodna są przekazywane do wdychanego powietrza na drodze konwekcji i odparowywania wilgoci z błony śluzowej pokrywającej drogi oddechowe. Dzięki temu powietrze dopływające do pęcherzyków osiąga temperaturę wewnątrz ciała i stan nasycenia parą wodną. Podczas wypływu powietrza przez drogi oddechowe część ciepła jest ponownie przekazywana do ciała, a para wodna skrapla się, podczas gdy powietrze wydychane przez nos nadal zawiera więcej wody i jest cieplejsze niż powietrze wydychane. Dlatego oddychanie powoduje utajone i jawne straty ciepła. Wielkość utajonej utraty ciepła w procesie oddychania jest funkcją ilości wydychanego powietrza (wentylacja płuc) oraz różnicy zawartości wody w powietrzu wydychanym i wdychanym. Wielkość ta wyraża się wzorem:

$$Q_{ou} = \dot{V} \cdot r(\chi_{wy} - \chi_w) \quad (10)$$

gdzie:

$Q_{ou}$  - straty ciepła utajonego podczas oddychania. W;

$\dot{V}$  - strumień masy wydychanego powietrza (wentylacja płuc), kg/s;

$r$  - ciepło parowania wody (w temperaturze  $35^\circ\text{C}$ ), J/kg;

$\chi_{wy}$  - zawartość wilgoci w wydychanym powietrzu, kg/kg;

$\chi_w$  - zawartość wilgoci w wdychanym powietrzu, kg/kg.

Podczas procesu oddychania strata ciepła jawnego wyraża się wzorem:

$$Q_{oj} = \dot{V}c_p(t_{wy} - t_w), \quad W \quad (11)$$

gdzie:

$c_p$  - ciepło właściwe suchego powietrza przy stałym ciśnieniu, J/kg·K;

$t_{wy}$  - temperatura powietrza wydychanego, °C;

$t_w$  - temperatura powietrza wdychanego, °C;

McCutchan i Taylor wyprowadzili następujący wzór na określenie temperatury wydychanego powietrza w zależności od parametrów wydychanego powietrza:

$$t_{wy} = 32,6 + 0,0066t_w + 32\chi_w \quad (12)$$

Straty ciepła jawnego podczas oddychania są stosunkowo niewielkie w porównaniu z innymi stratami, więc wystarczającą dokładność dla celów praktycznych uzyskuje się przy założeniu, że średnia temperatura wydychanego powietrza wynosi  $t_{wy} = 34^\circ\text{C}$ .

Biorąc to pod uwagę, równanie można przedstawić w następującej postaci:

$$Q_{oj} = 0,0012Q_M(34 - t_w), W \quad (13)$$

Wymiana ciepła jawnego ze skóry na zewnętrzną powierzchnię odzieży pokrywającej tę skórę jest złożonym procesem. Wymiana ciepła odbywa się poprzez konwekcję i promieniowanie wewnątrz wypełnionych powietrzem przestrzeni między ubraniami oraz przez przewodzenie materiału samego ubrania. Dla uproszczenia obliczeń wprowadzono wartość  $\Lambda_{cl}$ , która określa całkowity opór przewodzenia ciepła przez warstwę ograniczoną skórą i zewnętrzną powierzchnią odzieży. Wielkość  $\Lambda_{cl}$  jest określona zależnością:

$$\Lambda_{cl} = \frac{R_{cl}}{0,18}, clo \quad (14)$$

gdzie:

$R_{cl}$  - całkowity opór przewodzenia ciepła od skóry do zewnętrznej powierzchni odzieży okrywającej ciało ( $m^2 \cdot h \cdot ^\circ\text{C} / kcal = 0,645 clo$ )

Przenikanie ciepła jawnego ze skóry na zewnętrzną powierzchnię odzieży okrywającej ciało wyraża się wzorem:

$$Q_p = A_{Du} \cdot \frac{t_s - t_{cl}}{0,18\Lambda_{cl}}, \frac{kcal}{h} \quad (15)$$

Opór przewodzenia ciepła danego zestawu materiałów włókienniczych zależy przede wszystkim od grubości i porowatości poszczególnych warstw materiału. Przykładowo współczynnik powierzchni odzieży dla lekkiego ubrania letniego wynosi  $f_{cl} = 1,1$ . Właściwości cieplne innych zestawów odzieży zamieszczono w pracy [2].

Proces wymiany ciepła na drodze promieniowania między ciałem człowieka a jego otoczeniem przebiega w taki sam sposób, jak analogiczny proces zachodzący między dowolnymi ciałami fizycznymi. Straty ciepła przez promieniowanie z zewnętrznej powierzchni odzieży okrywającej ciało można zatem wyznaczyć na podstawie równania Stefana-Boltzmann'a:

$$Q_R = A_{ef} \varepsilon \sigma [(t_{cl} + 273)^4 - (t_{mr} + 273)^4], W \quad (16)$$

gdzie:

$A_{ef}$  - efektywne pole powierzchni promieniowania ciała ludzkiego okrytego odzieżą,  $m^2$ ;

$\varepsilon$  - emisyjność promieniowania zewnętrznej powierzchni ciała ludzkiego okrytego odzieżą;

$\sigma$  - stała Stefana-Boltzmann'a  $5,67 \cdot 10^{-8} W/(m^2 \cdot K^4)$ ;

$t_{cl}$  - temperatura powierzchni odzieży,  $^{\circ}C$ ;

$t_{mr}$  - średnia temperatura promieniowania,  $^{\circ}C$ .

Za średnią temperaturę promieniowania dla danej osoby znajdującej się w określonym miejscu, w określonej pozycji ciała i ubranej w określony strój przyjmuje się temperaturę czarnej osłony, która spowodowałaby takie same straty ciepła przez promieniowanie, jak rozpatrywane środowisko powoduje.

Pewne trudności w określeniu strat ciepła przez promieniowanie spowodowane są kształtowaniem się strumieni wymienianej energii na skutek nieregularności ciała spowodowanych występowaniem wypukłości, zgrubień i kątów powtarzalnego padania promieniowania cieplnego. Ciało nie jest wszędzie wypukłe, więc wymiana energii przez promieniowanie może zachodzić między różnymi częściami ciała. Zatem wartość pola zdefiniowanego jako efektywny obszar promieniowania opisuje równanie:

$$A_{ef} = f_{ef} f_{cl} A_{Du}, m^2 \quad (17)$$

gdzie:

$f_{ef}$  - współczynnik efektywnego pola powierzchni promieniowania zdefiniowany jako stosunek efektywnego pola powierzchni promieniowania ciała ludzkiego, które okryte jest odzieżą, do całkowitego pola powierzchni ciała nie okrytego odzieżą,

$f_{cl}$  - stosunek pola powierzchni ciała okrytego odzieżą do pola powierzchni ciała odkrytego,

$A_{Du}$  - powierzchnia DuBois (pole powierzchni ciała nie okrytego odzieżą).

Wartości efektywnego współczynnika pola powierzchni promieniowania ( $f_{ef}$ ) były wyznaczane eksperymentalnie przez wielu badaczy, zarówno dla osób w pozycji stojącej, jak

i siedzącej. Badania prowadzono różnymi metodami, a wyniki tych badań są często rozbieżne. Według Fangera współczynnik ten wynosi 0,696 dla osób w pozycji siedzącej i 0,725 dla osób w pozycji stojącej. Stwierdzono również, że wartości te prawdopodobnie nie są związane z płcią, masą ciała, wzrostem człowieka, powierzchnią DuBois ani składem ciała. Ze względu na niewielką różnicę  $f_{ef}$  dla obu pozycji ciała jako zadowalające przybliżenie dla wspomnianych pozycji ciała przyjęto średnią wartość  $f_{ef} = 0,71$ .

Kolejny współczynnik  $f_{cl}$  był przedmiotem badań m.in. Nielsena i Pedersena, którzy określili jego wartość dla ciężkiej roboczej odzieży europejskiej. Emisyjność skóry ludzkiej jest bliska 1,0, podczas gdy dla większości kompletów odzieży wynosi około 0,95. W związku z tym Fanger zaproponował zastosowanie średniej wartości 0,97. W związku z tym straty ciepła przez promieniowanie z zewnętrznej powierzchni odzieży okrywającej ciało można wyznaczyć z równania Stefana-Boltzmana:

$$Q_R = 4,0 \cdot 10^{-8} \cdot A_{Du} f_{cl} [(t_{cl} + 273)^4 - (t_{mr} + 273)^4], W \quad (18)$$

Niekiedy do obliczeń wymiany ciepła celowe jest zastosowanie pojęcia „efektywnego pola promieniowania” (ERF), wprowadzonego ostatnio przez Gagge'a i wsp. efektywne pole promieniowania definiuje się jako ilość ciepła wymienianego przez promieniowanie (w odniesieniu do jednostki powierzchni ciała) między otoczeniem a obiektem w kształcie człowieka i hipotetyczną powierzchnią promieniowania ciała doskonale czarnego o temperaturze równej temperaturze otaczającego powietrza. Inaczej mówiąc, ERF wyraża energię promieniowania (dodatnią lub ujemną) na osobę, gdy średnia temperatura promieniowania jest równa temperaturze powietrza.

Stratę ciepła przez konwekcję na zewnętrznej powierzchni odzieży okrywającej ciało można wyrazić wzorem:

$$C = A_{Du} f_{cl} \alpha_k (t_{cl} - t_w) \quad (19)$$

gdzie:

$\alpha_k$  - współczynnik przejmowania ciepła przez konwekcję, W.

Wartość  $\alpha_k$  zależy od rodzaju konwekcji. Przy małych prędkościach powietrza wymiana ciepła zachodzi na zasadzie konwekcji swobodnej, więc  $\alpha_k$  jest wtedy funkcją różnicy temperatur ( $t_{cl} - t_w$ ). Przy wyższych prędkościach zachodzi wymuszona konwekcja, a  $\alpha_k$  jest funkcją prędkości.



W przypadku konwekcji swobodnej Nielsen i Pedersen przeprowadzili testy z udziałem ludzi i manekinów w pozycji siedzącej i stojącej. Stwierdzili doskonałą zgodność wyników testów przeprowadzonych na ludziach i manekinach w pozycji siedzącej i stojącej, stosując następujący wzór:

$$\alpha_k = 2,39(t_{cl} - t_w)^{0,25}, W \quad (20)$$

Powyższy wzór zbliżony jest do ogólnej postaci wzorów opisujących konwekcję swobodną z laminarną warstwą przyścienną:

$$Nu = const(GrPr)^{0,25} \quad (21)$$

Współczynnik przenikania ciepła w procesie konwekcji wymuszonej badali Winsol, Gagge i Herrington. Przyjmując kierunek przepływu powietrza „w dół”, ustalono następującą zależność dla  $v < 2,6$  m/s:

$$\alpha_k = 12,1\sqrt{v}, W \quad (22)$$

gdzie:

$v$  - względna prędkość przepływu powietrza, m/s.

W każdym konkretnym przypadku analizy strat ciepła konieczne jest określenie rodzaju występującej konwekcji (wymuszona lub swobodna). Istnieje obszar przejściowy między konwekcją swobodną a konwekcją wymuszoną, w którym przebieg procesu wymiany ciepła zależy zarówno od różnicy temperatur, jak i od prędkości przepływu powietrza. Brak wzorów na pole przejściowe spowodował zastosowanie ogólnej zasady obliczania współczynnika przyjmowania ciepła konwekcji w obszarze przejściowym, a mianowicie zasady obliczania  $\alpha_k$  dla obu typów, tj. konwekcji swobodnej i wymuszonej, i przyjęcie większej z obliczonych wartości jako miarodajnej.

Warunek nierówności oznacza w większości przypadków spotykanych w praktyce, że dla  $v < 0,10$  m/s należy zastosować wzór na konwekcję swobodną, a dla  $v > 0,10$  m/s wzór na konwekcję wymuszoną.

Po podstawieniu wszystkich wyprowadzonych powyżej wyrażenia na utratę ciepła do równania bilansu cieplnego i dzieląc sumę przez  $A_{Du}$ , otrzymuje się następujące równanie bilansu cieplnego organizmu człowieka:

$$\begin{aligned}
& \frac{Q_M}{A_{Du}}(1 - \eta) - 0,35[1,92t_s - 25,3 - p_w] - \frac{Q_w}{A_{Du}} - 0,0023 \frac{Q_M}{A_{Du}}(44 - p_w) \\
& \quad - 0,0014 \frac{Q_M}{A_{Du}}(34 - t_w) = \frac{t_s - t_{cl}}{0,18\lambda_{cl}} \\
& = 3,4 \cdot 10^{-8} f_{cl} [(t_{cl} + 273)^4 - (t_{mr} + 273)^4] + f_{cl} \alpha_k (t_{cl} - t_s) \quad (23)
\end{aligned}$$

W ustalonych warunkach środowiskowych pierwszym warunkiem komfortu cieplnego jest spełnienie równania bilansu cieplnego. Wymóg ten jest sformułowaniem celu systemu termoregulacji organizmu człowieka, jakim jest utrzymanie zadowalająco stabilnej temperatury wewnętrznej ciała. Przy danym wydatku energetycznym jedynymi zmiennymi parametrami fizjologicznymi mającymi wpływ na bilans cieplny są temperatura skóry  $t_s$  oraz ilość ciepła zużytego do odparowania wydzielanego potu  $Q_w$ . Dla danej osoby przy zadanym wydatku energetycznym, ubiorze i warunkach środowiskowych ustali się pewna kombinacja parametrów  $t_s$  i  $Q_w$  spełniająca równanie bilansu cieplnego.

Spełnienie równania bilansu cieplnego jest jednak w dużej mierze warunkiem niewystarczającym dla komfortu cieplnego. W szerokich granicach zmienności parametrów środowiskowych, w których zachowany jest bilans cieplny, istnieje tylko niewielki zakres wartości tych zmiennych zapewniających odczucie komfortu cieplnego.

System termoregulacji wewnątrz organizmu człowieka potrafi sam dążyć do uzyskania stanu komfortu cieplnego, dlatego Fanger wprowadził dodatkowe dwa warunki komfortu cieplnego. Warunkami tymi są parametry fizjologiczne, w głównej mierze chodzi o zmienność temperatury skóry oraz utrata ciepła przez parowanie potu na skórze. Należy pamiętać, że istnieje niewielki przedział par wartości tych parametrów. Wartości średniej temperatury skóry oraz straty ciepła na odparowanie potu mieszczą się w przedziale:

$$a < t_s < b \quad (24)$$

$$c < Q_w < d \quad (25)$$

Wartości graniczne a, b, c i d są charakterystyczne dla przypadków indywidualnych. Spełnienie nierówności jest więc warunkiem komfortu cieplnego odczuwanego tylko przez konkretną osobę przy zadanym ustalonym wydatku energetycznym.

W pracy Fangera podano eksperymentalnie uzyskane wartości średniej temperatury skóry i strat ciepła na odparowanie potu, które wyrażają subiektywne odczucie komfortu termicznego. W badaniu uczestniczyli mężczyźni i kobiety narodowości amerykańskiej, w wieku studenckim. Osoby te wykonywały czynności charakteryzujące się różnym

wydatkiem energetycznym. W wyniku analizy danych ustalono następujące zależności dla osób w komforcie cieplnym: między temperaturą skóry a wydatkami energetycznymi oraz między utratą ciepła na odparowanie potu a wydatkami energetycznymi. Relacje te mają postać:

$$t_s = 35,7 - 0,026 \frac{Q}{A_{Du}} \quad (26)$$

$$Q_w = 0,36 A_{Du} \left( \frac{Q}{A_{Du}} - 58 \right), W \quad (27)$$

Aby utrzymać warunki komfortu cieplnego, średnia temperatura skóry powinna się obniżać wraz ze wzrostem wydatku energetycznego. Straty ciepła na odparowanie potu w warunkach komfortu cieplnego są równe zero dla osób siedzących. Przy wyższych wydatkach energetycznych do osiągnięcia stanu komfortu cieplnego wymagane są umiarkowane straty ciepła komfort cieplny, konieczne są umiarkowane straty ciepła na odparowanie potu.

Podstawiając wyrażenia na wielkości  $t_s$  i  $Q_w$  z równań do równania bilansu cieplnego otrzymujemy:

$$\begin{aligned} & \frac{Q_M}{A_{Du}}(1 - \eta) - 0,35 \left[ 43 - 0,061 \frac{Q_M}{A_{Du}}(1 - \eta) - p_w \right] - 0,42 \left[ \frac{Q_M}{A_{Du}}(1 - \eta) - 50 \right] \\ & \pm 0,0023 \frac{Q_M}{A_{Du}}(44 - p_w) - 0,0014 \frac{Q_M}{A_{Du}}(34 - t_w) \\ & = \frac{35,7 - 0,032 \frac{Q_M}{A_{Du}}(1 - \eta) - t_{cl}}{0,18 \Lambda_{cl}} - 3,4 \\ & \cdot 10^{-8} f_{cl} [(t_{cl} + 273)^4 - (t_{mr} + 273)^4] + f_{cl} \alpha_k (t_{cl} - t_w) \end{aligned} \quad (28)$$

Po rozwiązaniu lewej strony równania, uzyskuje się wyrażenie określające wielkość temperatury powierzchni odzieży  $t_{cl}$ :

$$t_{cl} = 35,7 - 0,032 \frac{Q_M}{A_{Du}}(1 - \eta) - 0,18 \Lambda_{cl} \left\{ \begin{aligned} & \frac{Q_M}{A_{Du}}(1 - \eta) + -0,35 \left[ 43 - 0,061 \frac{Q_M}{A_{Du}}(1 - \eta) - p_w \right] \\ & - 0,42 \left[ \frac{Q_M}{A_{Du}}(1 - \eta) - 50 \right] + \\ & - 0,0023 \frac{Q_M}{A_{Du}}(44 - p_w) - 0,0014 \frac{Q_M}{A_{Du}}(34 - t_w) \end{aligned} \right\}, ^\circ C \quad (29)$$

Po przekształceniach Fangera porównując obie strony równania otrzymuje się następujący wzór:

$$\begin{aligned} & \frac{Q_M}{A_{Du}}(1 - \eta) - 0,35 \left[ 43 - 0,0061 \frac{Q_M}{A_{Du}}(1 - \eta) - p_w \right] - 0,42 \left[ \frac{Q_M}{A_{Du}}(1 - \eta) - 50 \right] \\ & \quad \pm 0,0023 \frac{Q_M}{A_{Du}}(44 - p_w) - 0,0014 \frac{Q_M}{A_{Du}}(34 - t_w) \\ & = 3,4 \cdot 10^{-8} f_{cl} [(t_{cl} + 273)^4 \pm (t_{mr} + 273)^4] + f_{cl} \alpha_k (t_{cl} - t_w) \end{aligned} \quad (30)$$

Powyższe równanie to ogólna postać szukanego równania komfortu cieplnego, gdzie  $t_{cl}$  określa równanie (29), a współczynnika przejmowania ciepła na drodze konwekcji swobodnej i wymuszonej  $\alpha_k$  określają zależności zawarte przez Fangera [74] poniższe zależności:

$$\alpha_k = 2,39 \cdot (t_{cl} - t_w)^{0,25} \quad \text{dla} \quad 2,39 \cdot (t_{cl} - t_w)^{0,25} > 12,1 \cdot \sqrt{v} \quad (31)$$

$$\alpha_k = 1,21 \cdot \sqrt{v} \quad \text{dla} \quad 2,39 \cdot (t_{cl} - t_w)^{0,25} < 12,1 \cdot \sqrt{v} \quad (32)$$

Dla  $v < 0,1$  m/s należy posługiwać się wzorem na konwekcję swobodną (czyli w większości przypadków), natomiast dla  $v > 0,1$  m/s właściwy jest wzór na konwekcję wymuszoną.

Wskaźnik PMV wyrażony jest równaniem:

$$\left. \begin{aligned} & PMV = [0,303 \cdot \exp(-0,036 \cdot M) + 0,028] \\ & \cdot \left\{ \begin{aligned} & (M - W) - 3,05 \cdot 10^{-3} \cdot [5733 - 6,99 \cdot (M - W) - p_a] - 0,42 \cdot [(M - W) - 58,15] \\ & - 1,7 \cdot 10^{-5} \cdot M \cdot (5867 - p_a) - 0,0014 \cdot M \cdot (34 - t_a) \\ & - 3,96 \cdot 10^{-8} \cdot f_{cl} \cdot [(t_{cl} + 273)^4 - (\bar{t}_r + 273)^4] - f_{cl} \cdot h_c \cdot (t_{cl} + t_a) \end{aligned} \right\} \end{aligned} \quad (33)$$

gdzie:

$$\begin{aligned} & t_{cl} = 35,7 - 0,028(M - W) \\ & - I_{cl} \{ 3,96 \cdot 10^{-8} f_{cl} \cdot [(t_{cl} + 273)^4 - (\bar{t}_r + 273)^4] - f_{cl} \cdot h_c \cdot (t_{cl} + t_a) \} \end{aligned} \quad (34)$$

$$h_c = 2,38(t_{cl} - t_w)^{0,25} \quad \text{dla} \quad 2,38(t_{cl} - t_w)^{0,25} < 12,1\sqrt{v_{ar}} \quad (35)$$

$$h_c = 12,1\sqrt{v_{ar}} \quad \text{dla} \quad 2,38(t_{cl} - t_w)^{0,25} > 12,1\sqrt{v_{ar}} \quad (36)$$

$$f_{cl} = 1,00 + 1,290I_{cl} \quad \text{dla} \quad I_{cl} \leq 0,078, \frac{m^2 \cdot \varrho}{W} \quad (37)$$

$$f_{cl} = 1,05 + 0,645I_{cl} \quad \text{dla} \quad I_{cl} > 0,078, \frac{m^2 \cdot \varrho}{W} \quad (38)$$

w którym:

M - tempo metabolizmu, W/m<sup>2</sup>;

$W$  - efektywna moc mechaniczna,  $W/m^2$ ;

$I_{cl}$  - izolacyjność cieplna odzieży,  $m^2K/W$ ;

$f_{cl}$  - współczynnik powierzchni odzieży,

$t_a$  - temperatura powietrza,  $^{\circ}C$ ;

$\bar{t}_r$  - średnia temperatura promieniowania,  $^{\circ}C$ ;

$v_{ar}$  - prędkość powietrza,  $m/s$ ;

$p_a$  - ciśnienie cząstkowe pary wodnej,  $Pa$ ;

$h_c$  - współczynnik konwekcji ciepła,  $W/(m^2K)$ ;

$t_{cl}$  - temperatura powierzchni odzieży,  $^{\circ}C$ .

1 jednostka metabolizmu = 1 met =  $58,2 W/m^2$ ,

1 jednostka izolacyjności cieplnej odzieży = 1 clo =  $0,155 m^2^{\circ}C/W$ .

Wskaźnik PMV wykorzystuje się, aby sprawdzić, czy dane środowisko cieplne spełnia warunki komfortu, a także w celu określenia różnych poziomów akceptowalności.

$M$  - od 46 do 232  $W/m^2$  (od 0,8 do 4 met),

$I_{cl}$  - od 0 do 0,310  $m^2K/W$  (od 0 do 2 clo),

$t_a$  - od 10 do 30  $^{\circ}C$ ,

$\bar{t}_r$  - od 10 do 40  $^{\circ}C$ ,

$v_{ar}$  - od 0 do 1  $m/s$ ,

$p_a$  - od 0 do 2 700  $Pa$ .

Opisany powyżej model Fangera, mimo powszechnego stosowania, jest poddawany pod dyskusję i często krytykowany. Zagadnieniu weryfikacji modelu Fangera poświęcono prace własne [6–10], w których najczęściej wyniki uzyskane zgodnie z opisaną powyżej metodyką nie pokrywały się z rzeczywistymi odczuciami cieplnymi użytkowników pomieszczeń (określonymi metodą ankietową). Podobnie było w pracy Vilcekova i in. [105], którzy przeanalizowali jakość powietrza w szkołach, w których uczestniczyli dzieci w wieku od 6 do 15 lat, a także 5 dydaktyków. Autorzy ukazali, że fundamentalny problem w czasie badań stanowił poziom hałasu, niski poziom oświetlenia oraz duże stężenie  $CO_2$ . Co miało znaczący wpływ na różnice między wskaźnikiem PMV (Predicted Mean Vote) a TSV (Thermal Sensations Vote) z ankiet. Należy zaznaczyć, że mimo tego, że niektóre prace [106] wskazują na prawidłowość modelu Fangera np. w zakresie zależności na PPD w funkcji PMV, to jednak samo porównanie wyników obliczeń PMV wg normy z danymi ankietowymi wskazuje na nieznaczną rozbieżność. Na podobną rozbieżność wskazują badania realizowane w hiszpańskich szkołach przez Campano i inni [107]. Tymczasem inni badacze [108] omówili

modyfikację modelu Fanger'a, w której uwzględnili średnie ciśnienie krwi użytkowników. Obecnie trwają również prace nad wykorzystaniem szeregu nowatorskich rozwiązań do analizy i modelowania komfortu cieplnego tj. liniowej analizy dyskryminacyjnej i sieci neuronowych [109] czy logiki rozmytej [110], jednak możliwości ich zastosowania wydają się dość ograniczone. Podobny temat wybrali autorzy [109], którzy wykazali, że analiza neuronowa i dyskryminacyjna nie ułatwi przewidzenia odczuć komfortu cieplnego. Ponadto w pracy [111] przeprowadzono badania dotyczące komfortu cieplnego na 13-wartościowej skali komfortu cieplnego. Zebrano około 1600 ankiet i wykonano analizę porównawczą pomiędzy 7-wartościową skalą a 13 wartościową. Analiza wykazała, że dla skali 13- wartościowej był mniejszy odsetek osób zadowolonych z panujących warunków mikroklimatu. W budynkach biurowych Indraganti i inni [52,53] zauważyli niezgodność pomiędzy wynikami rzeczywistymi a wynikami obliczonymi ze wzoru PMV. Manu i in. [55] zaprezentowali, że model Fanger'a zawyża odczucia cieplejsze. Autorzy [59] zaprezentowali różnice pomiędzy modelem Fanger'a a odczuciami subiektywnymi.

Jednym z nielicznych osób zajmujących się badaniami komfortu cieplnego w budynkach inteligentnych są Majewski i inni [112,113]. Wyniki wykazały spore rozbieżności między prognozowanymi a rzeczywistymi wartościami komfortu cieplnego. Ricardo i in. [44] kontynuowali badania w budynkach szkolnych w strefie klimatycznej o łagodnych warunkach pogodowych. W salach zajęć znajdowały się sale wyposażone w wentylację mechaniczną. Komfort cieplny oceniony był za pomocą wskaźnika PMV. Porównano PMV obliczone i rzeczywiste, które różniły się od siebie, natomiast PMV względem modelu EN 15251 [23] jest bardziej zróżnicowane. Minimalny okres pomiaru wynosił 1 godzinę. Badano takie parametry jak: temperatura powietrza, średnia temperatura promieniowania, prędkość powietrza, wilgotność względna, temperatura podłogi i temperatura asymetrii promieniowania. Pomiarzy prowadzono w 10 salach edukacyjnych, otrzymując 490 ankiet. Badaniom poddano dzieci w wieku 4 lat oraz studentów (w sumie 487 osób). W dwóch klasach uniwersyteckich, w dwóch bibliotekach, w trzech klasach przedszkolnych oraz w trzech szkolnych. Każde pomieszczenie mierzono rano i popołudniu. Wynikiem badań okazała się różnica między PMV i średnim odczuciem termicznym (Mean Thermal Sensation – MTS) a temperaturą operacyjną.

Philomena i in. [114] porównali wyniki odczuć cieplnych TSV (thermal sensation vote) z rzeczywistymi wynikami PMV. Badania przeprowadzono w pięciu salach na 150 uczniach w czasie okresu grzewczego. Autorzy zaobserwowali, że wartości odczuć cieplnych TSV były niższe od wartości PMV. Enescu [115] przedstawił modele i wskaźniki do odczucia

wrażenia termicznego oraz wykazał, że walidacja modeli termoregulacji jest trudna, co przyczynia się do wzrostu zainteresowania. Enescu [116] omówił model komfortu cieplnego do przewidywania istotnych zmiennych, w tym temperatury powietrza i PMV. Papazoglou i in. [117] przeprowadzili eksperyment badając szkoły w Atenach łączący obiektywną i subiektywną ocenę odczucia komfortu cieplnego przez uczniów w przedziale wiekowym od 16 do 18 lat. Uzyskane wyniki pokazały, że PMV pokazało, że uczucia uczniów były chłodniejsze niż w rzeczywistości. Inni autorzy [118] skupili się na badaniach w dwóch sezonach, letnim i zimowym, analizując budynki mieszkalne i gospodarstwa domowe, w których wpłynęło łącznie 414 ankiet od osób w wieku 18-80 lat. Badania wykazały diametralnie przeciwstawne różnice między PMV obliczonym na podstawie modelu a TSV (Thermal Sensation Vote) według respondentów. Wrażenia termiczne nie zawsze pokrywały się z neutralnością termiczną. 81% osób odczuwało komfort cieplny w zimę, a latem tylko 53%. Różnice między PMV a TSV dla zimy wyniosły -0,51 i -0,31, co potwierdza odsetek osób czujących się komfortowo, dla lata różnice były istotnie duże, wynoszące 1,42 i 1,60. Autor wykazał, że model PMV nie jest dobrze sformułowany, stąd istotne różnice pomiędzy wartościami PMV i TSV. Balbis-Morejon i in. [119] zbadali 584 studentów w salach edukacyjnych uniwersytetu pod kątem dokładności modelu Fanger'a, obliczając PMV i TSV z ankiet studenckich. Dodatkowo autorzy sprawdzili również PPD (przewidywany procent niezadowolonych). W tym badaniu autor wykazał, że PMV nie miał wpływu na TSV, nawet przy innym clo. Wykazali także, że wraz ze wzrostem temperatury średnie PMV wzrosło z -0,73 do 0,9, dla TSV było to od -2,21 do 0,53, dodatkowo porównując PMV i TSV różnica temperatur wynosiła od 2°C do 3°C.

Badania w klimacie gorącym i wilgotnym opisali Hwang i inni [120], które miały na celu opracowanie modelu komfortu termicznego. Autorzy zwracają uwagę na to, że tradycyjne modele komfortu termicznego często nie uwzględniają efektów zmian temperatury i wilgotności na organizm człowieka oraz wpływu zmieniającej się aktywności fizycznej na odczucia termiczne. W swojej pracy autorzy wykorzystali indeks uniwersalny UTCI (ang. Universal Thermal Climate Index) do oceny wpływu czynników termicznych na organizm człowieka. W przeciwieństwie do innych indeksów, UTCI uwzględnia wiele czynników wpływających na odczucia termiczne, takich jak temperatura powietrza, wilgotność, prędkość wiatru, nasłonecznienie i intensywność promieniowania. W badaniach wykorzystano symulacje komputerowe, które umożliwiły opracowanie modeli komfortu termicznego dla różnych scenariuszy, uwzględniających różne poziomy aktywności fizycznej i zmienne

warunki klimatyczne. Zaś autorzy [121] skupili się na badaniu wpływu niezgodności między modelem termicznego komfortu a sterowaniem systemem HVAC (systemem wentylacji, klimatyzacji i ogrzewania) z perspektywy użytkowników budynku. Autorzy artykułu zwracają uwagę, że w projektowaniu systemów HVAC wykorzystuje się modele termicznego komfortu, takie jak PMV i PPD, które mają na celu zapewnienie optymalnej temperatury i wilgotności wewnątrz budynku. Jednakże, w rzeczywistości użytkownicy budynku mogą mieć odmienne preferencje dotyczące temperatury, co może prowadzić do niezgodności między modelem a rzeczywistymi warunkami termicznymi. W artykule autorzy zbadali wpływ tej niezgodności na zadowolenie użytkowników z warunków termicznych i ich wpływ na wykorzystanie systemu HVAC. Przeprowadzono badanie ankietowe w trzech różnych budynkach biurowych w Stanach Zjednoczonych, aby zbadać preferencje temperatury użytkowników i porównanie ich z modelem termicznego komfortu stosowanym przez system HVAC. Wyniki badania pokazują, że występowanie niezgodności między modelem a rzeczywistymi preferencjami temperatury użytkowników może prowadzić do zwiększonej liczby skarg na warunki termiczne i do obniżenia poziomu zadowolenia z pracy. Ponadto, użytkownicy budynku, którzy nie są zadowoleni z warunków termicznych, są bardziej skłonni do manipulowania ustawieniami systemu HVAC, co prowadzi do zwiększonej ilości energii zużywanej przez system HVAC i zwiększenia kosztów eksploatacyjnych. Autorzy artykułu sugerują, że projektanci i operatorzy systemów HVAC powinni brać pod uwagę preferencje użytkowników budynków przy projektowaniu i sterowaniu systemem HVAC. Ponadto, lepsze dopasowanie modelu termicznego do rzeczywistych potrzeb użytkowników może przyczynić się do zmniejszenia kosztów eksploatacyjnych systemu HVAC i zwiększenia jego efektywności energetycznej. Zmniejszenie niezgodności między modelem a rzeczywistymi potrzebami użytkowników może pomóc w poprawie jakości warunków termicznych wewnątrz budynku, zwiększeniu zadowolenia użytkowników i zmniejszeniu kosztów eksploatacyjnych systemu HVAC. Wdrażanie rozwiązań opartych na preferencjach i potrzebach użytkowników budynku może przyczynić się do poprawy efektywności energetycznej systemu HVAC i zwiększenia zadowolenia użytkowników, co jest kluczowe dla osiągnięcia celów zrównoważonego rozwoju, ponieważ oszczędność energii można zwiększyć o 10%.

Dodatkowo należy wspomnieć, że autorzy [122] po przeprowadzeniu badań w obiektach mieszkalnych i biurowych na Tajwanie zasugerowali nową zależność dla klimatu wilgotnego i suchego przy określaniu odsetka osób niezadowolonych. Aghniaey i in. [75] wykazali, że wartości obliczone wskaźnika PPD są większe niż wyniki rzeczywiste, które są na



podstawie ankiet. Badacze w pracach [65,123] przeprowadzili analizę komfortu cieplnego, porównując model Fanger'a z rzeczywistymi odczuciami termicznymi ludzi. Ponadto w pracy [66] okazało się, że metoda ASHRAE Standard 55-2013 jest bardziej skuteczna w przewidywaniu temperatury komfortu niż inne metody. Za pomocą regresji liniowej autorzy wykazali, że w okresie letnim komfortowa temperatura dla kobiet i mężczyzn wyniosła odpowiednio 26,4°C i 27,8°C. Natomiast dla okresu zimowego wartości temperatury powietrza były niższe niż w sezonie letnim, co wygląda następująco 22,7°C dla kobiet i 22,4°C dla mężczyzn. Artykuł ten może pomóc projektantom systemów klimatyzacyjnych i wentylacyjnych w dostosowaniu warunków wewnętrznych do potrzeb różnych grup ludzi, uwzględniając różnice płci w percepcji temperatury komfortu.

W pracy [124] opisano badania nad predykcją preferencji termicznego komfortu dla ludzi, opartą na uczeniu nadzorowanym. Autorzy użyli danych z ankiet i pomiarów termicznych, aby stworzyć modele predykcyjne dla termicznego komfortu. W badaniach wykorzystano trzy modele uczenia maszynowego: regresję liniową, regresję drzewa decyzyjnego i sieci neuronowe. Dane zostały zebrane z trzech różnych budynków: biurowca, mieszkania i sali wykładowej. W każdym budynku wykonano pomiary parametrów środowiska, takich jak temperatura powietrza, wilgotność, szybkość przepływu powietrza i temperatura powierzchni. Badaniom poddano również uczestników, którzy wypełniali ankietę dotyczącą ich preferencji termicznego komfortu. Następnie, za pomocą zebranych danych, autorzy stworzyli modele uczenia maszynowego, które przewidywały preferencje termicznego komfortu na podstawie parametrów środowiska. Wyniki badań pokazały, że modele uczenia maszynowego mogą być skuteczne w przewidywaniu preferencji termicznego komfortu dla różnych budynków. Ponadto, sieci neuronowe okazały się najlepsze w predykcji preferencji termicznego komfortu, zwłaszcza w przypadku sali wykładowej. Roelofsen, Jansen i Vink [125] przedstawili badania nad równaniem PMV w modelu Fanger'a, które miały na celu poszerzenie zakresu jego zastosowania. Autorzy dokonali analizy statystycznej wyników ankiet dotyczących komfortu termicznego, aby wskazać warunki, w których równanie PMV jest skuteczne w ocenie komfortu termicznego przy różnym tempie metabolizmu.

## **2.2. Inne modele i zależności korelacyjne**

Model adaptacyjny komfortu cieplnego opisuje reakcję ludzi na zmiany temperatury w środowisku i jak wpływa to na ich percepcję komfortu cieplnego. Zgodnie z tym modelem, ludzie posiadają naturalne mechanizmy adaptacyjne, które pozwalają utrzymać stabilność komfortu cieplnego w różnych warunkach [104]. Model ten opiera się na założeniu, że każdy

człowiek ma swój indywidualny punkt ustawienia termoregulacji, który jest wynikiem jego fizjologicznych cech oraz doświadczeń kulturowych i osobistych. Kiedy temperatura w otoczeniu zmienia się, organizm stara się dostosować do nowych warunków poprzez regulację swojego metabolizmu, cyrkulacji krwi i produkcji potu. Dzięki temu organizm utrzymuje stałą temperaturę ciała i stara się zachować poczucie komfortu cieplnego. Jednakże, gdy temperatura w otoczeniu przekracza zakres akceptowalny dla organizmu, pojawiają się symptomy dyskomfortu cieplnego. Można wyróżnić w szczególności pojawienie się pocenia, uderzeń gorąca lub zimna, zmęczenia i drażliwości. Dlatego, w modelu adaptacyjnym komfortu cieplnego, temperatura jest traktowana jako względna, a odczucie komfortu zależy od relacji między temperaturą wewnątrz a na zewnątrz organizmu.

W praktyce, model adaptacyjny komfortu cieplnego ma wiele zastosowań, w tym w projektowaniu budynków i systemów HVAC (heating, ventilation, and air conditioning), które zapewniają odpowiednie warunki termiczne dla użytkowników. Zrozumienie tego modelu pozwala projektantom i inżynierom na tworzenie bardziej efektywnych i przyjaznych dla użytkowników systemów klimatyzacji, które uwzględniają naturalną zdolność organizmu do adaptacji do zmieniających się warunków [103]. Artykuł [126] poświęcony jest tematyce modelowania komfortu termicznego w inteligentnych budynkach. W artykule przedstawiono nowatorski model matematyczny do oceny poziomu komfortu cieplnego w czasie rzeczywistym, oparty na analizie danych. W artykule opisano między innymi technologie IoT (Internet of Things) oraz systemy automatyzacji budynków (BMS - Building Management Systems), które pozwalają na gromadzenie danych o warunkach panujących w pomieszczeniach oraz na sterowanie pracą systemów wentylacyjno-klimatyzacyjnych w sposób inteligentny i efektywny energetycznie. W badaniach wykorzystano dane z czujników umieszczonych w pomieszczeniach, które pozwoliły na stworzenie modelu matematycznego opartego na analizie statystycznej.

Yao wraz z innymi autorami [127] zrecenzowali modele, które pozwalają na określenie warunków termicznych, w których człowiek czuje się komfortowo. Autorzy omawiają różne modele adaptacyjnego komfortu termicznego i przedstawiają ich wady i zalety. Przeglądają również metody, za pomocą których można badać komfort termiczny i analizować wyniki. W pracy znaleźć można także informacje o modelach adaptacyjnych komfortu termicznego dla projektowania budynków energooszczędnych i zrównoważonych energetycznie. Co ważne w oparciu o analizę przeglądową przyporządkowano trzy odrębne podejścia do oceny środowiska termicznego, czyli bilans cieplny, adaptacyjne podejście bilansu

cieplnego oraz podejście adaptacyjne oparte na regresji. W artykule [128] omówiono wpływ wrażliwości termicznej mieszkańców na model adaptacyjnego komfortu cieplnego. Model ten zakłada, że preferencje termiczne mieszkańców zależą od różnych czynników, takich jak poziom aktywności, odzież, wiek, płeć itp., a zatem model ten uwzględnia różnice indywidualne w preferencjach termicznych mieszkańców. Badanie zostało przeprowadzone w laboratorium z udziałem 25 uczestników o różnym stopniu wrażliwości termicznej. Celem badania było zbadanie wpływu różnic w wrażliwości termicznej na preferencje termiczne i odczucia cieplne w różnych warunkach termicznych. Analiza wyników badania pokazały, że wrażliwość termiczna mieszkańców ma istotny wpływ na preferencje termiczne i odczucia cieplne w różnych warunkach termicznych. Osoby o wyższej wrażliwości termicznej preferowały wyższe temperatury niż osoby o niższej wrażliwości termicznej. Wyniki te sugerują, że uwzględnienie wrażliwości termicznej mieszkańców w modelu adaptacyjnego komfortu cieplnego jest ważne dla zapewnienia komfortu termicznego w różnych warunkach termicznych. Z kolei autorzy w artykule [129] badali wpływ czynników środowiskowych (temperatura, wilgotność, prędkość powietrza i natężenie oświetlenia) na termiczne zachowanie adaptacyjne i komfort termiczny pracowników w biurach z systemami klimatyzacyjnymi. W badaniu wykorzystano ankiety, pomiary temperatury powietrza i wilgotności, pomiary natężenia światła i prędkości powietrza. Autorzy analizowali również czynniki demograficzne i związane z charakterystyką pracy pracowników, czyli wiek, płeć, długość pracy, poziom aktywności fizycznej, jakość snu i preferencje temperaturowe.

Fard wraz z współautorami [130] przedstawili przegląd badań dotyczących zastosowania uczenia maszynowego w badaniach komfortu termicznego. Autorzy opisują różne metody uczenia maszynowego, które są wykorzystywane do modelowania i prognozowania komfortu termicznego w różnych sytuacjach i środowiskach. W artykule omówiono również wyzwania związane z zastosowaniem uczenia maszynowego w badaniach komfortu termicznego, takie jak brak jednolitych danych, złożoność modelowania i interpretacji wyników. Autorzy zidentyfikowali różne techniki uczenia maszynowego stosowane w badaniach komfortu termicznego, takie jak modele regresji, drzewa decyzyjne, sieci neuronowe, algorytmy grupowania i uczenie nienadzorowane. Przegląd badań wykazał, że zastosowanie uczenia maszynowego w badaniach komfortu termicznego może przyczynić się do poprawy precyzji prognozowania odczuć termicznych i lepszego zrozumienia złożonych zależności pomiędzy czynnikami wpływającymi na komfort termiczny. Jednocześnie autorzy zwrócili uwagę na wyzwania związane z zastosowaniem uczenia maszynowego w badaniach

komfortu termicznego, takie jak dobór odpowiednich danych treningowych i testowych, nadzorowanie procesu uczenia się i interpretacja wyników. Wnioski z przeglądu badań sugerują, że zastosowanie uczenia maszynowego w badaniach komfortu termicznego może przyczynić się do poprawy naszego zrozumienia mechanizmów wpływających na odczucia termiczne, a także zastosowanie parametrów fizjologicznych poprawiło dokładność modelu komfortu do 97%. Jednocześnie schemat sterowania oparty o uczenie maszynowe zmniejszył zużycie energii w budynkach o prawie 59% oraz redukując poziom CO<sub>2</sub> o 24%.

Han i inni [102] na podstawie zebranych danych, opracowali model adaptacyjny oceny odczuć termicznych w namiotach na zachodnim płaskowyżu Syczuanu w Chinach. Badania wykazały, że temperatura wewnątrz namiotu była zależna nie tylko od temperatury na zewnątrz, ale również od wilgotności względnej powietrza i prędkości wiatru. Zastosowanie modelu adaptacyjnego oceny odczuć termicznych w namiotach pozwala na lepsze zrozumienie preferencji termicznych i zapewnienie komfortu cieplnego dla ludzi przebywających w namiotach w różnych warunkach termicznych. Z kolei artykuł [131] skupia się nad badaniami dotyczącymi modeli komfortu cieplnego dla 64 budynków i 19 domów osób starszych przez 4 pory roku w Szanghaju w Chinach. Metody regresji zostały wykorzystane do obliczenia temperatury zapewniającej komfort termiczny. W tym celu przeprowadzili badania ankietowe i obserwacje terenowe w domach opieki i mieszkaniach dla seniorów. Następnie opracowali modele adaptacyjnego komfortu termicznego, które uwzględniają zmienność preferencji termicznych w zależności od warunków zewnętrznych i wewnętrznych. Artykuł wskazuje w jaki sposób można poprawić jakość życia osób starszych w domach opieki i mieszkaniach oraz przyczynić się do lepszego projektowania i planowania przestrzeni dla tej grupy społecznej. Wyniki badań wskazały na to, że oceny komfortu termicznego osób starszych w Szanghaju powinny mieścić się w przedziale standardowym  $-0,2 < TSV < +0,2$ , co pozwala na akceptowalny zakres temperatur wynoszący od 14,1 do 19,4°C zimą, od 23,8 do 27,0°C latem i od 20,6 do 31,7°C w okresie przejściowym.

### **3. Wnioski z przeglądu literatury**

W wyniku analizy dostępnej literatury stwierdzono, że:

- a) Znaczna liczba artykułów (również te, które zawierają obszerne bazy eksperymentalne) kwestionuje dokładność modelu Fanger'a w przewidywaniu rzeczywistych odczuć cieplnych.

- b) Dokładnym badaniom nie poddano wpływu indeksu BMI na odczucia cieplne dużej grupy osób w krajowych warunkach klimatycznych.
- c) Przeważająca liczba prac eksperymentalnych z komfortu cieplnego dotyczy krajów południowej Europy, Stanów Zjednoczonych i krajów azjatyckich. Natomiast w warunkach krajowych brak jest opracowań ujmujących kompleksowo i jednocześnie wpływ parametrów fizycznych powietrza wewnętrznego, stężenia dwutlenku węgla, natężenia oświetlenia na odczucia cieplne w szeregu różnych budynków, z precyzyjnym uwzględnieniem średniej rzeczywistej wartości oporu cieplnego odzieży.
- d) Na odczucie komfortu cieplnego i poprawę dokładności modelu wpływ mogą mieć dodatkowe czynniki, które nie zostały uwzględnione w modelu Fanger'a tj. stężenie dwutlenku węgla w pomieszczeniu, indeks BMI osób w nim przebywających, liczba osób przypadających na jednostkę kubatury, natężenie oświetlenia. Jednocześnie brak jest prac badawczych ukierunkowanych na analizę jednoczesnego wpływu CO<sub>2</sub> i BMI na odczucia cieplne pod kątem modyfikacji modelu komfortu cieplnego.
- e) W obliczeniach wg modelu Fanger'a powszechnie stosuje się przybliżenie co do ujednoczonego ubioru osób w danym pomieszczeniu tj. zakłada się np. „ubiór letni”, „ubiór zimowy” i przyjmuje się wartość przybliżoną oporu termicznego odzieży. Może to wpływać na niedokładność obliczeń wg. modelu Fanger'a. Stąd należy opracować bazę eksperymentalną zawierającą szczegółowe wartości oporu cieplnego każdej osoby, uczestniczącej w badaniach i stosować do analiz i obliczeń wartości rzeczywiste, co umożliwi precyzyjniejszą ocenę wrażeń termicznych i wpływu parametrów mikroklimatu na komfort cieplny.

#### **4. Cele i tezy pracy**

W oparciu o przegląd literatury wyznaczono następujące cele pracy:

1. Wykonanie badań ankietowych odczuć cieplnych dla dużej grupy osób z uwzględnieniem danych umożliwiających obliczenie indeksu BMI i oporu cieplnego odzieży każdego uczestnika badania, przy jednoczesnym pomiarze parametrów mikroklimatu pomieszczeń (w tym stężenie dwutlenku węgla, natężenia oświetlenia) i parametrów geometrycznych pomieszczeń w celu określenia wielkości liczby osób przypadających na jednostkę kubatury.
2. Określenie czynników, wpływających na odczucia cieplne, a nie uwzględnionych w modelu Fanger'a.
3. Modyfikacja wskaźników PMV i PPD w oparciu o własne dane eksperymentalne.

Przyjęto następujące tezy pracy:

1. Dodatkowymi czynnikami, nie uwzględnionymi w modelu Fangera, a wpływającym na odczucia cieplne są: stężenie dwutlenku węgla w pomieszczeniu, wartość indeksu BMI osób tam przebywających, liczba osób na jednostkę kubatury, natężenie oświetlenia.
2. Wskaźniki PMV i PPD nie przewidują w sposób prawidłowy rzeczywistych odczuć cieplnych.
3. Możliwe jest opracowanie modyfikacji modelu Fangera poprzez uwzględnienie w nim dodatkowych czynników wpływających na komfort cieplny i dobranie stałych eksperymentalnych w celu poprawy dokładności przewidywania wskaźników PMV i PPD.

## **5. Badania eksperymentalne**

### **5.1. Przedmiot i zakres badań**

Badania komfortu cieplnego przeprowadzono w centralno–środkowej części Polski w województwie Świętokrzyskim w terminie od 19.03.2021 r. do 28.06.2022 r. w budynkach użyteczności publicznej, na Politechnice Świętokrzyskiej tj. w budynku Energis (Wydział Inżynierii Środowiska, Geodezji i Energetyki Odnawialnej), w budynku A (Wydział Budownictwa i Architektury), w budynku B (Wydział Mechatroniki i Budowy Maszyn), w budynku C (Wydział Zarządzania i Modelowania Komputerowego), a także na Uniwersytecie Jana Kochanowskiego w Kielcach tj. w budynku B (Wydział Administracji i Prawa) oraz w budynku na Wydziale Pedagogiki i Psychologii część A i B.

Największą liczbę badań (tj. 67 na 92) wykonano w inteligentnym budynku Energis. Budynek inteligentny posiada wentylację mechaniczną oraz system BMS (Building Manager System) zarządzający całym budynkiem [132,133], który jest integralną częścią Politechniki Świętokrzyskiej. Budynek został wybudowany w 2012 roku. Wewnątrz budynku znajdują się 22 sale lekcyjne oraz biura pracowników a także laboratoria do prowadzenia badań. Budynek posadowiony jest na fundamentach żelbetowych o grubości 60 cm. Ściany zewnętrzne, ściany wewnętrzne nośne i ściany wewnętrzne działowe są murowane z pustaków ceramicznych o grubości 25 i 30 cm oraz płyt gipsowo-kartonowych grubości 12,5 cm. Ściany zewnętrzne ocieplone są wełna mineralną gr. 25 cm, zaś izolacja termiczna stropodachu - polietylen ekspandowany gr. 35 cm. Współczynnik przenikania ciepła przez ściany zewnętrzne  $U = 0,17$   $W/m^2K$ . Jego powierzchnia zabudowy wynosi 925  $m^2$ , powierzchnia całkowita - 6 288,92  $m^2$ ,

powierzchnia użytkowa - 5 121,24 m<sup>2</sup> oraz kubatura - 21 211 m<sup>3</sup>. Omawiany budynek przedstawiono na fotografii 1 (Fot. 1).



**Fot. 1. Budynek dydaktyczny Energis, Wydział Inżynierii Środowiska, Geomatyki i Energetyki na Politechnice Świętokrzyskiej w Kielcach.**

Badania wykonano również na innych wydziałach Politechniki Świętokrzyskiej, tj. na Wydziale Budownictwa i Architektury, Mechatroniki i Budowy Maszyn oraz Zarządzania i Modelowania Komputerowego. Kampus Politechniki Świętokrzyskiej pochodzi z drugiej połowy lat siedemdziesiątych, gdzie znajdują się 4 budynki dydaktyczne wraz z halami laboratoryjnymi.



a)



b)



c)

**Fot. 2. a) Budynek dydaktyczny A (Wydział Budownictwa i Architektury), b) budynek B (Wydział Mechatroniki i Budowy Maszyn), budynek C (Wydział Zarządzania i Modelowania Komputerowego).**

Budowa powyższych budynków rozpoczęła się w 1965 roku, zaś rok zakończenia budowy dla poszczególnych budynków na powyższej fotografii to: a) 1976r., b) 1985 r., c) 1970 r.). Budynki dydaktyczne na fotografii 2 posiadają wentylacje mechaniczną (dla auli), odciągi

miejscowe (w laboratoriach) oraz wentylację grawitacyjną (w salach dydaktycznych). Każdy budynek posiada 5 pięter oraz piwnice. Wspomniane obiekty przeszły główny remont w latach 2004-2006, który obejmował: docieplenie ścian zewnętrznych i stropu ostatniej kondygnacji, wymiana okien, wymiana centralnego ogrzewania, remont łazienek. W tym czasie również została zmodernizowana wentylacja grawitacyjna dla auli głównych, odciągi z piwnic a także wentylacja w laboratoriach. Ściany zewnętrzne ocieplone są styropianem gr.13 cm, stropodach częściowo wełną mineralną gr. 16 cm. W latach 2009-2013 przeprowadzona została modernizacja budynków.

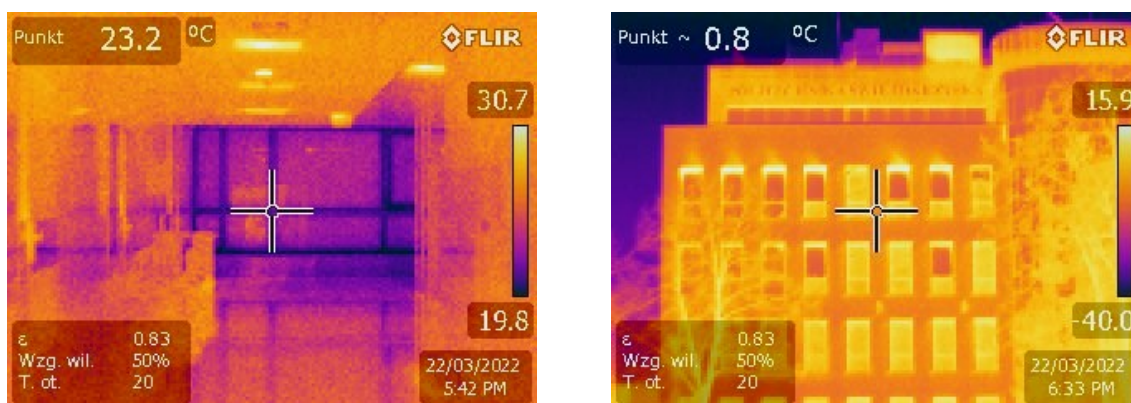
Budynek Uniwersytetu Jana Kochanowskiego w Kielcach, w którym prowadzono badania, powstał w 1953 roku jako Wydział Pedagogiczny i oddany do użytku przez Uczelnię w 1970 roku. Od 1 października 2019 roku omawiany budynek funkcjonuje jako Wydział Pedagogiki i Psychologii. Obiekt znajduje się na ulicy Krakowskiej 11 od strony północnej. Budynek posiada w części A: 2 piętra (cztery kondygnacje), w części B: 3 piętra (cztery kondygnacje); sale dydaktyczne - 43; aule - brak (3 w CEART). Budynek posadowiony jest na fundamentach żelbetowych, natomiast ściany zewnętrzne, ściany wewnętrzne nośne i ściany wewnętrzne działowe są murowane z bloczków wapienno-piaskowych, a stropy międzykondygnacyjne i stropodach typu AKERMAN. Izolacja termiczna stropodachu - wełna mineralna, izolacja termiczna ścian zewnętrznych styropianu oraz współczynnik przenikania ciepła przez ściany zewnętrzne wynosi  $U = 0,22 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Konstrukcja dachu jest drewniana, kryta papą. Budynek w 2018 roku przeszedł remont i został ocieplony styropianem - 14 cm. Posiada wentylację grawitacyjną (kratki i wywietrzniki w oknach). Jego powierzchnia zabudowy to  $1\,540 \text{ m}^2$ , powierzchnia całkowita -  $5\,529 \text{ m}^2$ , powierzchnia użytkowa -  $5\,306 \text{ m}^2$  oraz kubatura -  $21\,710 \text{ m}^3$ .



**Fot. 3. Budynek dydaktyczny Uniwersytetu Jana Kochanowskiego Kielcach na Wydziale Pedagogiki i Psychologii.**



W trakcie realizacji prac badawczych przeprowadzono również analizę termiczną budynku za pomocą kamery termowizyjnej Flix E30bx pod kątem indentyfikacji ewentualnych mostków cieplnych, które stanowią źródło strat ciepła. Na poniższej fotografii (Fot. 4) pokazano przykładowe termogramy dla budynku Energis.



**Fot. 4. Termogramy budynku dydaktycznego Energis na Politechnice Świętokrzyskiej w Kielcach.**

Znaczących mostków cieplnych nie stwierdzono, co świadczy o tym że budynek został dobrze ocieplony, a grubość styropianu odpowiednio dobrana. Analizie obrazów termograficznych budynku Energis poświęcono pracę własną [27].

Dodatkowo i uzupełniająco pomiar mikroklimatu odbył się w komorze klimatycznej. Komora ma możliwość regulowania temperatury, gdzie w badaniu przyjęto zakres od 19°C do 28°C (skok co 1°C) oraz wilgotności od 20% do 70%. Komora klimatyczna składa się z dwóch komór. Pierwsza z nich jest większa o wymiarach 2,70×1,80×2,30 m<sup>3</sup> i zakres pracy dla zadanej temperatury wynosi od -30°C do +80°C, a dla wilgotności od 10% do 98%. Powierzchnia drugiej mniejszej komory wynosi 2,25×1,80×2,30 m<sup>3</sup>. Temperaturę powietrza dla drugiej komory można regulować od -5°C do 50°C oraz wilgotności od 10% do 98%. Poniżej na Fot. 5 pokazano zdjęcie komory klimatycznej.



**Fot. 5. Komora klimatyczna znajdująca się na hali budynku A Politechniki Świętokrzyskiej.**

## **5.2. Metodyka badawcza**

### **5.2.1. Procedura badawcza**

Badania polegały na analizie percepcji środowiska wewnętrznego badanej grupy społecznej dla wybranych 6 budynków. Badania zostały przeprowadzone dwoma metodami, tj. jako pomiar parametrów mikroklimatu za pomocą specjalistycznego sprzętu: miernika Testo 400 i jego sond oraz wykonaniu wraz z analizą anonimowych ankiet, uzupełnionych przez respondentów w czasie badań. Ocena komfortu cieplnego została dokonana przez 1302 użytkowników, w tym 640 kobiet i 662 mężczyzn.

W rozdziale 5.3.2. znajdują się wyniki dotyczące badań w komorze klimatycznej, która składa się z dwóch komór. Badania w komorze klimatycznej przeprowadzono w dwóch wariantach, tzn. dla ubioru letniego i zimowego. Ankietowani swoje odczucia ciepłe przedstawiają w formie odpowiedzi na pytania zawarte w ankiecie dotyczące ich aktualnych wrażeń termicznych. Jednocześnie rejestrowano za pomocą miernika Testo 400 parametry mikroklimatyczne. Miernik wyposażony jest w precyzyjne sondy temperatury powietrza i czarnej kuli, wilgotności i prędkości powietrza, a także stężenia dwutlenku węgla. Na podstawie pomiarów mikroklimatu i ocen zawartych w ankietach można określić w dalszej części pracy wskaźniki PMV i PPD wg normy PN-EN ISO 7730, a także porównać ich wartości z rzeczywistymi odczuciami rejestrowanymi w ankietach. W badaniu udział wzięło 8 osób w wieku od 22 do 29 lat.

Pierwszą czynnością, rozpoczynającą badania było włączenie miernika i umieszczenie go na środku pomieszczenia/komory na wysokości osób siedzących oraz ustabilizowanie parametrów zebranych z zamknięte środowisko. Po około 15 minutach wyniki zostały zapisane.

W tym czasie ankiety zostały rozdane respondentom do wypełnienia, a następnie zebrane do analizy.

### 5.2.2. Miernik mikroklimatu

Do badań wykorzystano specjalistyczny sprzęt do odczytu parametrów mikroklimatu. Miernik Testo 400 pobierał dane o warunkach mikroklimatu panujące w pomieszczeniu z sond umieszczonych na statywie. Zarejestrowane zostały takie parametry jak: temperatura powietrza, prędkość powietrza, temperatura czarnej kuli, wilgotność względna, stężenie CO<sub>2</sub> oraz natężenie oświetlenia. Poniżej przedstawiono miernik Testo 400 na Fot. 6 z zaznaczonymi sondami w sali lekcyjnej oraz komorze klimatycznej.



a)



b)

**Fot. 6. Zdjęcie urządzenia pomiarowego Testo 400 z sondami: a) w pomieszczeniu dydaktycznym, b) w komorze klimatycznej.**

Pomiar prędkości powietrza odbywał się korzystając z anemometru, który na fot. 6 zaznaczono „3”. Jego dokładność wynosi  $\pm 0,03 \text{ m/s} + 4\%$  mierzona wartość. Średnią temperaturę promieniowania badano czarną kulą, oznaczono „1” na fot. 6. Błąd pomiarowy wynosi  $\pm 1,5^\circ\text{C}$ . Miernik pobiera również informacje na temat ilości natężenia światła. Dokładność podana przez producenta miernika dla sondy natężenia oświetlenia (na fot. 6. oznaczono „2”) wg katalogu wynosi 6%. Pomiar temperatury powietrza i wilgotności względnej wykonano przy pomocy termohigrometru, na fotografii sondę oznaczono „5”. Temperatura powietrza została zmierzona z dokładnością  $\pm 0,3 \text{ }^\circ\text{C}$ , zaś dokładność z jaką podawana jest wilgotność względna to  $\pm 0,6\%$  wilgotności względnej  $+0,7\%$  mierzonej wartości. Pomiar stężenia CO<sub>2</sub> wykonuje specjalna sonda, oznaczona „4” na fot. 6,

z dokładnością  $\pm 50\text{ppm} + 3\%$  mierzonej wartości. Błędy podano wg danych producenta [134]. Wszystkie sondy zostały umieszczone na specjalnym statywie, a następnie podłączone do wielofunkcyjnego miernika, zaznaczono „6” na fot. 6. Wartości badanych parametrów odczytano po 15 minutach ustabilizowania się parametrów. Miernik Testo 400 w czasie badań umieszczony był w centralnej części badanych sal wykładowych, na wysokości około 1,0 – 1,2 m. Kompletnie stanowisko pomiarowe przedstawiono na fot. 7, 8 i 9.



**Fot. 7. Zdjęcie stanowiska pomiarowego w budynku dydaktycznym Energis.**



**Fot. 8. Zdjęcie stanowiska pomiarowego w budynku dydaktycznym C na Wydziale Zarządzania i Modelowania Komputerowego Politechniki Świętokrzyskiej.**



Fot. 9. Zdjęcie stanowiska pomiarowego w budynku dydaktycznym Uniwersytetu Jana Kochanowskiego w Kielcach.

### 5.2.3. Ankieta użytkowników pomieszczeń

W czasie, gdy parametry były rejestrowane przez miernik, osoby przebywające w badanym pomieszczeniu wypełniały anonimową ankietę. Ankieta wypełniana przez studentów i wykładowców pozwoliła na ocenę komfortu cieplnego w pomieszczeniu, w którym przebywali. Przed wypełnieniem ankiet, każdy z ochotników został poinformowany o sposobie wypełnienia ankiety. Ankieta składała się z czternastu pytań, w których respondenci odpowiadali na pytania dotyczące oceny temperatury, swoich odczuć, upodobań termicznych, ubioru czy samopoczucia. Dodatkowo ankieta zawierała pytania związane z aktywnością fizyczną oraz zdrowia. Jest to istotne, ponieważ oba te czynniki mają duży wpływ na postrzeganie panujących warunków wewnętrznych, które mogą być interpretowane przez respondentów w sposób błędny i nierzetelny. Takie ankiety są odrzucane i niebrane pod uwagę do dalszej analizy. Na podstawie pytania o zdrowie i aktywność fizyczną odrzucono 108 ankiet, ponieważ istniało prawdopodobieństwo zaburzenia odczuć cieplnych związanych ze zwiększonym metabolizmem, a ankiety osób chorych nie są miarodajne. W ankiecie znalazło się również pytanie odnoszące się do odzieży grupy badawczej, co umożliwiło określenie średniego poziomu izolacyjności ubioru. Do wartości oporów cieplnych dodano opór cieplny krzesła biurowego, który wynosi 0,1 clo. Na końcu ankiety respondenci określali w metryczce swój wiek, płeć, wagę oraz wzrost. Jest to istotne, aby obliczyć wskaźnik masy ciała BMI (Body Mass Index), czyli podzielenie masy ciała podanej osoby w kilogramach przez kwadrat wysokości podanej w metrach. Ankietę opracowano opierając się na danych literaturowych innych badaczy, którzy wykorzystywali to narzędzie w swoich badaniach tj. m.in. [2,23,48,104,111,135,136], którą można zobaczyć poniżej.

**1. Jak oceniasz swoje odczucie ciepłe w tej chwili?**

- zbyt gorąco (+3)
- za ciepło (+2)
- przyjemnie ciepło (+1)
- komfortowo (0)
- przyjemnie chłodno (-1)
- za chłodno (-2)
- zbyt zimno (-3)

**2. Jak oceniasz aktualną temperaturę w tym pomieszczeniu?**

- komfortowa (+2)
- akceptowalna (czyli jeszcze do przyjęcia) (+1)
- nieprzyjemna (czyli już nie do przyjęcia) (-1)
- zdecydowanie nieprzyjemna (-2)

**3. Chciałbym/Chciałabym, aby teraz w tym pomieszczeniu było:**

- zdecydowanie cieplej (+2)
- cieplej (+1)
- bez zmian (0)
- chłodniej (-1)
- zdecydowanie chłodniej (-2)

**4. Jak oceniasz wilgotność powietrza w tej chwili?**

- zbyt wilgotno (+2)
- dość wilgotno (+1)
- przyjemnie (0)
- dość sucho (-1)
- zbyt sucho (-2)

**5. Chciałbym/Chciałabym, aby teraz powietrze w tym pomieszczeniu było:**

- bardziej wilgotne (+1)
- bez zmian (0)
- bardziej suche (-1)

**6. Jak oceniasz oświetlenie w tym pomieszczeniu?**

- zbyt mocne (+1)
- odpowiednie (0)
- zbyt słabe (-1)

**7. Jak oceniasz swoją aktualną produktywność (zdolność do przyswajania wiedzy)?**

- wysoka (czyli lepsza niż zwykle) (+1)
- normalna (czyli taka jak zwykle) (0)
- słaba (czyli gorsza niż zwykle) (-1)

**8. Jaka była Twoja aktywność fizyczna w czasie 30 min przed przyjściem do tego pomieszczenia?**

- intensywny wysiłek fizyczny (np. dźwiganie ciężkich przedmiotów, aerobik, szybki bieg) (-2)
- umiarkowany wysiłek fizyczny (np. noszenie lżejszych ciężarów, jazda rowerem, szybki marsz) (-1)
- spacer, który trwał co najmniej 10 minut (0)
- siedzenie (+1)

9. Jak oceniasz jakość powietrza w tym pomieszczeniu?

- bardzo dobra (+2)
- dobra (+1)
- ani dobra ani zła (0)
- zła (-1)
- bardzo zła (-2)

10. Jak ogólnie czujesz się w tym pomieszczeniu:

- bardzo dobrze (+2)
- dobrze (+1)
- obojętnie (0)
- źle (-1)
- bardzo źle (-2)

11. Czy aktualnie jesteś przeziębiony/chory?  tak  nie

12. Czy po przebywaniu w tym pomieszczenia pojawiły się u Ciebie jakieś dolegliwości? Jeśli tak, to jakie?.....

13. Czy w tym pomieszczeniu są inne źródła dyskomfortu (np. hałas, przeciąg, itp.)? Jeśli tak, to jakie?.....

14. Proszę zaznaczyć swoje aktualne ubranie:

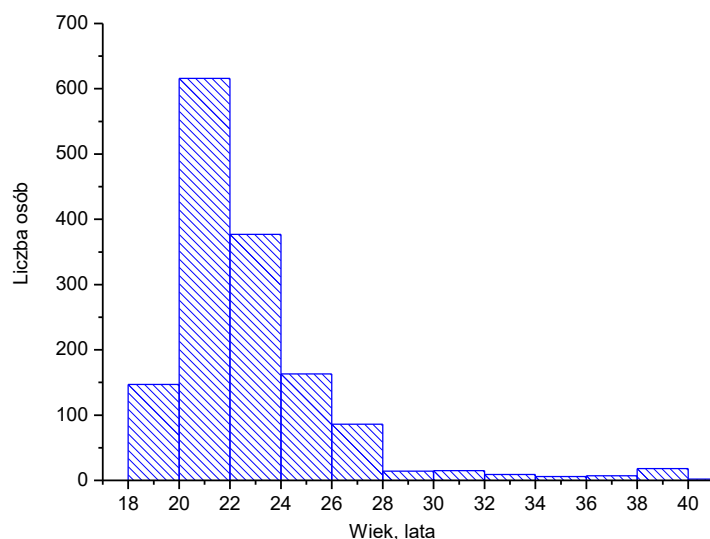
- a)  podkoszulek bez rękawów  podkoszulek z krótkim rękawem  
 podkoszulek z długim rękawem
- b)  rajstopy cienkie  rajstopy grube  
 skarpety cienkie  skarpety grube
- c)  koszula cienka z krótkim rękawem  koszula cienka z długim rękawem  
 koszula gruba z krótkim rękawem  koszula gruba z długim rękawem  
 bluza cienka  bluza gruba  
 sweter/golf cienki  sweter/golf gruby  
 marynarka cienka  marynarka gruba  
 kurtka/płaszcz cienki  kurtka/płaszcz gruby
- d)  spodnie cienkie  spodnie grube  
 krótkie spodenki  spódnica gruba  
 spódnica cienka  sukienka gruba  
 sukienka cienka
- e)  sandały/japonki  trampki/tenisówki  
 półbuty/pantofle  kozaki krótkie/buty do kostek  
 kozaki długie

Metryczka:

Płeć:	<input type="checkbox"/> kobieta	<input type="checkbox"/> mężczyzna	Wzrost [cm]:
Wiek w latach ukończonych:			Waga [kg]:

#### 5.2.4. Ankietowani

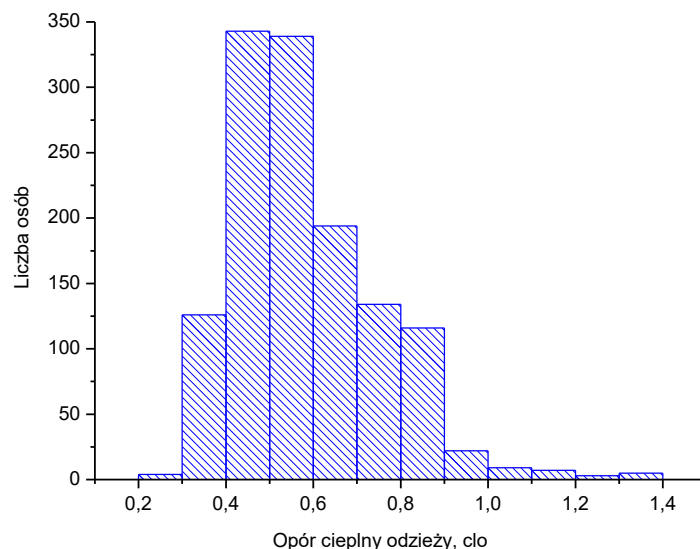
W omawianych budynkach wzięło udział łącznie 1302 ochotników w wieku od 19 do 31 lat oraz osiem kobiet w wieku 33, 36, 27, 38, 39, 40, 42, 43, dwie w wieku 48, jedna w wieku 58 i 65 oraz trzech mężczyzn w wieku 41, 51 i 52 lat. Rys. 1 przedstawia histogram wieku uczestników badań w salach dydaktycznych wszystkich budynków (ograniczono się do wieku 40 w celu lepszej widoczności, powyżej 40 lat miało tylko 9 osób na 1302 wszystkich).



**Rys. 1. Histogram wieku uczestników.**

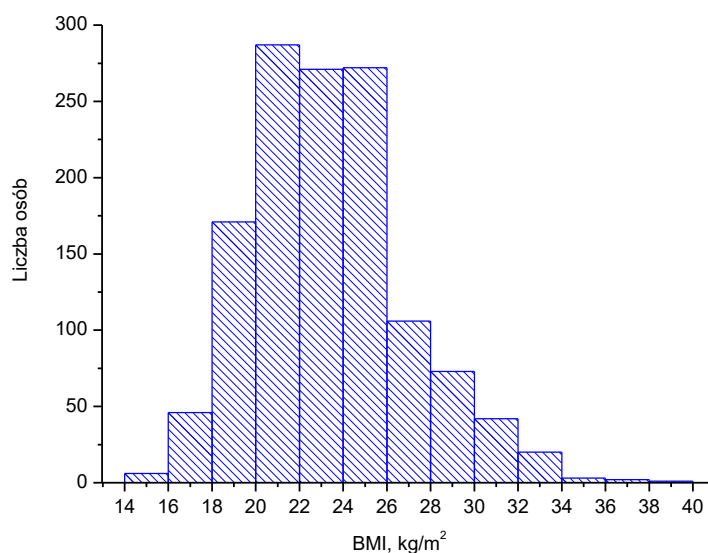
Badania zostały przeprowadzone na terenie kampusu Politechniki Świętokrzyskiej i Uniwersytetu Jana Kochanowskiego, co skutkowało przeważającym udziałem respondentów w wieku od 20 do 24 lat. Rys. 2 przedstawia histogram oporu cieplnego ubioru ochotników (dane dla całego okresu badawczego).





**Rys. 2. Histogram oporu cieplnego odzieży badanych uczestników.**

Powyższy wykres (Rys. 2) przedstawia opór cieplny odzieży dla 1302 badanych osób, na którym można zauważyć, że najwięcej uczestników miała na sobie ubiór o oporze cieplnym w przedziale 0,4 – 0,6 clo (649 osób). Następnie 361 osób w przedziale 0,6 – 0,8 clo. Najmniej osób było ubranych przy oporze cieplnym odzieży wynoszącym 0,2 – 0,3 oraz 0,9-1,4. Średnia wartość oporu cieplnego dla wszystkich pomieszczeń znajduje się w przedziale od 0,41 clo do 0,88 clo. Kolejny wykres (Rys. 3) prezentuje wartość BMI wyznaczaną dla każdej osoby jako iloraz masy i kwadratu wysokości.



**Rys. 3. Histogram BMI badanych uczestników.**

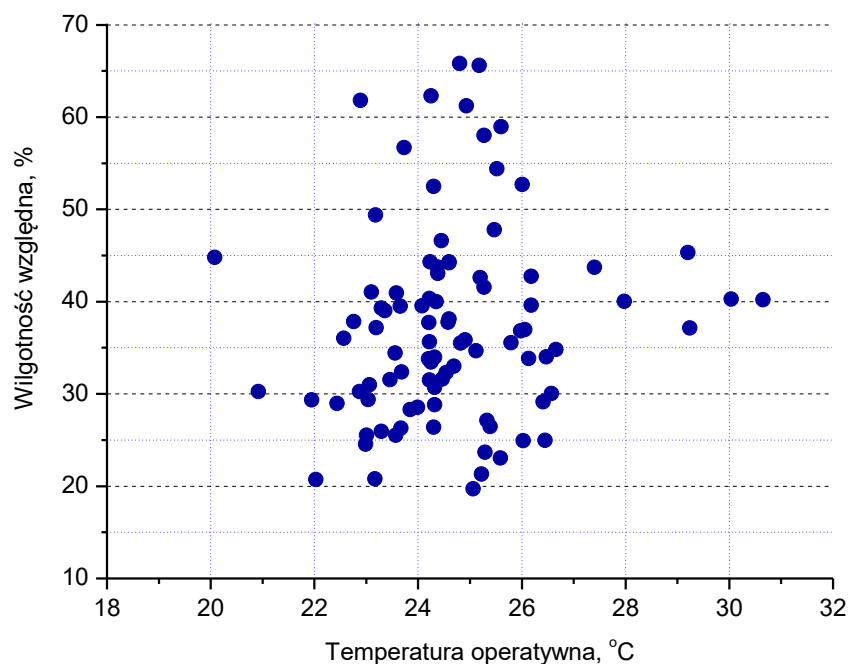
Na powyższym rysunku przedstawiono wskaźnik BMI dla 1302 osób. Z histogramu można zauważyć, że głównie BMI w przedziale od 20 do 26 kg/m<sup>2</sup> jest na podobnym poziomie, czyli dla około 270 osób. Tylko jedna osoba ma powyżej 38 kg/m<sup>2</sup>.

### 5.3. Wyniki badań eksperymentalnych i ich analiza

#### 5.3.1. Badania w budynkach użyteczności publicznej

##### 5.3.1.1. Parametry mikroklimatu w badanych pomieszczeniach

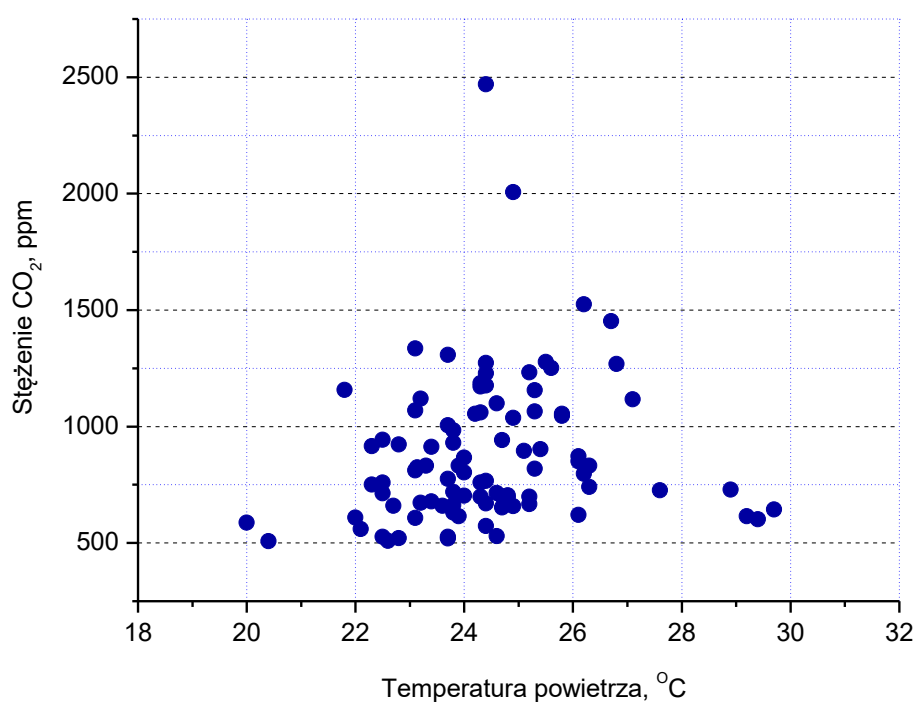
Wyniki badań eksperymentalnych przeprowadzono dla 6 budynków powiatu kieleckiego. Tylko jeden budynek posiada wentylację mechaniczną, zaś w pozostałych wymiana powietrza odbywa się za pomocą wentylacji naturalnej. Badania prowadzono dwoma metodami, poprzez wypełnienie ankiet przez respondentów oraz pomiary parametrów powietrza w pomieszczeniach. Do wyznaczenia parametrów powietrza wykorzystano miernik mikroklimatu. Tak jak już opisano to w rozdziale 5.2.2, sondy umieszczono na wysokości siedzących osób ankietowych, na poziomie termicznego środka ciężkości. Mierzono takie parametry jak: temperaturę i prędkość powietrza, temperaturę czarnej kuli, wilgotność względną, stężenie dwutlenku węgla, a także natężenie światła. Poniżej na rysunku (Rys. 4) pokazano wykres wilgotności względnej powietrza i temperatury operatywnej, która zgodnie z [33] została wyliczona za pomocą średniej arytmetycznej średniej temperatury promieniowania i temperatury powietrza w badanych pomieszczeniach.



Rys. 4. Wykres wilgotności względnej powietrza i temperatury operatywnej dla 92 pomieszczeń.

Powyższy wykres przedstawia wilgotność względną powietrza i temperatury operatywnej przeprowadzoną dla 92 pomieszczeń. Wilgotność zawierała się w przedziale 20-66%. Wyniki pokazują, że dla 17 pomieszczeń temperatura operacyjna jest powyżej 26°C. W odniesieniu do wilgotności względnej w 9 przypadkach jest ona poniżej 25%. Zbyt niska wilgotność może negatywnie wpłynąć na organizm ludzki, powodując ryzyko infekcji dróg oddechowych, alergii i astmy, powodując dyskomfort, a co za tym idzie pogorszenie samopoczucia i produktywności (lub pogorszenie stanu zdrowia na dłuższy okres czasu).

W czasie wykonywanych badań została zmierzona również wartość stężenia dwutlenku węgla, co pokazano na Rys. 5.



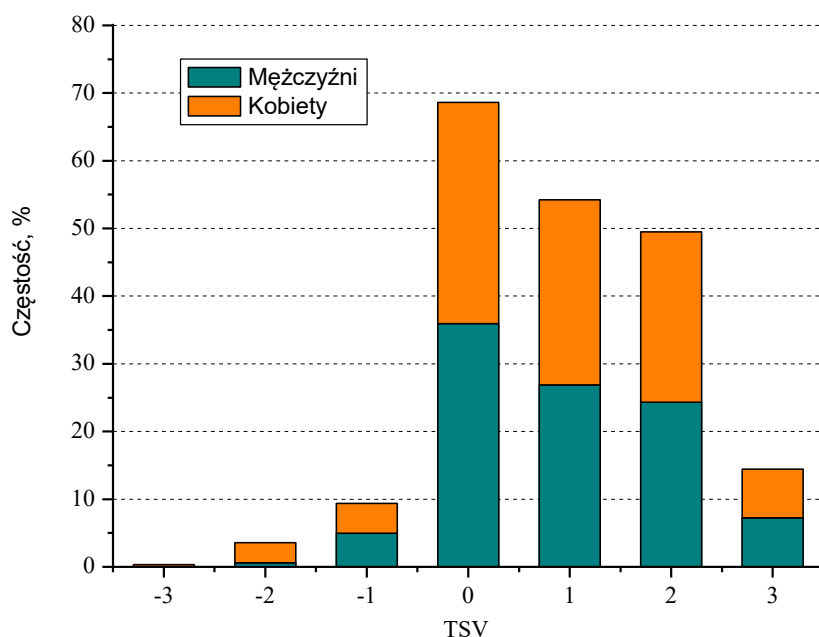
**Rys. 5. Stężenie dwutlenku węgla i temperatury powietrza dla 92 pomieszczeń.**

Na zaprezentowanym wykresie znajdują się dane dotyczące stężenia dwutlenku węgla i temperatury powietrza w badanych pomieszczeniach. Stężenie CO<sub>2</sub> ma znaczący wpływ na jakość powietrza w badanych pomieszczeniach. Dopuszczalna wartość dwutlenku węgla zależy od kategorii budynku. Dla budynków użyteczności publicznej (II kategorii) podano dopuszczalną wartość stężenia CO<sub>2</sub>, która wynosi 800 ppm + poziom CO<sub>2</sub> w powietrzu zewnętrznym [25]. Generalnie można zauważyć umiarkowany poziom stężenia CO<sub>2</sub>. Natomiast tylko w dwóch pomieszczeniach stężenie dwutlenku węgla było powyżej 2000 ppm. Zależność stężenia CO<sub>2</sub> od temperatury powietrza jest ważna, ponieważ dwutlenek węgla jest nieco cięższy od powietrza, nie ma smaku ani zapachu, działa dusząco na organizm ludzki. Gdy

w pomieszczeniach zamkniętych jest wyższa temperatura powietrza, ludzie oddychają ciężiej, biorą głębokie wdechy i wydechy, przez co wydychają znacznie więcej dwutlenku węgla. Pośredni wpływ na emitowaną ilość dwutlenku węgla ma temperatura, gdyż w miarę jej wzrostu wzrasta częstotliwość oddechów. Wysokie stężenie CO<sub>2</sub> ma niekorzystny wpływ na zdrowie człowieka.

### 5.3.1.2. Wrażenia termiczne (TSV), akceptowalność (TAV) i preferencje (TPV) użytkowników

Wyniki uzyskane na podstawie ankiet pozwoliły na ocenę wrażeń cieplnych w badanych pomieszczeniach przez respondentów. W pierwszej kolejności ankietowani zostali zapytani o swoje odczucia (TSV - Thermal Sensation Vote), które zawierają się w siedmiopunktowej skali zgodnie z normą ASHRAE Standard 55-2017 [104] i z normą PN-EN ISO 7730 [3]. Na osi x wartości te oznaczają: „-3” – za zimno, „-2” – za chłodno, „-1” – przyjemnie chłodno, „0” – komfortowo, „1” – przyjemnie ciepło, „2” – za ciepło, „3” – za gorąco. Pytanie brzmiało: „Jak oceniasz swoje odczucie ciepłe w tej chwili?”. Poniżej na Rys. 6 przedstawiono wykres obrazujący częstość udzielonej odpowiedzi dotyczących wrażeń termicznych odczuwanych przez ankietowanych z podziałem na mężczyzn i kobiety.

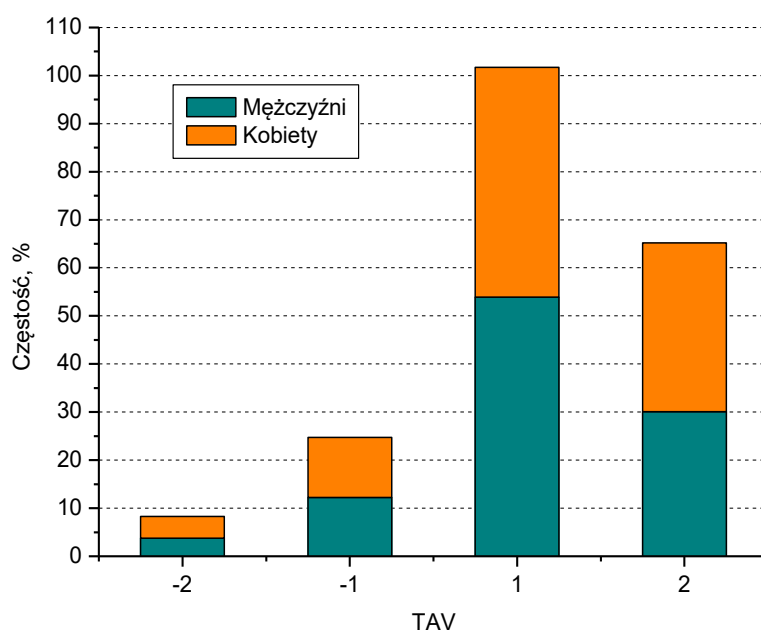


**Rys. 6. Częstość udzielonej odpowiedzi przez ankietowanych odnośnie wrażeń termicznych.**

Generalnie można zauważyć, że ankietowani wskazywali na to, że w pomieszczeniach jest ciepło (dodatnie wartości TSV). Wynika to zapewne z panującej temperatury w pomieszczeniach, które najczęściej była w zakresie 22 – 26°C, lub nawet powyżej (jak

pokazano na rys. 5). Jednocześnie widać, że odpowiedzi są niemal identyczne bez względu na płeć. Z powyższego wykresu można zauważyć, że najczęściej wybieraną odpowiedzią przez respondentów była 0 wykazując, że 32,66% kobiet i 35,95% mężczyzn czuło się komfortowo w badanych pomieszczeniach. Kolejno ankietowani wybierali odpowiedź „+1” (przyjemnie ciepło), która stanowi 27,34% dla kobiet i 26,89% dla mężczyzn. Należy też zauważyć, że pozostałe osoby nie czuły się dobrze w badanych warunkach klimatycznych (liczba głosów -3, -2, +3, +2). Według norm [3,25] odsetek osób niezadowolonych (PPD) z mikroklimatu w budynkach II kategorii nie powinien przekraczać 10%. PPD liczone jest jako procent wyboru odpowiedzi -3, -2, +3, +2.

Dodatkowo w ankiecie znalazło się pytanie oceniające aktualną temperaturę w badanych pomieszczeniach. Ankietowani na pytanie „Jak oceniasz aktualną temperaturę w tym pomieszczeniu?” mieli do wyboru cztery odpowiedzi, gdzie wartości ujemne oznaczają nieprzyjemne, a wartości dodatnie komfortowe i akceptowalne (TAV – Thermal Acceptability Vote).

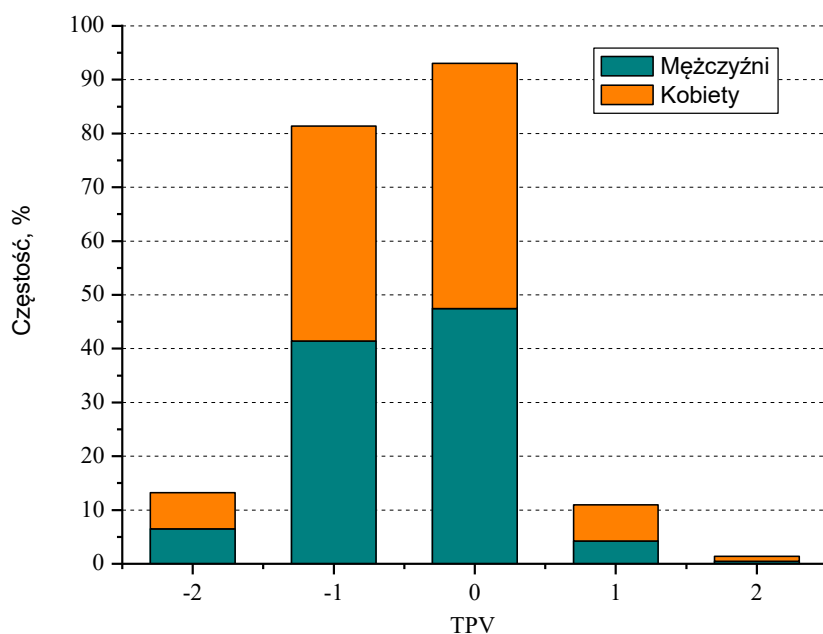


**Rys. 7. Częstość udzielonej odpowiedzi przez ankietowanych odnośnie odczuwanych temperatur.**

Wykres prezentuje procentową ocenę akceptacji warunków temperaturowych w badanych pomieszczeniach. Z przeprowadzonych badań wynika, że najczęstszą udzielaną odpowiedzią przez ankietowanych była odpowiedź, że warunki są akceptowalne „+1” lub nawet komfortowe „+2”. Ponad połowa mężczyzn (53,93%) udzieliła odpowiedzi „+1”, natomiast dla kobiet jest to 47,81%. Temperatura w badanych pomieszczeniach mieściła się

w zakresie od 20°C do 29,7°C przy prędkości powietrza od wynoszącej od 0,05 m/s do 0,21 m/s, co odwzorowuje ocenę aktualnej temperatury przez ankietowanych jako komfortową i akceptowalną. Warto też zauważyć, że 35,16% kobiet i 30,06% mężczyzn oceniło temperaturę powietrza jako komfortową, w przeciwieństwie do 12,24% kobiet i 12,24% mężczyzn oceniających ją jako nie do przyjęcia. Natomiast najmniej osób, czyli łącznie 8,41% dokonało oceny temperatury jako zdecydowanie nieprzyjemną. Brak akceptowalności warunków termicznych przez tak znaczną grupę osób łączy się najpewniej z ich negatywną oceną (Rys. 6) w zakresie przegrzania pomieszczeń (odpowiedzi „+2” i „+3” na Rys. 6). Chociaż brak akceptacji warunków środowiska dotyczy jednak mniejszej liczby osób niż wynikałoby to z Rys. 6. Można to tłumaczyć przyzwyczajeniem respondentów do warunków panujących w salach po często kilkuletnim okresie studiowania w danych budynkach i akceptacja takiego stanu rzeczy.

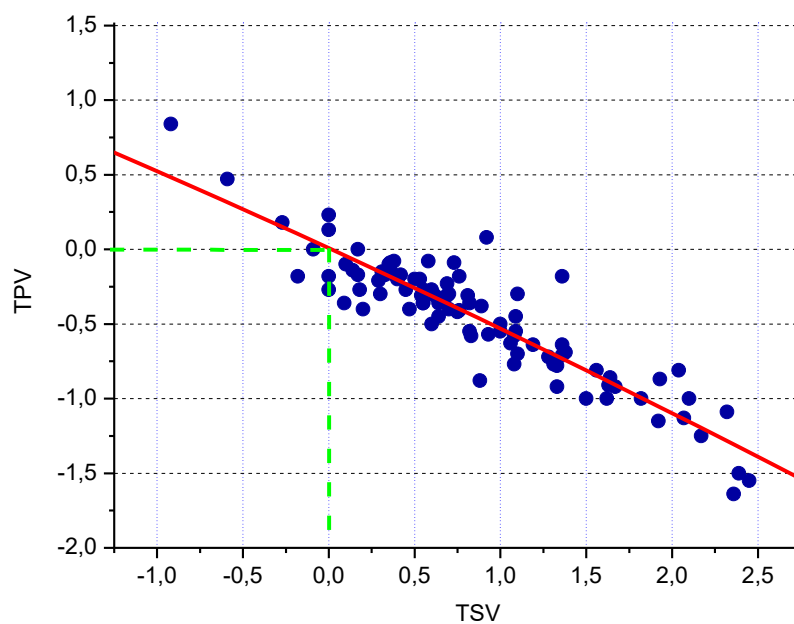
Kolejnym pytaniem nawiązującym do odczuć temperatury wewnątrz pomieszczeń są preferencje badanych osób (TPV – Thermal Preferences Vote) (Rys. 8).



**Rys. 8. Częstość udzielonej odpowiedzi przez ankietowanych odnośnie preferencji termicznych.**

Respondenci zapytani o preferencje dotyczące ewentualnej zmiany temperatury powietrza mieli do wyboru następujące odpowiedzi: „-2” – zdecydowanie chłodniej, „-1” – chłodniej, „0” – bez zmian, „1” – cieplej, „2” – zdecydowanie cieplej. Z wykresu widać, że większość ankietowanych to jest 292 kobiety z 640 (45,63% z wszystkich ankietowanych) i 314 mężczyzn z 662 (47,43%) przyznało, że chcieliby, aby panujące temperatury

w pomieszczeniach były bez zmian. Kolejno 274 mężczyzn, czyli 41,39% i 256 kobiet (40%) chcieliby, aby w badanych salach było chłodniej, zaś 6,50% mężczyzn i 6,72% kobiet zdecydowanie chłodniej. Niewiele procent kobiet (0,94%) i mężczyzn (0,45%) wybrało odpowiedź zdecydowanie ciepłej, a 6,72% kobiet i 4,23% mężczyzn ciepłej. Wyniki badań w tym zakresie są odzwierciedleniem Rys. 6. W związku z faktem, że wielu respondentów oceniło środowisko wewnętrzne jako zbyt ciepłe, to chcieliby zmniejszenie temperatury powietrza, co pokazuje Rys. 8 poprzez znaczną liczbę osób, które zaznaczyły odpowiedź (-1). Niewątpliwie zatem TSV i TVP muszą być ze sobą ściśle skorelowane, co potwierdza rysunek Rys. 9.



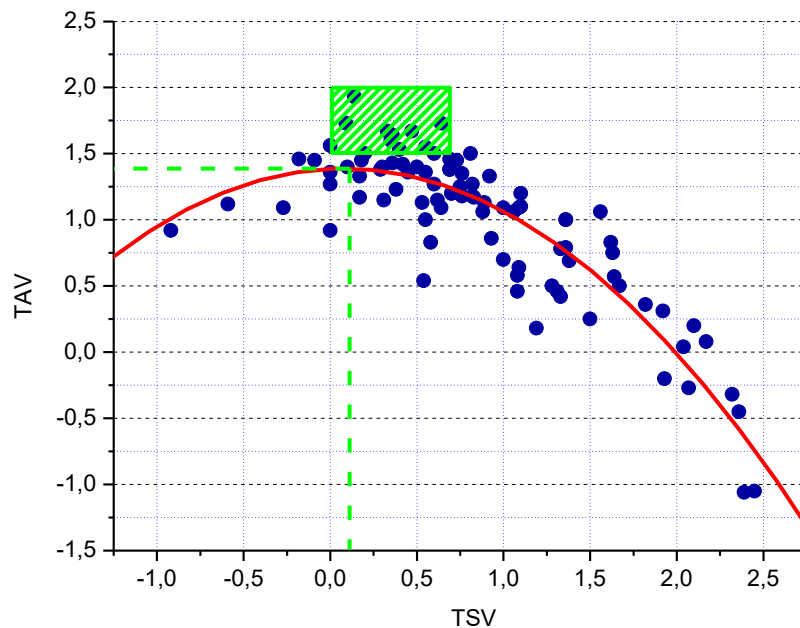
**Rys. 9. Zależność pomiędzy wrażeniami termicznymi (TSV) a preferencjami ankietowanych (TPV).**

Wykres prezentuje zależność między średnimi wrażeniami termicznymi a preferencjami na podstawie 1302 kwestionariuszy. Dla każdego z 92 pomieszczeń obliczono średnią ocenę TSV i TPV. Z powyższego wykresy wynika, że osoby, które czuły się komfortowo ( $TSV = 0$ ), chciałyby, aby w pomieszczeniach było bez zmian ( $TPV = 0$ ), co graficznie obrazuje przerywana linia zielona na wykresie. Aproksymacja liniowa 92 punktów określających wartości średnie z sal okazała się tak precyzyjna, że dla  $TSV = 0$  otrzymujemy dokładnie  $TPV = 0$ . Porównując rozkład wyników odnosząc się do wrażeń cieplnych (TSV) i głosów preferencji termicznych (TPV), można zauważyć, że większość badanych preferuje spadek temperatury w danym pomieszczeniu. Spowodowane jest to tym, że większość badań przeprowadzona była przy dość wysokiej temperaturze powietrza (rys. 5). Ogólnie rzecz biorąc,

podczas badań respondenci oceniali swoje środowisko termiczne jako ciepłe. Współczynnik determinacji dla tej zależności jest silny i wyniósł  $R^2 = 0,84$ , a korelacja dla tej zależności ma postać:

$$TPV = -0,5523 \cdot TSV + 0,0146 \quad (39)$$

Inną zależnością, która została pokazana na Rys. 10 jest zależność między wrażeniami termicznymi (TSV) a akceptowalnością termiczną (TAV), które również powinny być ze sobą silnie skorelowane.



**Rys. 10. Zależność pomiędzy wrażeniami termicznymi (TSV) a ocenie aktualnej temperatury (TAV).**

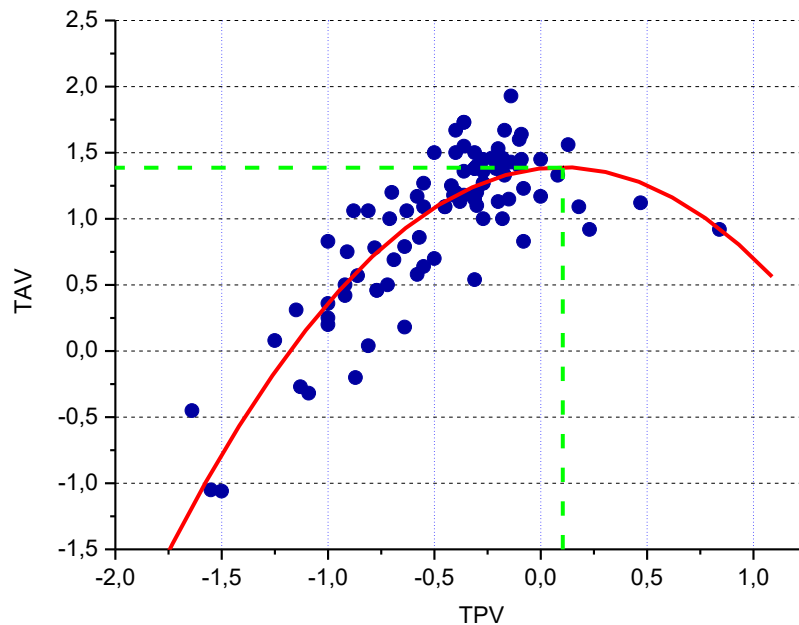
Wykres potwierdza poprawność wykonanych badań. Krzywa regresji dla 92 punktów pomiarowych uzyskuje wartość maksymalną TAV (czyli akceptowalność warunków termicznych jest najwyższa) dla wartości TSV około 0 (zielona linia przerywana), czyli w przypadku, gdy ankietowani oceniają środowisko termiczne jako neutralne/obojętne, czyli komfortowe. Współczynnik determinacji ma wartość  $R^2 = 0,80$ , a równanie krzywej regresji dla tej zależności ma postać:

$$TAV = -0,3779 \cdot TSV^2 + 0,0577 \cdot TSV + 1,3858 \quad (40)$$

Jednocześnie warto zauważyć, że najwyższa akceptowalność warunków termicznych przypadła na odpowiedzi TSV od 0 do +0,7 (obszar zakresowany na zielono). Należy to interpretować w ten sposób, że respondenci wolą środowisko cieplejsze niż chłodniejsze.



Kolejny Rys. 11 przedstawia związek między akceptowalnością temperatury a preferencjami, który wykazał, że gdy TAV jest w zakresie od 1 do 1,5, to respondenci nie chcą zmian swojego środowiska termicznego. Natomiast, gdy TAV jest poniżej tego zakresu, badani chcą, aby w pomieszczeniach było chłodniej.



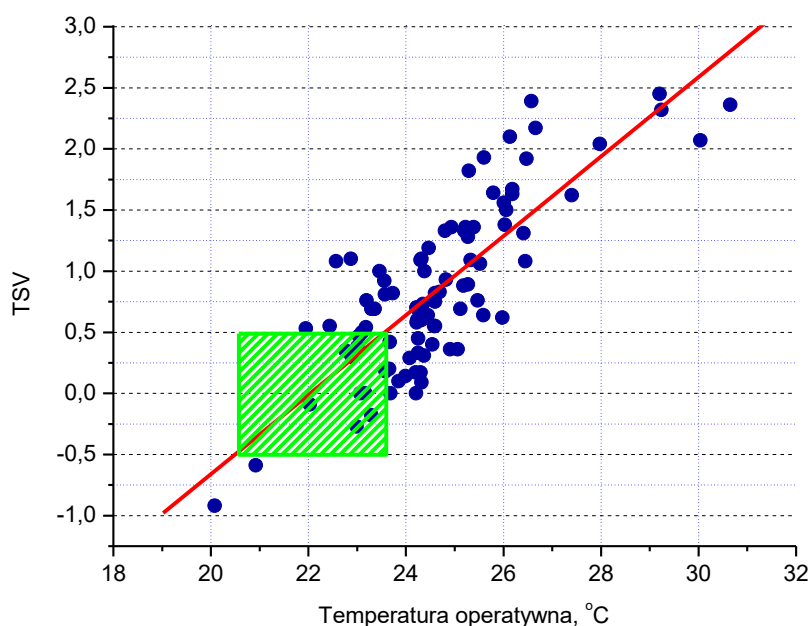
**Rys. 11. Zależność pomiędzy preferencjami (TPV) a oceną aktualnej temperatury (TAV).**

Krzywa regresji dla zależności między oceną aktualnej temperatury (TAV) a preferencjami (TPV) przedstawia się następująco:

$$TAV = -0,8489 \cdot TPV^2 + 0,171 \cdot TPV + 1,3858 \quad (41)$$

a współczynnik determinacji  $R^2 = 0,74$ . Z wykresu widać, że gdy ludzie wykazują największą akceptowalność warunków, to nie chcą zmian temperatury powietrza (TPV około zera – zielona linia przerywana). Z drugiej strony, jeśli nie akceptują warunków to TPV gwałtownie oddala się od wartości +0,5 w górę i od -0,5 w dół.

Wrażenia cieplne użytkowników pomieszczeń (TSV) zależały niewątpliwie od temperatury operatywnej, które uwzględnia w sobie zarówno temperaturę powietrza jak i temperaturę promieniowania. W celu weryfikacji tej tezy wykonano wykres (Rys. 12), gdzie znajdują się średnie wyniki wrażeń cieplnych dla 92 pomieszczeń oraz temperatura operatywna.



**Rys. 12. Zależność między głosem wrażenia termicznego a temperaturą operacyjną.**

Na powyższym wykresie znajduje się zależność między temperaturą operacyjną a średnimi wynikami głosowania termicznego przeprowadzonego w 92 pomieszczeniach. Należy zauważyć, że w przypadku głosowania na wrażenia termiczne wszystkie odpowiedzi osób powinny być uśrednione. Z wykresu można wywnioskować, że odczucia cieplne są w istocie ściśle związane z temperaturą operacyjną. Gdy ona rośnie, zwiększa się także średnia wartość TSV. Jednocześnie warto zauważyć, że najbardziej komfortowe warunki (czyli  $-0,5 < TSV < 0,5$  - obszar zakreślony na zielono na Rys. 12) obserwowano dla temperatur operacyjnych z przedziału  $20,5 - 23,5^{\circ}\text{C}$ . Podobne wyniki zaobserwowano w pracy [137]. Współczynnik  $R^2 = 0,66$ . Wartość współczynnika regresji należy uznać za wysoką, biorąc pod uwagę jak wiele czynników wpływa na odczucie komfortu. Uzyskana zależność ma postać:

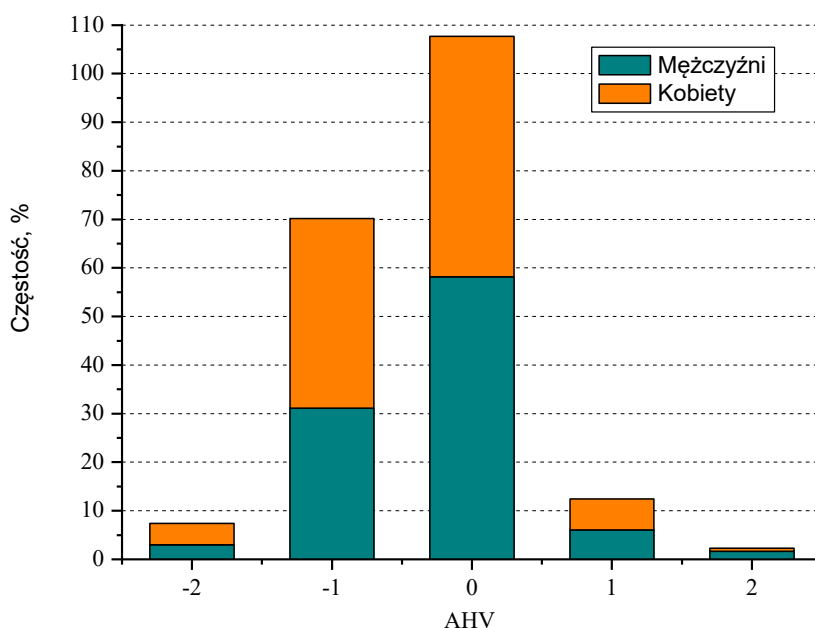
$$TSV = 0,3247 \cdot TO - 7,155 \quad (42)$$

gdzie „TO” to temperatura operacyjna.

### 5.3.1.3. Ocena i preferencje dotyczące wilgotności powietrza

Wilgotność względna to niezwykle ważny aspekt, który może wpływać na postrzeganie komfortu cieplnego przez ludzi. Środowisko termiczne uważa się za komfortowe, gdy wilgotność powietrza jest w zakresie od 40% do 60% [3]. Niezwykle ważne jest, aby starać się utrzymywać wilgotność na tym poziomie, gdyż zbyt niska wartość wilgotności może powodować suchość gardła, chrypkę, a nawet suchość oczu i błony śluzowej nosa. Podobne spostrzeżenia umieszczono w pracy [11], gdzie studenci odczuwali zawroty głowy (11%

mężczyzn i 15% kobiet), czy suchość oczu (19% kobiet i 9,1% mężczyzn). Patrząc na to z drugiej strony, zbyt wysoka wilgotność może przyczyniać się do pogorszenia warunków oddawania ciepła w wyniku odparowania wody z organizmu (ciepło utajone), co może powodować dyskomfort przy wysokich temperaturach powietrza. Zjawisko to jest powszechnie znane i określane terminem parność – gdy jest parno, ludzie odczuwają dyskomfort. W związku z tym, że jest to istotny aspekt, analizie poddano również wilgotność powietrza w badanych budynkach. Ankietowani zostali zapytani, jak oceniają wilgotność powietrza (AHV – Air Humidity Vote), co pokazano na Rys. 13.

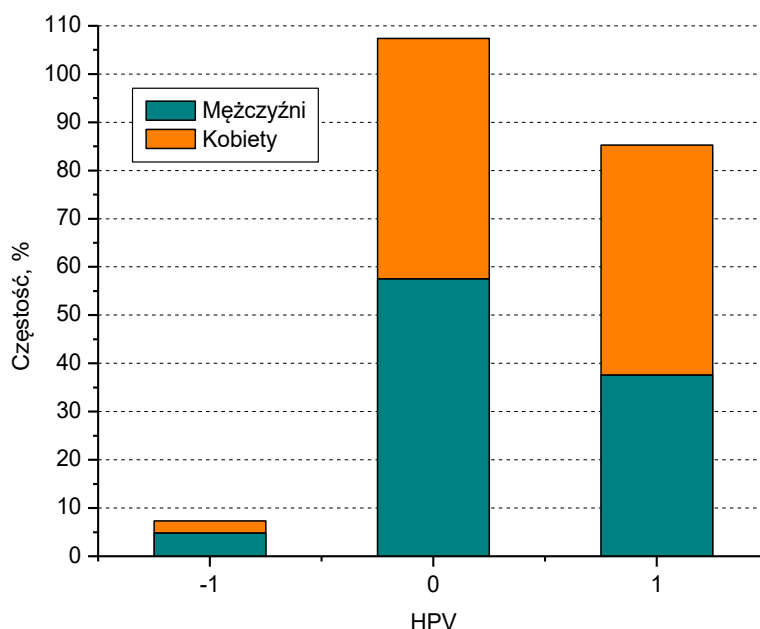


**Rys. 13. Częstość udzielonej odpowiedzi przez ankietowanych odnośnie wilgotności powietrza.**

Na powyższym wykresie ankietowani oceniali wilgotność powietrza, gdzie wartości poniżej zera oznaczają, że w pomieszczeniu jest za sucho, zaś powyżej zera - za wilgotno. Parametry wilgotności względnej uzyskane podczas pomiarów miernikiem środowiskowym wahały się od 19,7% do 65,8%. Biorąc to pod uwagę, zdecydowana większość mężczyzn, bo aż prawie 60% uznała wilgotność w badanych pomieszczeniach za przyjemną w porównaniu z kobietami, które oceniły ją na niecałe 50%. Podobny procentowy udział zaobserwowano w publikacji [138]. Odwrotnie jest dla odpowiedzi „dość sucho”, gdzie kobiety oceniły wilgotność jako za sucha, czyli 39,06%, a 31,12% mężczyzn. Porównując to z wynikami uzyskanymi w badaniu [138], odsetek dla odpowiedzi dość sucho „-1” był niższy niż w obecnych badaniach. Spośród 1302 ankietowanych, tylko 28 kobiet (4,38%) i 20 mężczyzn (3,02%) uznało, że w pomieszczeniach jest zbyt wilgotno. Dość wilgotno było zaledwie dla 6,41% kobiet i 6,04% mężczyzn, a zbyt wilgotno jedynie dla 4,38% i 3,02%. Znaczny odsetek

osób, które oceniły warunki wilgotnościowe jako za suche, można tłumaczyć tym, że w 23 pomieszczeniach (Rys. 4) wilgotność względna spadła poniżej 30%. Stąd takie odczucia respondentów są zrozumiałe.

Znając ocenę wilgotności powietrza według badanych osób w pomieszczeniach można przeanalizować ich preferencje dotyczące wilgotności. Pytanie to pozwala dowiedzieć się, jaka wilgotność powietrza jest pożądana przez respondentów. Ankietowani mieli do wyboru następujące odpowiedzi: „-1”, „0” oraz „1”, gdzie pierwsza z tych wartości oznacza, że chcą, aby powietrze w pomieszczeniu było bardziej suche, kolejna wartość opisuje brak zmiany wilgotności (czyli „0”), a ostatnia chęć zmiany na bardziej wilgotną. Rys. 14 przedstawia analizę wyników na temat preferencji dotyczących wilgotności (HPV – Humidity Preferences Vote).

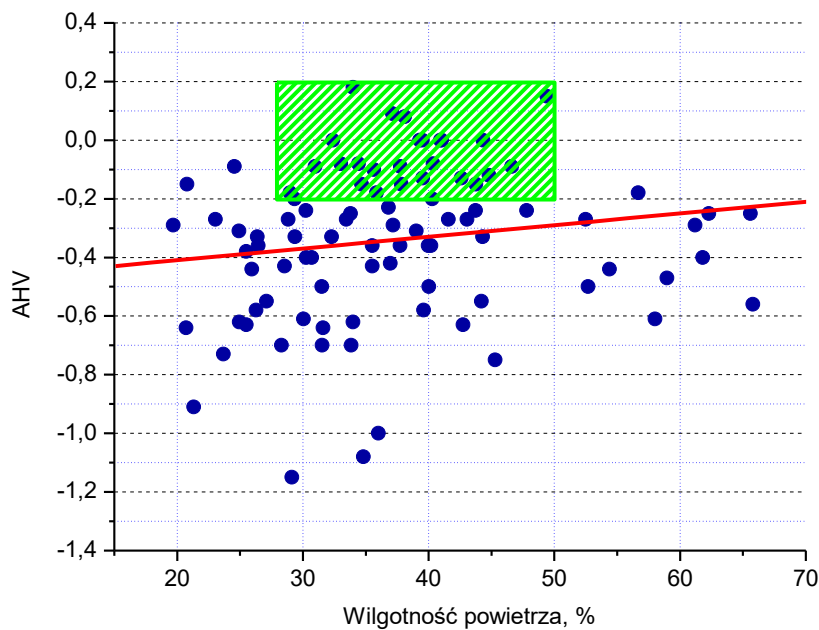


**Rys. 14. Częstość udzielonej odpowiedzi przez ankietowanych odnośnie preferencji na temat wilgotności powietrza.**

Na podstawie danych z wykresu Rys. 13 można zauważyć pewną analogię w odpowiedziach respondentów z wykresem Rys. 14. Dla odpowiedzi „0” - bez zmian, odnotowano niewielki wzrost procentowy. Osoby, które na Rys. 13 oceniły wilgotność powietrza jako dość suchą lub zbyt suchą, w pytaniu o chęć zmiany tej wilgotności generalnie wybrali, że w pomieszczeniach powinno być bardziej wilgotne, co na wykresie widać jako odpowiedź „1”, która dla kobiet wyniosła 49,84%, a dla mężczyzn 58,16%. Niewielka liczba osób chciałaby, aby w salach wykładowych było bardziej sucho „-1”, co na wykresie wynosi 2,5% (kobiety) i 4,83% (mężczyźni). Podobnie można zauważyć w pracy [138], gdzie osoby,

które dla oceny wilgotności powietrza oceniły jako suchą, a w kolejnym pytaniu o preferencje zdecydowanie chcą, aby wilgotność była bardziej wilgotna. Jednocześnie należy zaznaczyć, że procentowy udział kobiet, które chciałyby, aby powietrze było wilgotniejsze, jest większy niż mężczyzn, co pokrywa się w danymi Rys. 13 gdzie kobiety wybrały odpowiedź „-1” w większym procencie niż mężczyźni.

Na kolejnym rys. 15 pokazano zależność między oceną wilgotności przez ankietowanych a wilgotnością względną powietrza w badanych pomieszczeniach.



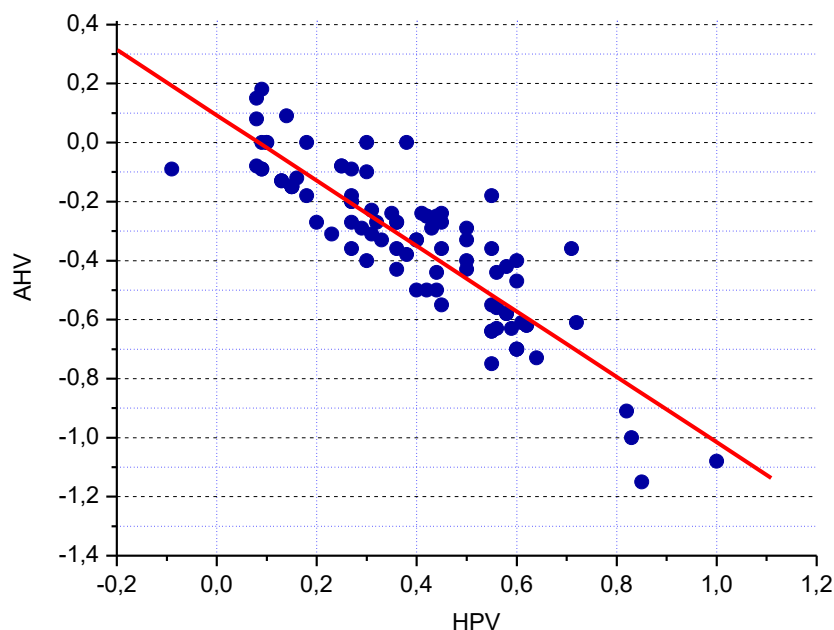
**Rys. 15. Zależność pomiędzy oceną wilgotności powietrza a zmierzoną wilgotnością powietrza.**

Powyższy wykres prezentuje zależność między oceną wilgotności powietrza przez ankietowanych a zmierzoną wilgotnością dla 92 pomieszczeń, która była w zakresie od 19,7% do 65,8%. Na wykresie widać, że ludzie ocenili wilgotność powietrza jako przyjemną przy wartościach od około 27 do 50%. Dane pokazują, że wraz ze wzrostem wilgotności ludzie w ankiecie wybierali odpowiedź dość wilgotno „1”. Odwrotna sytuacja jest przy niższych wartościach wilgotności, co oczywiście jest dość intuicyjne jednak należy zaznaczyć, że współczynnik regresji nie jest wysoki ( $R^2 = 0,03$ ), co oznacza, że ludzie nie są w stanie w precyzyjny sposób powiązać wielkości wilgotności względnej z subiektywnym jej odczuciem. Wzór na AHV ma postać:

$$AHV = 0,004 \cdot Wp - 0,49 \quad (43)$$

gdzie  $Wp$  - wilgotność powietrza.

Należy zauważyć, że Kaushik i inni [139] stwierdzili, że wilgotność względna do 55% ma pozytywny wpływ na komfort termiczny użytkowników, jak i efektywność pracy. Z drugiej strony Buonocore i inni [68] wykazali, że wilgotność powietrza powyżej 70% ma znaczący wpływ na komfort termiczny ludzi, co wpływa też na wzrost odczuwania ciepła. Odczucia wilgotności okazały się dość słabo skorelowane z wilgotnością powietrza, jednak zależność między oceną wilgotności (AHV) a jej preferencjami (HPV) była dużo większa, co pokazano na rys. 16.



**Rys. 16. Zależność pomiędzy oceną a preferencjami dotyczącymi wilgotności powietrza.**

Powyższy wykres pokazuje zależność pomiędzy oceną wilgotności powietrza a preferencjami respondentów. Im powietrze jest suchsze tym wyraźniej ankietowani wyrażają swoje preferencje w zakresie wzrostu wilgotności. Współczynnik korelacji regresji liniowej ma wzór:

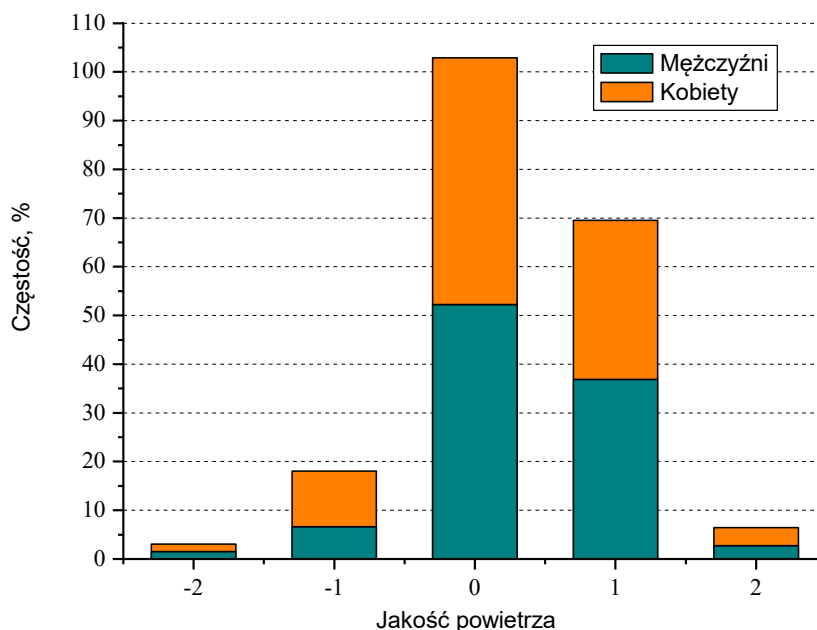
$$AHV = -1,1089 \cdot HPV + 0,0932 \quad (44)$$

$R^2 = 0,77$  co można uznać za znaczącą korelację, biorąc pod uwagę subiektywność oceny i szereg czynników jakie oddziaływały na respondentów w czasie wypełniania ankiety.

#### **5.3.1.4. Ocena jakości powietrza wewnętrznego**

Jakość powietrza wewnętrznego uzależniona może być od wielu czynników. Zła jakość powietrza może wpłynąć na nasze zdrowie. W okresie grzewczym należy najbardziej zwrócić na to uwagę, ponieważ wtedy jesteśmy bardziej poddani na możliwość wystąpienia objawów, m.in. suchość w gardle, podrażnienie spojówek czy też ból głowy. W pracy

przedstawiono wykres (Rys. 17), na którym pokazano ocenę jakości powietrza w badanych salach dydaktycznych jako subiektywne spostrzeżenia respondentów w skali od -2 do +2.

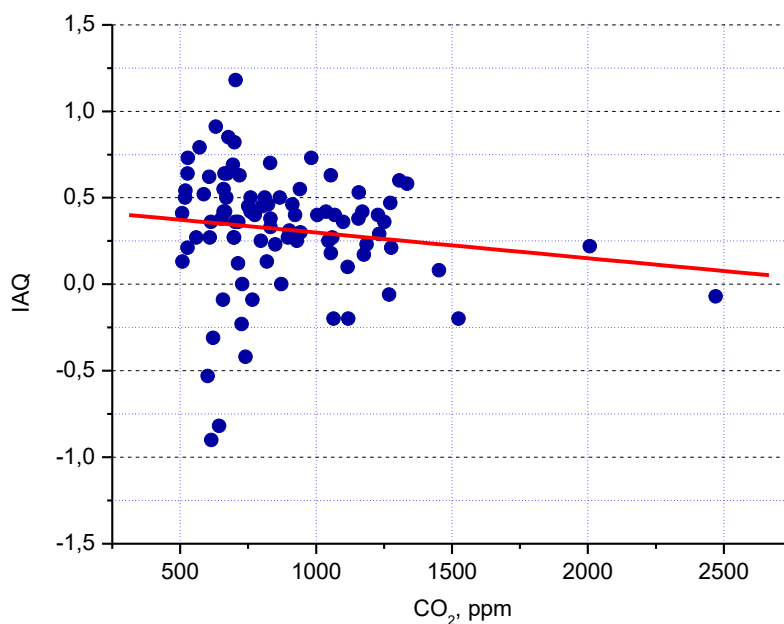


**Rys. 17. Częstość udzielonej odpowiedzi przez ankietowanych odnośnie jakości powietrza.**

Ankietowani zapytani „Jak oceniasz jakość powietrza w tym pomieszczeniu?” do wyboru mieli następujące odpowiedzi, gdzie „-2” oznacza bardzo zła, „-1” – zła, „0” – ani dobra, ani zła, „1” – dobra oraz „2” – bardzo dobra. Należy zatem zauważyć, że 52,27% mężczyzn i 50,63% kobiet ocenili jakość powietrza jako ani dobra, ani zła. 38,86% mężczyzn i 32,66% kobiet uważa, że jakość powietrza w badanych salach dydaktycznych jest dobra, a 2,72% i 3,75% (mężczyzn i kobiet) bardzo dobra. Niecałe 2% mężczyzn i kobiet uważa, że jakość powietrza jest bardzo zła, a 6,65% mężczyzn i 11,41% kobiet określiła jakość powietrza w badanych salach jako złą. Należy nadmienić, że generalnie nie odnotowano różnic w zakresie postrzegania jakości powietrza w odniesieniu do płci. Wielkości uzyskiwane dla wszystkich odpowiedzi oprócz „-1” były podobne dla kobiet i mężczyzn. Faktem jest, że dwa razy więcej kobiet uznało jakość powietrza jako złą w porównaniu do mężczyzn świadczyć może o większej wrażliwości kobiet w tym zakresie.

Jakość powietrza powszechnie bada się analizując stężenie dwutlenku węgla w pomieszczeniu. Rys. 18 przedstawia zależność między średnim wskaźnikiem jakości powietrza w pomieszczeniu (IAQV - Indoor Air Quality Vote) w danym pomieszczeniu (obliczonym jako średnia wartość indywidualnych odpowiedzi na to pytanie zebranych

w jednym pomieszczeniu) a stężeniem CO<sub>2</sub> w tym pomieszczeniu wraz z dopasowaniem liniowym (czerwona linia).



**Rys. 18. Zależność pomiędzy średnią oceną jakości powietrza (IAQ) a stężeniem CO<sub>2</sub>.**

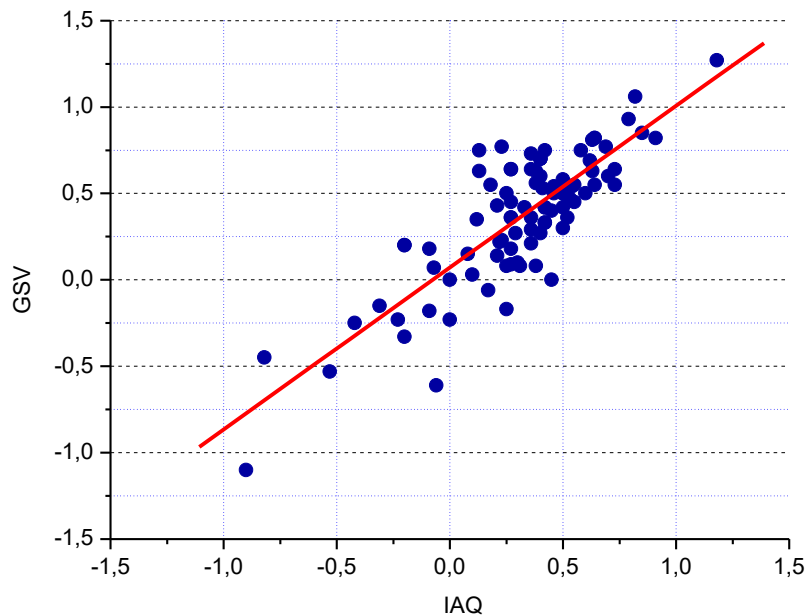
Wydaje się, że wraz ze wzrostem stężenia dwutlenku węgla respondenci oceniali jakość powietrza jako gorszą. Procedura dopasowania liniowego doprowadziła do następującego równania:

$$IAQ = -0,001 \cdot CO_2 + 0,4313 \quad (45)$$

Jednak współczynnik regresji  $R^2$  wyniósł tylko 0,02. W związku z tym nie można wyciągnąć żadnych istotnych wniosków dotyczących wpływu dwutlenku węgla. Wydaje się jednak, że percepcja respondentów mogła być kształtowana przez inne czynniki, takie jak obecność zapachów w pomieszczeniach.

Wydaje się, że postrzegana jakość powietrza w pomieszczeniach może wpływać na ogólne samopoczucie użytkowników częściej na temat odczuć przez respondentów (GSV - General Sensation Vote). Respondenci zostali zapytani o wybranie jednej spośród pięciu odpowiedzi na pytanie: „Jak ogólnie czujesz się w tym pomieszczeniu?”, gdzie „-2” oznacza bardzo źle, „-1” – źle, „0” – obojętnie, „1” – dobrze oraz „2” – bardzo dobrze. Aby zweryfikować to założenie, przygotowano wykres (Rys. 19), na którym zestawiono ogólne odczucia i jakość powietrza w pomieszczeniach dla 92 pomieszczeń (jako średnie wartości tych parametrów na podstawie odpowiedzi udzielonych w kwestionariuszu dla poszczególnych pomieszczeń).





**Rys. 19. Zależność pomiędzy średnią oceną ogólnego odczucia (GSV) a średnią oceną jakości powietrza (IAQ).**

Analiza powyższego wykresu ujawnia wyraźną korelację między postrzeganiem jakości powietrza przez ankietowanych a ich samopoczuciem. W miarę jak subiektywna ocena jakości powietrza staje się coraz bardziej pozytywna, wzrasta również wskaźnik ogólnego samopoczucia. Współczynnik determinacji  $R^2$  jest dość wysoki i wynosi 0,69, podczas gdy rzeczywiste równanie ma postać:

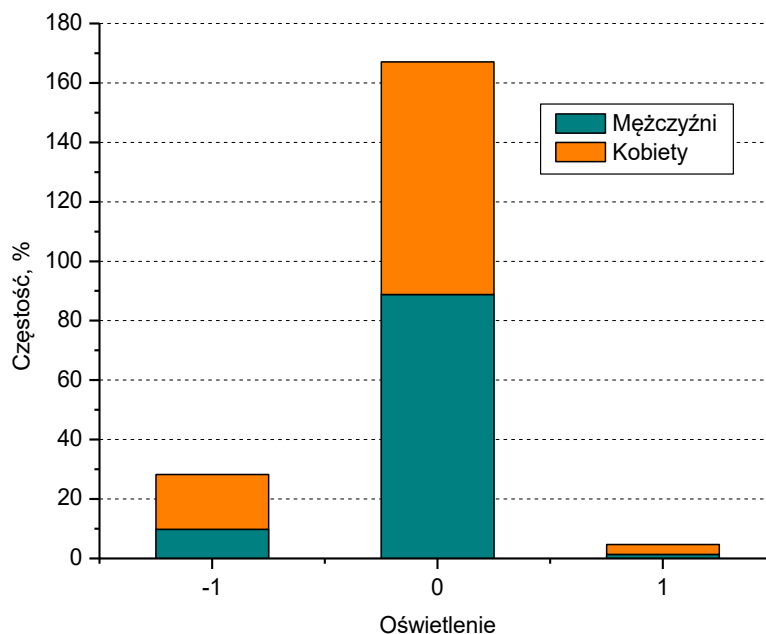
$$GSV = 0,9359 \cdot IAQ + 0,0709 \quad (46)$$

Dane zebrane z 92 pomieszczeń, obejmujące 1302 ankiety, pokazują, że samopoczucie użytkowników pomieszczeń zależy nie tylko od odczuć termicznych (jak się powszechnie uważa), ale także od percepcji jakości powietrza. Dlatego zarządcy budynków powinni zwracać szczególną uwagę na problem właściwej wentylacji i czystości powietrza ze względu na jego wpływ na zadowolenie mieszkańców, co może mieć istotne znaczenie w budynkach edukacyjnych (prowadzące do zwiększenia wyników w nauce).

### **5.3.1.5. Ocena oświetlenia w pomieszczeniach**

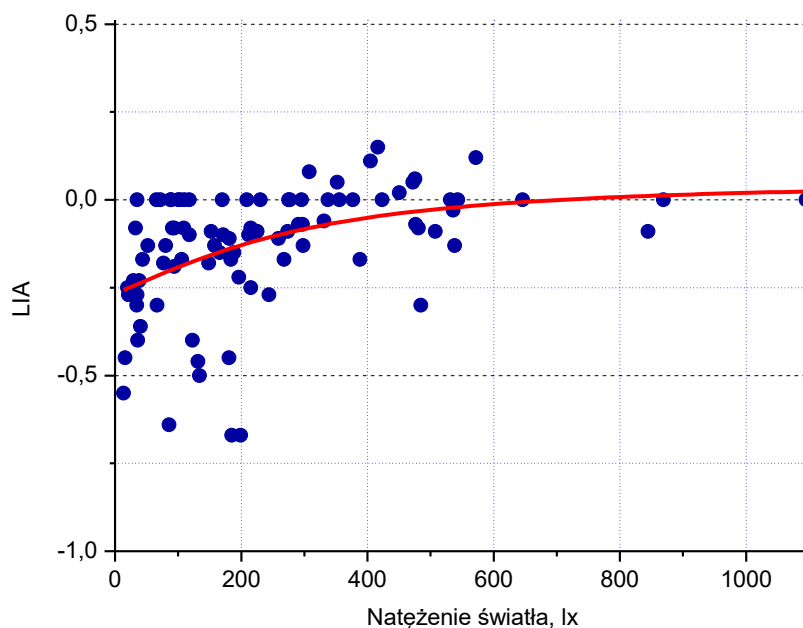
Dobre oświetlenie w miejscu, gdzie wykonujemy swoją pracę lub uczymy się powinno być niezbędne, aby wykonać swoje zadania w komfortowy i jakościowy sposób. Oświetlenie powinno pozytywnie wpływać na jakość wykonywanej pracy. Poziom natężenia światła może również wpłynąć na skupienie podczas zajęć szkolnych czy pracy. Dlatego ankietowani zostali

poproszeni o wypełnienie ankiety na temat oświetlenia w badanych pomieszczeniach, co zilustrowano na Rys. 20.



**Rys. 20. Częstość udzielonej odpowiedzi przez ankietowanych odnośnie oświetlenia.**

Temperatura dla badanych pomieszczeń wahała się od 20°C do 29,7°C, a natężenie światła od 13,4 lx do 1095,1 lx. Respondenci oceniali oświetlenie według skali: „-1” – zbyt słabe, „0” – odpowiednie i „1” – zbyt mocne. Ogólna ocena oświetlenia respondentów w badanych pomieszczeniach wykazała, że prawie 90% mężczyzn i 80% kobiet uznali je za odpowiednie. Z drugiej strony, 1,36% mężczyzn i 3,28% kobiet określiło je jako zbyt silne, a 9,82% i 18,44% (mężczyzn i kobiet) jako zbyt słabe, ale biorąc to pod uwagę to ten udział procentowy jest niewielki w stosunku do grupy zaznaczającej odpowiedź „0”. Już na tym etapie wyniki dostarczają informacji, że budynki spełniają oczekiwania uczniów. Na Rys. 21 przedstawiono średnią ocenę respondentów oraz wyniki natężenia światła uzyskane za pomocą sondy z każdego badanego pomieszczenia.



**Rys. 21. Zależność pomiędzy średnią oceną oświetlenia w badanych pomieszczeniach a natężeniem oświetlenia - ograniczona do 1100 lx (czerwona linia - dopasowanie Lorentza).**

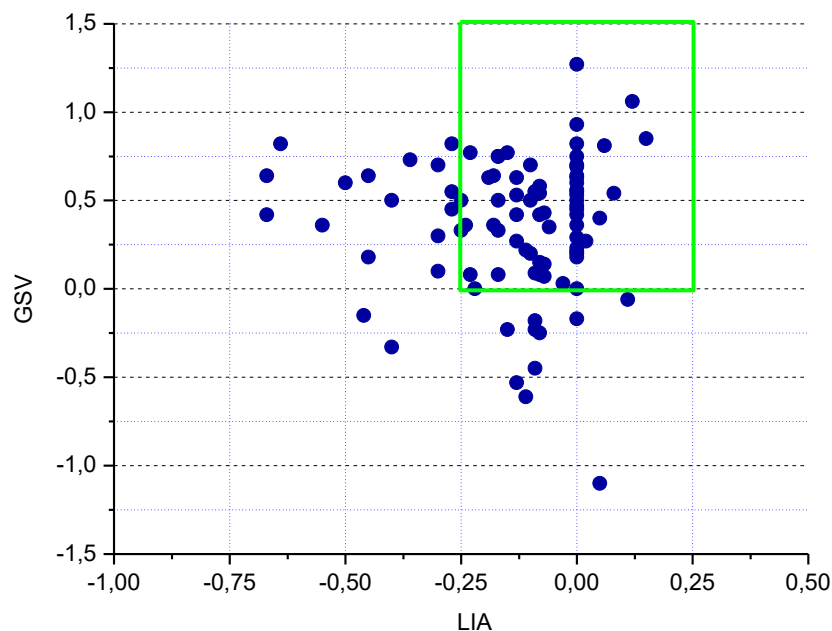
Wraz ze wzrostem natężenia oświetlenia w pomieszczeniu, respondenci oceniali natężenie światła jako silniejsze. Zależność ta nie jest jednak jednoznaczna. Wartości natężenia oświetlenia poniżej 200 lx uznano za nieodpowiedni a ( $LIA < -0,5$ ) w kilku pomieszczeniach, ale to samo natężenie światła uznano za dobre ( $LIA$  bliskie lub równe 0) w dość wielu pomieszczeniach. Różnice mogą być związane z konstrukcją i lokalizacją źródeł światła w suficie oraz właściwościami odbłaskowymi ścian. Można zatem stwierdzić, że takie same warunki oświetleniowe można uzyskać przy niższym natężeniu oświetlenia. W związku z tym można zmniejszyć zużycie energii na oświetlenie, co ma kluczowe znaczenie dla właściwego zarządzania energią w budynkach i możliwych oszczędności finansowych, a także ochrony środowiska ze względu na zmniejszenie wytwarzania CO<sub>2</sub> do produkcji energii. Należy zauważyć, że norma [140] stanowi, że wymagane natężenie oświetlenia w salach lekcyjnych wynosi 300 lx, a w salach spotkań, konferencyjnych i czytelnich: 500 lx, podczas gdy Balocco i Calzolari [141] twierdzą, że zadania wzrokowe, takie jak czytanie i pisanie, wymagają oświetlenia w zakresie 300-750 lx. W związku z tym zarejestrowane wartości w niniejszym badaniu były często zbyt niskie, aby zapewnić odpowiednie warunki oświetleniowe dla użytkowników. Nieodpowiednie oświetlenie w budynkach edukacyjnych zostało również odnotowane w [142,143].

Na podstawie Rys. 21 można stwierdzić, że wzrost natężenia oświetlenia do 600 lx zazwyczaj prowadził do podwyższonej oceny natężenia oświetlenia. Jednak dalszy wzrost, np. powyżej 600 lx, nie skutkował wyższymi wartościami LIA. Może to dodatkowo potwierdzać stwierdzenie, że nie ma konieczności stosowania nadmiernych wartości natężenia oświetlenia w budynkach. Wygenerowana linia dopasowania ma postać:

$$LIA = 0,06 - \frac{126739}{4 \cdot (I + 54,1)^2 + 397404} \quad (47)$$

Z kolei współczynnik regresji  $R^2$  wynosi 0,22.

Biorąc pod uwagę dalsze postrzeganie warunków oświetleniowych, można oczekiwać, że kwestia ta wpłynie również na samopoczucie człowieka. Mianowicie, najwyższe ogólne odczucia można zaobserwować, gdy warunki oświetleniowe są oceniane jako odpowiednie (średnia LIA dla pomieszczenia wynosi około 0). Dane z 1302 kwestionariuszy (Rys. 22) nie mogą potwierdzić tego twierdzenia, jednak w obszarze pozytywnych głosów oceny oświetlenia ( $-0,25 < LIA < +0,25$ ) - zaznaczonym na rysunku zieloną ramką - zdecydowana większość (około 84%) średnich głosów ogólnego odczucia była pozytywna ( $GSV > 0$ ). Może to sugerować słabe powiązanie między tymi dwoma parametrami.



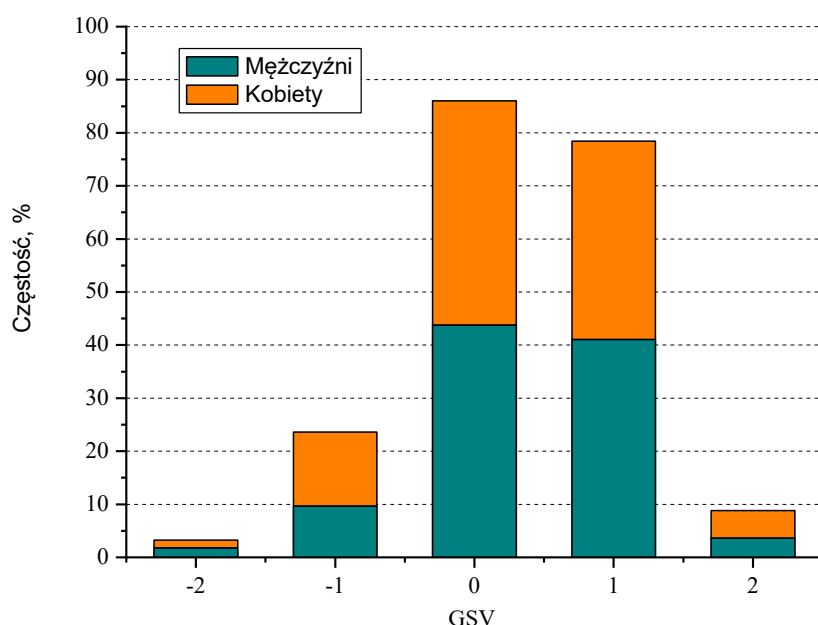
**Rys. 22. Średnia ocena ogólnego odczucia a średnia ocena natężenia światła dla 92 pomieszczeń (zielona ramka: obszar  $GSV > 0$  i  $-0,25 < LIA < +0,25$ ).**

Należy zauważyć, że Kim i in. [144] twierdzili, że respondenci czuli się niekomfortowo z powodu odbicia i blasku światła dziennego wpadającego przez duże okna

oraz braku kontroli nad nim. W związku z tym odczuwalne byłoby zwiększone natężenie światła, co można ocenić negatywnie.

### 5.3.1.6. Ogólne odczucia w pomieszczeniach (GSV)

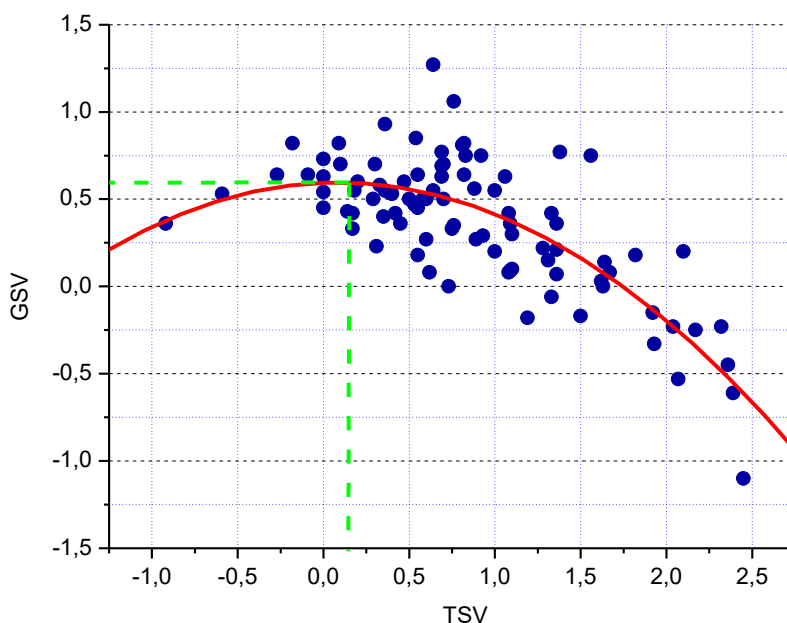
W przeprowadzonych badaniach respondenci zostali zapytani również o ogólne samopoczucie w badanych pomieszczeniach. Na pytanie „Jak ogólnie czujesz się w tym pomieszczeniu?” respondenci do wyboru mieli pięć odpowiedzi, gdzie dodatnie wartości oznaczały dobrze i bardzo dobrze, „0” - obojętnie, zaś ujemne wartości źle i bardzo źle. Poniżej przedstawiono wykres (Rys. 23) częstości na temat odczuć przez respondentów (GSV - General Sensation Vote).



**Rys. 23. Częstość udzielonej odpowiedzi przez ankietowanych odnośnie ogólnych odczuć.**

Na pytanie „Jak ogólnie czujesz się w tym pomieszczeniu” ankietowani mieli do wyboru pięć odpowiedzi, gdzie wartości ujemne oznaczają, że czują się bardzo źle, dodatnie bardzo dobrze. Najwięcej osób wybrało odpowiedź obojętnie „0”, bo aż 43,81% mężczyzn i 42,19% kobiet. Na podobnym poziomie jest odpowiedź dobrze (41,09% mężczyźni, 37,34% kobiety), natomiast bardzo dobrze czuło się 3,63% mężczyzn i 5,16% kobiet ze wszystkich ankietowanych. Negatywne odczucia w badanych pomieszczeniach wyraziło 11,48% mężczyzn i 15,31% kobiet. Aby upewnić się, czy miał wpływ jakiś czynnik na ogólne odczucia, sporządzono Rys. 24, który przedstawia wrażenia termiczne respondentów oraz ich ocenę na temat dobrostanu. TSV reprezentuje głosy respondentów dotyczące wrażeń termicznych.

Respondenci wyrażali swoją ocenę na temat ogólnych odczuć, co na Rys. 24 znajduje się na osi rzędnych.



**Rys. 24. Zależność pomiędzy wrażeniami termicznymi a ogólnymi odczuciami dla 92 pomieszczeń.**

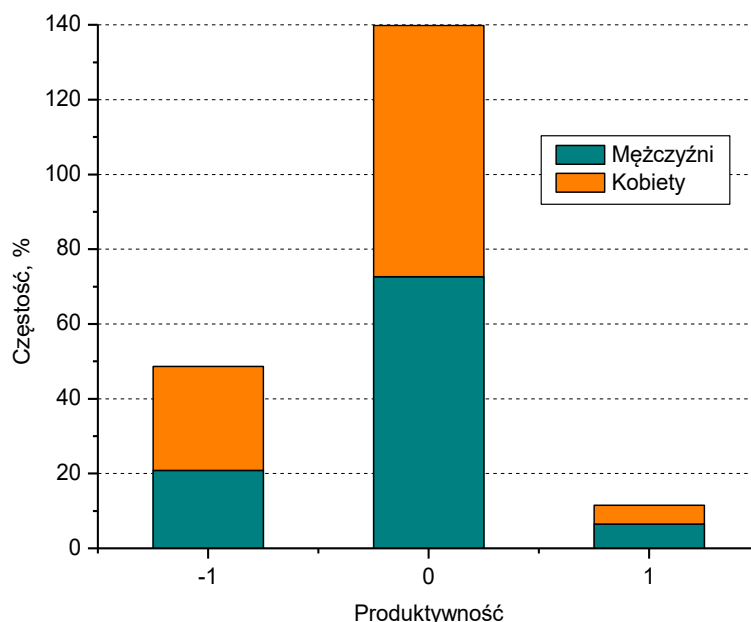
Na zaprezentowanym wykresie na osi odciętych znajdują się średnie wyniki dla wrażeń cieplnych wykonanych w 92 pomieszczeniach. Przy dodatnich wartościach na osi odciętych GSV respondentów spada, co oznacza, że jest im źle w badanych pokojach. Analizując powyższy wykres stwierdzono, że ludzie czują się dobrze, gdy TSV wynosi około 0, czyli termiczne środowisko określane jest jako obojętne/neutralne. Krzywa regresji dla zależności między wrażeniami termicznymi (TSV) a ogólnymi odczuciami (GSV) przedstawia się następująco:

$$GSV = -0,2155 \cdot TSV^2 + 0,0363 \cdot TSV + 0,5938 \quad (48)$$

a współczynnik determinacji  $R^2 = 0,60$ , co wykazało stosunkowo wysoki poziom korelacji. Dobre samopoczucie respondentów może w dużej mierze zależeć od ich odczuć termicznych. Dlatego też zapewnienie odpowiedniego środowiska termicznego w pomieszczeniach zamkniętych jest dość ważne, aby mieszkańcy mogli osiągnąć i utrzymać wysoki poziom dobrego samopoczucia.

### 5.3.1.7. Ocena produktywności w pomieszczeniach

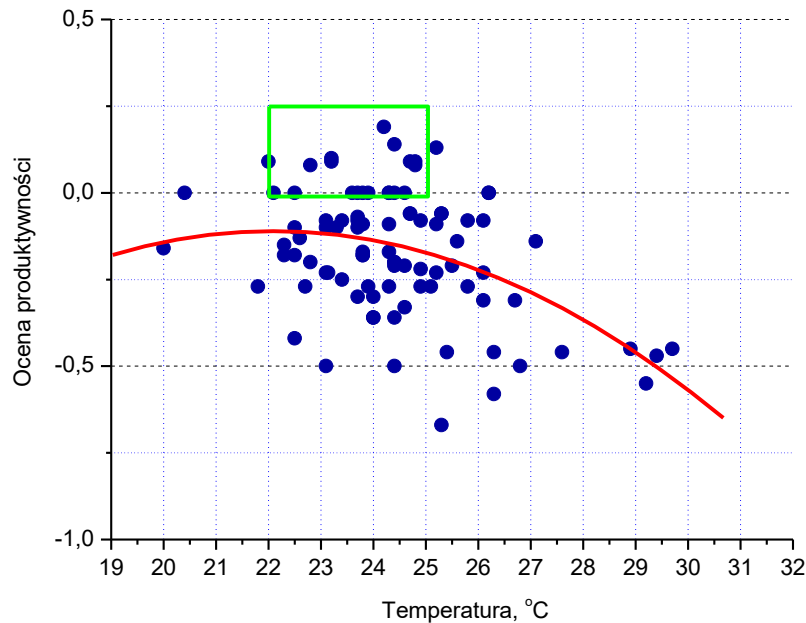
W ankiecie zapytano respondentów również o ocenę produktywności (czyli ich subiektywną zdolność do przyswajania wiedzy, którą samodzielnie określili), co przedstawia Rys. 25.



**Rys. 25. Częstość udzielonej odpowiedzi przez ankietowanych odnośnie produktywności.**

Powyższy wykres prezentuje ogólną ocenę produktywności uczniów, gdzie: „-1” oznacza słaba, „0” – normalna i „1” – wysoka. Analizując uzyskane wyniki, respondenci ocenili swoją produktywność jako normalną („0”) na poziomie 72,66% mężczyźni i 67,19% kobiety, w przeciwieństwie do badań [30], gdzie produktywność na normalnym poziomie była wyższa niż 80%. W porównaniu z Rys. 20, który pokazuje ocenę oświetlenia, widać procentowy spadek produktywności. Studenci ocenili produktywność na wysokim poziomie, 6,5% mężczyzn i 5% kobiet. Z drugiej strony 20,85% mężczyzn i 27,81% kobiet zauważyło, że ich zdolność przyswajania wiedzy była słaba, a w badaniach [30] jest to tylko 11%.

Wpływ dobrego samopoczucia na produktywność jest dość subiektywny i powinna mu towarzyszyć dyskusja na temat wpływu parametrów powietrza wewnętrznego na potencjał uczenia się respondentów. Rys. 26 przedstawia zależność między temperaturą powietrza ( $t_a$ ) w 92 pomieszczeniach a średnimi wartościami produktywności podanymi w kwestionariuszach.



**Rys. 26. Średnia ocena produktywności w zależności od temperatury w badanych pomieszczeniach (czerwona linia - dopasowanie wielomianowe, zielona ramka - obszar najwyższych wartości produktywności).**

Uzyskany wzór dopasowania wielomianowego to:

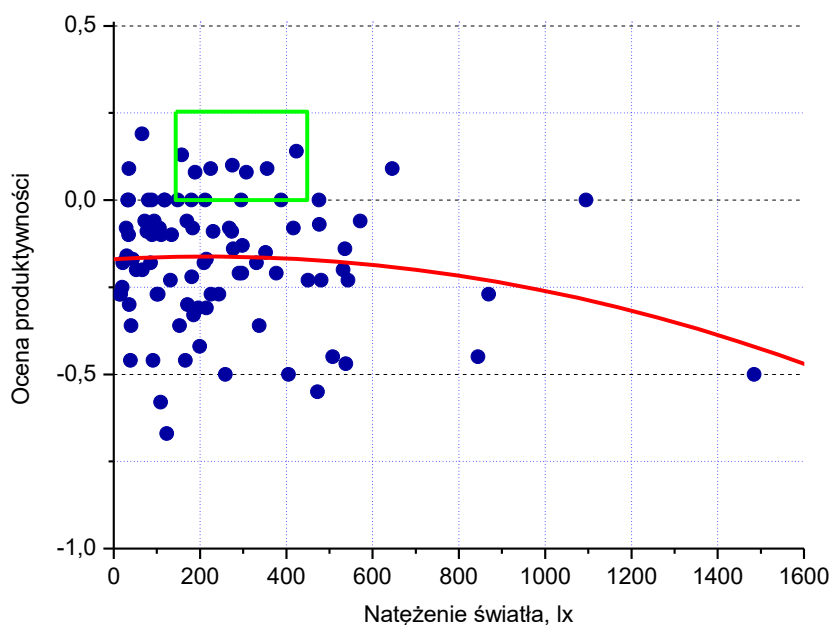
$$P = -0,0074 \cdot t_a^2 + 0,3249 \cdot t_a - 3,6981 \quad (49)$$

gdzie  $t_a$  - temperatura powietrza.

Chociaż współczynnik regresji  $R^2 = 0,21$  jest niski, można wyraźnie zauważyć trend zmian z maksymalnym potencjałem uczenia się występującym przy temperaturze powietrza około 22-23°C. Jednak najwyższą produktywność użytkowników pomieszczeń zaobserwowano w szerszym zakresie wartości temperatury: od 22°C do 25°C (jak wskazano w zielonej ramce). Wartości te są dość wysokie, a zatem zapotrzebowanie na energię do ogrzewania w sezonie zimowym może być wyższe. Oczywiście może to być zjawisko obserwowane tylko w klimacie, w którym warunki zimowe mogą być surowe, podczas gdy latem pogoda jest dość łagodna, a ludzie preferują cieplejsze środowiska (np. w Europie Środkowej i Wschodniej, jak wskazują Dębska i inni [145] oraz Majewski i inni [146]). Rozrzut punktów danych na Rys. 26 jest dość znaczący ze względu na fakt, że produktywność jest wysoce subiektywna i może zależeć od indywidualnych preferencji i nastroju danego wolontariusza, a także aktualnego stanu zdrowia, głodu itp. Jednak w placówkach oświatowych warunki oświetleniowe mogą mieć istotne znaczenie ze względu na fakt, że czynności robocze koncentrują się głównie na pisaniu i czytaniu. Optymalne wartości zaobserwowane w niniejszym badaniu (22 – 25°C) są zgodne z danymi z innych warunków klimatycznych (np. Geng i in. [147] po badaniach badawczych



jako najkorzystniejszą podali temperaturę powietrza 22°C przeprowadzone w Chinach), natomiast Kaushik i in. [139] przedstawili optymalny zakres temperatur 22 – 25°C dla biura zlokalizowanego w gorącym klimacie Qataru. Rys. 27 przedstawia zależność między średnią wartością produktywności w danym pomieszczeniu a zmierzonym w nim natężeniem światła.



**Rys. 27. Średnia ocena produktywności a ocena natężenia oświetlenia (czerwona linia - dopasowanie wielomianowe, zielona ramka - obszar najwyższych wartości produktywności); zakres natężenia oświetlenia do 1600 lx.**

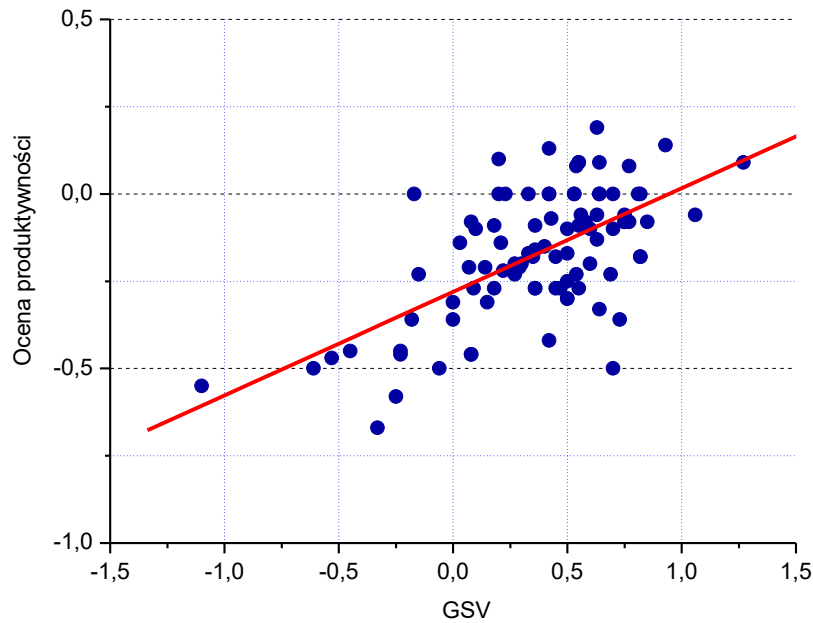
Jak widać, najbardziej optymalnym poziomem natężenia oświetlenia z punktu widzenia produktywności było 200-400 lx. Takie warunki oświetleniowe zdawały się zapewniać odpowiednie warunki pracy przy biurkach poszczególnych respondentów. Należy wspomnieć, że istniała duża rozbieżność między wynikami dla poszczególnych pomieszczeń ze względu na wpływ innych czynników na produktywność ( $R^2 = 0,03$ ). Niemniej jednak, warunki oświetleniowe powinny być brane pod uwagę przez zarządców budynków, aby utrzymać najbardziej optymalne środowisko wewnętrzne w budynkach. Równanie dla wartości produktywności (Rys. 27) to:

$$P = -1,6 \cdot 10^{-7} \cdot I^2 + 7,13 \cdot 10^5 \cdot I - 0,1694 \quad (50)$$

gdzie I to natężenie oświetlenia.

Zapewnienie dobrego samopoczucia użytkownikom pomieszczeń jest ważne - jak rozważono wcześniej i określono w kwestionariuszu jako GSV (General Sensation Vote). Wydaje się jednak, że subiektywna ocena dobrego samopoczucia i produktywności mogą być

ze sobą powiązane. Ludzie pracują wydajniej, gdy czują się zadowoleni i szczęśliwi. Rys. 28 potwierdza to założenie. Dane z 1302 kwestionariuszy wyraźnie pokazują, że wraz ze wzrostem subiektywnej oceny samopoczucia (GSV) (jako średnia wartość dla grupy znajdującej się w danym pomieszczeniu), ich produktywność (potencjał uczenia się), również wyrażona jako średnie wartości dla 92 pomieszczeń, rośnie liniowo.



**Rys. 28. Zależność pomiędzy średnią oceną produktywności a średnią oceną dobrostanu (czerwona linia - dopasowanie liniowe).**

Otrzymany wzór matematyczny na zależność przyjmuje postać:

$$P = 0,2994 \cdot GSV - 0,281 \quad (51)$$

i jest dość silny ( $R^2 = 0,40$ ), biorąc pod uwagę fakt, że obejmuje on wszystkie budynki, różne grupy respondentów i szeroki zakres parametrów powietrza wewnętrznego i warunków oświetleniowych, a także fakt, że oba analizowane parametry (produktywność i ogólne odczucia) są wysoce subiektywne. Podobny rozkład punktów danych i prawie identyczne równanie dopasowania liniowego uzyskano, gdyby głosy dotyczące ogólnego odczucia na Rys. 28 zostały zastąpione głosami dotyczącymi jakości powietrza w pomieszczeniach. Można się było tego spodziewać ze względu na silny związek między jakością powietrza a samopoczuciem (jak zaobserwowano na Rys. 19).

### 5.3.1.8. Wpływ indeksu BMI, liczby osób na jednostkę kubatury, oświetlenia, stężenia CO<sub>2</sub> na wrażenia termiczne

Badania eksperymentalne prowadzono od marca 2021 roku do czerwca 2022, w których udział wzięło 1410 osób, z czego 1302 wzięto do dalszej analizy. Zbadano korelację pomiędzy cechą objaśnianą TSV oraz cechami objaśniającymi:

- BMI - Body Mass Index,
- LLJK - Liczba ludzi na jednostkę kubatury,
- LUX - natężenie oświetlenia,
- CO<sub>2</sub> - stężenie dwutlenku węgla.

Współczynnik korelacji pomiędzy cechami X i Y, na podstawie par pomiarów

$$(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n) \quad (52)$$

gdzie  $n$  jest liczbą pomiarów. Obliczono z wzoru

$$r = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2\right) \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2\right)}} \quad (53)$$

gdzie  $\bar{x}, \bar{y}$  są średnimi arytmetycznymi. Wartości uzyskanych współczynników korelacji zamieszczone są w tabeli nr 1.

**Tabela 1. Współczynnik korelacji dla poszczególnych par cech.**

cechy	współczynnik korelacji
BMI i TSV	0,2180
LLJK i TSV	0,0976
LUX i TSV	0,0465
CO <sub>2</sub> i TSV	0,1968

Do sprawdzenia istotności współczynnika korelacji zastosowano test ([148], (4.5.1), str. 172)

$$t_r = \frac{r}{\sqrt{1-r^2}} \cdot \sqrt{n-2} \quad (54)$$

Jeżeli  $\rho$  jest współczynnikiem korelacji w populacji, to przy założeniu prawdziwości hipotezy  $H_0: \rho = 0$ , statystyka (54) ma rozkład t-Studenta o  $n - 2$  stopniach swobody. Ponieważ we wszystkich czterech przypadkach należy się spodziewać dodatniej korelacji pomiędzy cechami,

testowano hipotezę zerową przeciwko hipotezie alternatywnej  $H_1: \rho > 0$ , co dla poziomu istotności 0,05 prowadzi do prawostronnego obszaru odrzuceń hipotezy zerowej

$$1,6620 \text{ do } +\infty \quad (55)$$

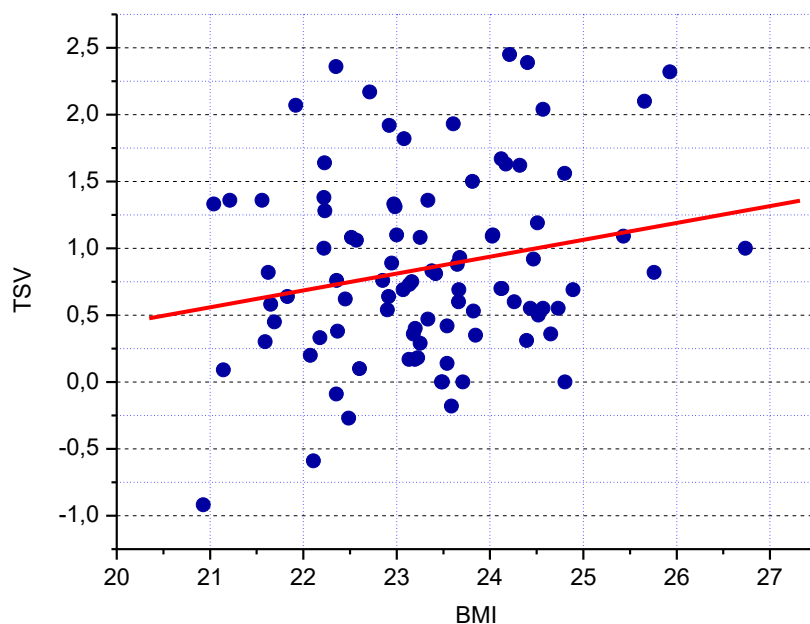
gdzie 1,6620 jest kwantylem rzędu 0,95 rozkładu t-Studenta o 90 stopniach swobody. Dla poszczególnych par cech wartości testu obliczonego z wzoru (54) podane są w tabeli nr 2.

**Tabela 2. Test korelacji dla poszczególnych par cech.**

cechy	test korelacji
BMI i TSV	2,1195
LLJK i TSV	0,9299
LUX i TSV	0,4412
CO <sub>2</sub> i TSV	1,9041

Wyniki dla CO<sub>2</sub> i BMI leżą w obszarze odrzuceń, dlatego można mówić o statystycznie istotnej korelacji pomiędzy TSV i BMI (body mass index) oraz pomiędzy TSV i CO<sub>2</sub> (dwutlenek węgla).

Na końcu ankiety respondenci wypełniali formularz z informacją o płci, wieku, wzroście i wadze. Wyniki z metryczki wykorzystano do obliczenia wskaźnika masy ciała. BMI (Body Mass Index) oblicza się dzieląc masę ciała (w kg) przez wzrost do kwadratu (w m<sup>2</sup>). Rys. 29 przedstawia średnie wyniki odczucia termicznego (TSV) w badanych pomieszczeniach w porównaniu ze średnim wskaźnikiem BMI.



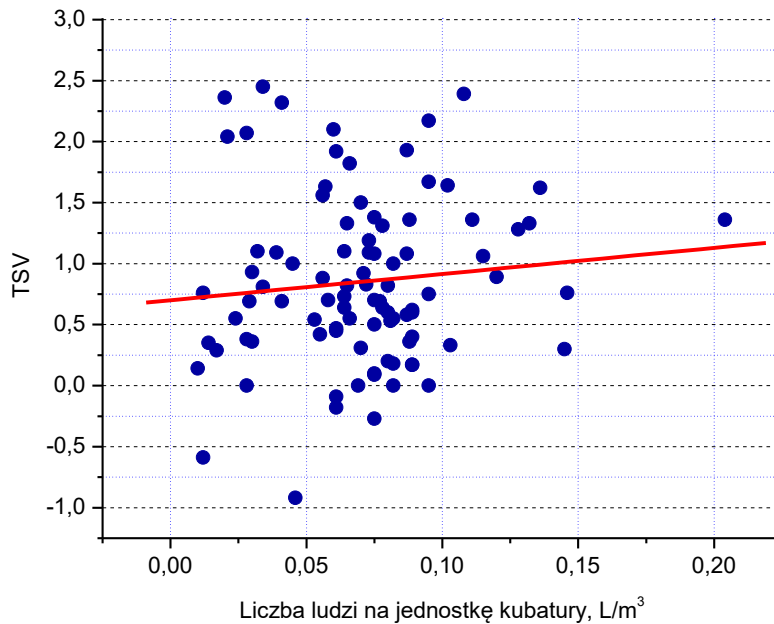
**Rys. 29. Zależność pomiędzy wskaźnikiem masy ciała (BMI) a odczuciami termicznymi (TSV).**

Powyższy wykres pokazuje zależność między wskaźnikiem masy ciała a głosowaniem na doznania termiczne. Na podstawie przedstawionych wyników można zauważyć, że generalnie respondenci z wskaźnikiem BMI w przedziale od 21,5 do 24,5, czują się komfortowo. Widać, że respondenci o wyższym BMI (np. 26,74) uważają, że warunki termiczne są zbyt ciepłe. Takich osób z wskaźnikiem BMI > 24,5 jest w 14 pomieszczeniach. Odwrotna sytuacja będzie w przypadku respondentów o niższym BMI, którzy czują, że warunki termiczne są zbyt chłodne lub zbyt zimne. Niewątpliwie istnieje zależność między tymi dwoma parametrami.

$$TSV = 0,1288 \cdot BMI - 2,1525 \quad (56)$$

$R^2 = 0,2180$ , co oznacza, że im wartość jest bliższa 1 tym zależność jest silniejsza i dodatnia.

Analizie poddano również zależność między liczbą osób na jednostkę kubatury a wrażeniami termicznymi (TSV), co przedstawiono poniżej na Rys. 30.



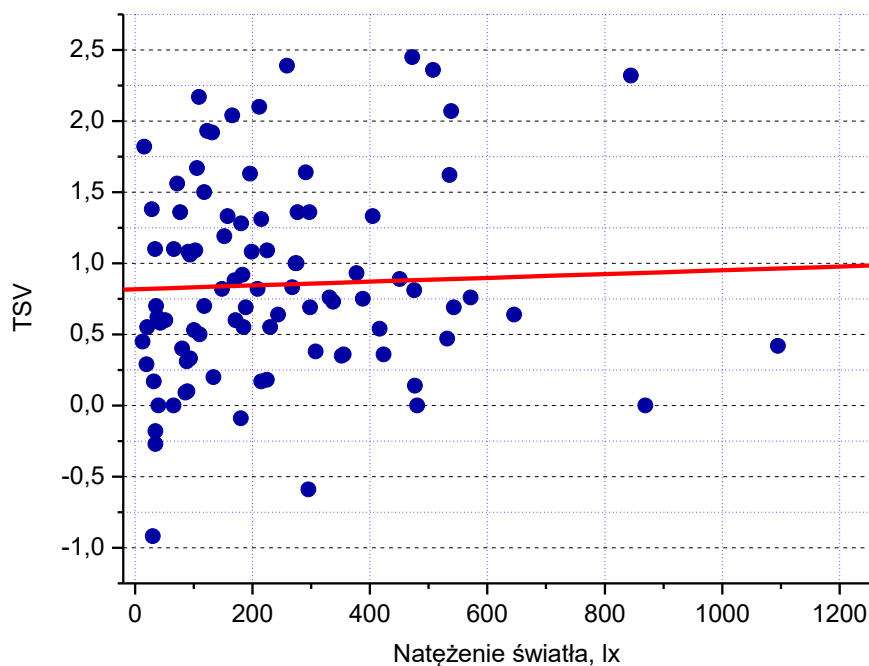
**Rys. 30. Zależność pomiędzy liczbą osób na jednostkę kubatury a odczuciami termicznymi (TSV).**

$$TSV = 2,0196 \cdot LLJK + 0,709 \quad (57)$$

$R^2 = 0,0976$ , co oznacza w tym przypadku praktyczny brak zależności.

gdzie LLJK - liczbą osób na jednostkę kubatury. Na poziomie istotności 0,05 nie wykazano zależności pomiędzy LLJK i TSV.

Ludzie większość swojego czasu spędzają w pomieszczeniach zamkniętych, dlatego przeprowadzono powyższą zależność między liczbą osób na objętość powierzchni a odczuciami termicznymi (TSV). Na osi rzędnych znajdują się wartości dla ilorazu objętości badanego pomieszczenia z liczby osób. Widać, że osoby, które znajdowały się w bardziej zatłoczonych pomieszczeniach, czuły dyskomfort i było im za ciepło. W pracy Orman i in. [149] autorzy wykonali porównanie między liczbą osób na jednostkę kubatury a wrażeniami termicznymi pokazując, że gęstość może mieć wpływ na odczucia termiczne ludzi. Sprawdzone też wpływ natężenia oświetlenia na wrażenia termiczne (Rys. 31).



**Rys. 31. Zależność pomiędzy natężeniem oświetlenia a odczuciami termicznymi (TSV).**

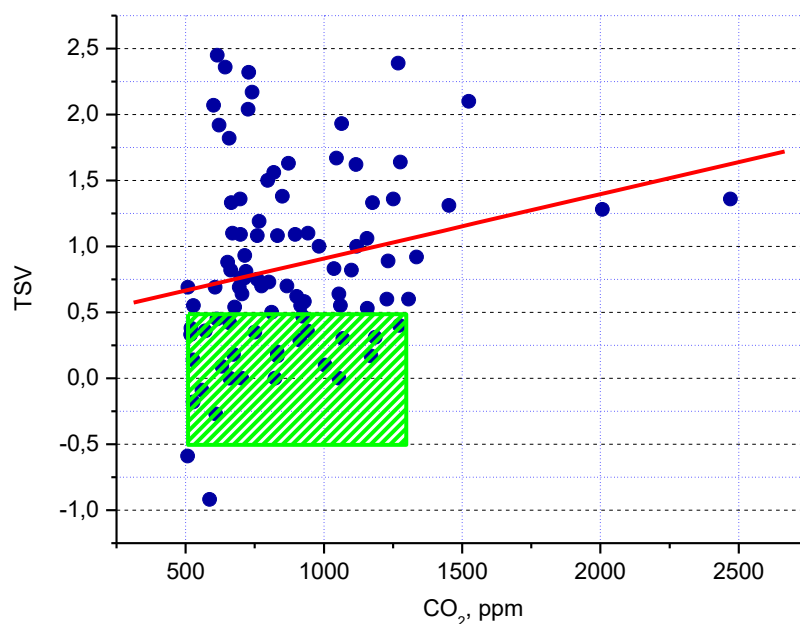
$$TSV = 0,0001 \cdot I + 0,8182 \quad (58)$$

$$R^2 = 0,0465$$

gdzie I - natężenie oświetlenia. Na poziomie istotności 0,05 nie udało się wykazać zależności pomiędzy natężeniem oświetlenia lux i TSV. Zatem brak jest podstaw, żeby w dalszych obliczeniach brać uwagę natężenie oświetlenia, ponieważ nie wykryto jego statystycznie istotnego wpływu na odczucia termiczne.

Biorąc pod uwagę dane zaprezentowane na powyższym rysunku można zauważyć, że badane osoby czują się komfortowo przy oświetleniu mieszczącym się w zakresie od 200 do 400 lx. Nawiązując do Rys. 21, najbardziej były zadowolone z panującego oświetlenia powyżej 400 lx. Natomiast na Rys. 31 widać, że przy większym zakresie oświetlenia, badanym było za ciepło. To zjawisko wymaga jeszcze dalszych badań, by określić wpływ natężenia oświetlenia na odczucia termiczne, póki co okazał się on nieistotny.

W pracy sprawdzono również, czy stężenie dwutlenku węgla może wpłynąć na wrażenia komfortu cieplnego (Rys. 32).



**Rys. 32. Zależność pomiędzy stężeniem dwutlenku węgla a odczuciami termicznymi (TSV).**

$$TSV = 0,0005 \cdot CO_2 + 0,421 \quad (59)$$

$$R^2 = 0,1968$$

Wykres ukazuje zależność między stężeniem CO<sub>2</sub> z odczuciami termicznymi. Stężenie dwutlenku węgla ma wpływ na to jak czujemy się w danych pomieszczeniach. Wymagana wartość dwutlenku węgla zależy od kategorii budynku. Dla budynków użyteczności publicznej (kategoria II) uznaje się wartość stężenia CO<sub>2</sub> na poziomie 800 ppm + poziom CO<sub>2</sub> w powietrzu zewnętrznym. Na podstawie otrzymanych pomiarów stężenie CO<sub>2</sub> nie przekraczała wartości 1200 ppm poza 12 pomieszczeniami. Należy zaznaczyć, że te dane wskazują na niski poziom dwutlenku węgla w badanych salach, lecz w dwóch ta wartość była powyżej 2000ppm. Z wykresu widać też, że wyższe stężenie dwutlenku węgla wpłynęło na odczucia ankietowanych. Wraz ze wzrostem stężenia dwutlenku węgla respondenci oceniali swoje odczucia cieplne jako zbyt ciepłe. Komfortowe warunki były dla respondentów przy zakresie CO<sub>2</sub> od 500 do ok. 1300ppm. TSV odnotowano wówczas w zakresie od -0,5 do +0,5 – co zaznaczono na wykresie jako zielone pole. Potwierdza to poprawność przyjęcia w normie [25] wartości granicznej stężenia dwutlenku węgla jako 800ppm + tło. Za pomocą statystyki testowej (54) odrzucono H<sub>0</sub> na korzyść H<sub>1</sub>. Na poziomie istotności 0,05 wykazano dodatnią zależność pomiędzy stężeniem CO<sub>2</sub> i TSV. Realizacja statystyki  $t_r \approx 1,9041$  jest szczególna.

Na podstawie analizy statystycznej wpływu CO<sub>2</sub>, BMI, natężenia oświetlenia oraz liczby osób na jednostkę kubatury, okazało się, że istotny statystycznie wpływ na odczucia



termiczne ma stężenie dwutlenku węgla i BMI, natomiast oświetlenie i liczba osób na jednostkę kubatury nie miała istotnego wpływu. W związku z tym teza nr 1 została połowicznie potwierdzona - w zakresie wpływu BMI i CO<sub>2</sub> na odczucia termiczne użytkowników pomieszczeń.

## 6. Modyfikacja wskaźników PMV i PPD

### 6.1. Porównanie wskaźników PMV i PPD wg modelu Fanger'a z danymi eksperymentalnymi

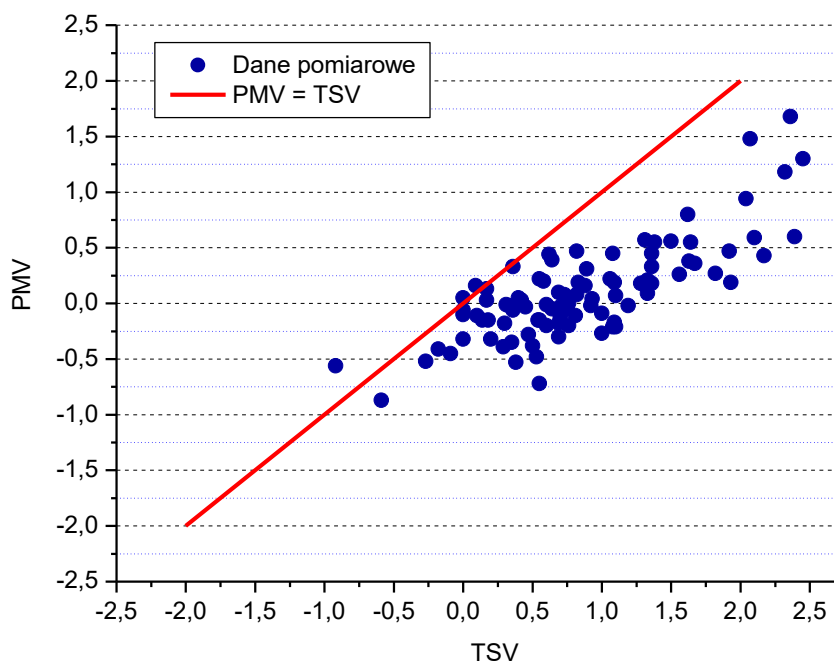
Wyniki badań ankietowych dla 92 pomieszczeń w zakresie odczuć termicznych (PMV) porównano z wynikami wg modelu Fanger'a [103] w celu sprawdzenia jego skuteczności i dokładności. Rysunek 33 przedstawia podsumowanie wartości TSV i PMV dla wszystkich 92 badanych pomieszczeń. Tabela nr 3 przedstawiono zestawienie wyników.

**Tabela 3.** Zestawienie wyników badań dla średniej oceny wrażeń cieplnych dla budynków użyteczności publicznej od 19.03.2021 r. do 28.06.2022 r.

Nr	Nr pomieszczenia	Data badania	Godzina wykonania badania	Liczba osób w sali	TSV - średnie odczucie wg ankiet	PMV - przewidywana średnia ocena wg modelu Fanger'a
1	1.14 E	19.03.2021	10:20	14	0,36	0,33
2	2.20 E	10.06.2021	10:20	12	1,33	0,09
3	1.14 E	12.06.2021	15:25	11	0,55	0,22
4	1.09 E	05.10.2021	14:00	13	0,54	-0,15
5	2.17 E	05.11.2021	12:00	12	0,83	0,19
6	1.14 E	09.01.2022	08:30	16	0,81	-0,11
7	1.14 E	05.03.2022	09:50	13	0	-0,10
8	2.20 E	08.03.2022	12:20	15	0,53	-0,48
9	2.17 E	29.03.2022	13:00	18	2,39	0,60
10	4.09 E	31.03.2022	10:00	17	-0,59	-0,87
11	1.08 E	31.03.2022	10:40	10	1,00	-0,27
12	1.09 E	31.03.2022	14:20	15	0,47	-0,28
13	1.15 E	31.03.2022	12:55	10	1,10	-0,21
14	3.20 E	31.03.2022	13:20	13	1,38	0,55
15	3.15 E	01.04.2022	08:40	12	0,92	-0,02
16	2.17 E	01.04.2022	09:00	10	2,10	0,59
17	3.19 E	04.04.2022	08:25	11	1,36	0,33
18	2.15 E	04.04.2022	09:50	11	-0,09	-0,45
19	3.19 E	04.04.2022	10:13	14	1,36	0,45
20	3.18 E	04.04.2022	10:29	12	0,17	0,03
21	3.20 E	04.04.2022	10:45	11	0,64	0,39
22	2.17 E	05.04.2022	10:40	13	1,31	0,57
23	2.19 E	21.04.2022	10:00	12	1,08	-0,21

24	3.18 E	22.04.2022	10:20	12	0,17	0,13
25	3.18 E	25.04.2022	08:05	11	0,18	-0,15
26	3.20 E	25.04.2022	08:30	12	1,50	0,56
27	3.19 E	25.04.2022	08:45	12	2,17	0,43
28	3.18 E	25.04.2022	10:00	11	1,00	-0,09
29	3.19 E	25.04.2022	10:20	12	1,67	0,36
30	2.18 E	25.04.2022	10:45	13	0,62	0,44
31	2.16 E	28.04.2022	08:35	11	1,19	-0,02
32	2.19 E	28.04.2022	08:51	14	1,64	0,55
33	4.09 E	28.04.2022	10:48	17	0,76	-0,20
34	2.16 E	28.04.2022	11:10	11	1,09	0,19
35	4.09 E	28.04.2022	12:00	20	0,35	-0,35
36	2.17 E	28.04.2022	12:36	11	1,82	0,27
37	3.20 E	28.04.2022	12:56	13	1,08	0,45
38	3.15 E	28.04.2022	13:30	16	0,00	0,05
39	3.15 E	08.05.2022	16:45	13	0,69	0,10
40	4.09 E	13.05.2022	12:00	24	0,29	-0,39
41	1.14 E	13.05.2022	07:57	14	0,93	0,04
42	3.19 E	16.05.2022	08:15	12	0,75	-0,05
43	2.18 E	16.05.2022	08:35	11	0,09	0,16
44	2.15 E	16.05.2022	09:00	11	0,45	-0,03
45	3.19 E	16.05.2022	10:05	11	0,36	-0,06
46	3.20 E	16.05.2022	10:25	10	0,70	-0,12
47	3.18 E	16.05.2022	10:45	11	0,55	-0,15
48	2.15 E	16.05.2022	11:10	11	-0,18	-0,41
49	4.09 E	17.05.2022	08:05	14	0,14	-0,15
50	3.18 E	17.05.2022	08:30	10	0,70	-0,03
51	1.14 E	18.05.2022	08:00	13	0,38	-0,53
52	3.15 E	18.05.2022	08:30	15	0,40	0,05
53	2.18 E	18.05.2022	09:00	11	-0,27	-0,52
54	2.17 E	18.05.2022	10:05	11	0,55	-0,72
55	3.18 E	18.05.2022	10:30	10	0,10	-0,11
56	3.15 E	18.05.2022	12:05	15	0,60	-0,20
57	1.15 E	23.05.2022	08:05	13	0,69	-0,18
58	3.19 E	23.05.2022	08:30	10	0,20	-0,32
59	3.18 E	23.05.2022	10:00	10	0,50	-0,38
60	2.19 E	23.05.2022	10:30	12	0,58	0,20
61	3.19 E	23.05.2022	10:55	10	0,60	-0,01
62	3.18 E	24.05.2022	08:15	11	0,00	-0,06
63	3.15 E	24.05.2022	10:19	11	0,82	0,08
64	3.20 E	24.05.2022	10:45	11	0,73	0,08
65	2.20 E	24.05.2022	12:20	13	0,31	-0,01
66	1.14 E	03.06.2022	08:30	56	0,89	0,31
67	3.20 E	09.06.2022	12:15	15	1,93	0,19
68	13 UJK B	07.06.2022	12:20	16	1,56	0,26
69	13 UJK B	09.06.2022	11:20	16	0,88	0,16
70	106 UJK część B	10.06.2022	16:55	18	1,33	0,21
71	110 UJK część B	10.06.2022	17:35	12	0,33	-0,02
72	119 UJK część B	11.06.2022	08:20	10	0,3	-0,18
73	106 UJK część B	11.06.2022	09:05	11	0,82	0,47
74	236 UJK część A	11.06.2022	09:50	16	1,06	0,22

75	228 UJK część A	11.06.2022	10:20	18	1,28	0,18
76	115 UJK część B	11.06.2022	10:50	14	1,36	0,18
77	110 UJK część B	11.06.2022	11:40	17	0,76	0,00
78	228 UJK część B	12.06.2022	11:25	11	0,64	-0,05
79	13 UJK B	13.06.2022	09:55	11	1,09	-0,17
80	1.08 A	18.10.2021	12:00	25	-0,92	-0,56
81	1.08 A	31.03.2022	12:00	16	0,69	-0,30
82	2.07 A	27.04.2022	08:05	10	1,1	0,07
83	2.09 A	27.04.2022	14:04	11	0	-0,32
84	2.13 A	22.06.2022	14:00	13	1,92	0,47
85	1.03 A	28.06.2022	11:30	20	2,45	1,30
86	4.15 B	05.04.2022	10:00	12	0,42	0,03
87	1.17 B	25.06.2022	12:40	26	2,04	0,94
88	1.20 C	23.06.2022	12:05	32	1,63	0,38
89	2.07 C	25.06.2022	10:00	29	1,62	0,80
90	1.15 C	25.06.2022	11:30	22	2,32	1,18
91	1.15 C	27.06.2022	10:00	15	2,07	1,48
92	1.15 C	27.06.2022	10:30	11	2,36	1,68



**Rys. 33. Porównanie wyników PMV z TSV.**

Na rysunku znajdującym się powyżej znajdują się wyniki uzyskane z ankiet (TSV Thermal Sensations Vote) oraz wyniki obliczone za pomocą wzoru Fanger'a (Predicted Mean Vote). Porównanie wykonano dla 92 pomieszczeń w różnych warunkach klimatycznych. Czerwona linia oznacza 100% zgodności z modelem. Z uzyskanych wyników dla sal dydaktycznych można zauważyć, że dla 64 pomieszczeń wartości PMV nie pokrywają się z wartościami TSV, co potwierdza tezę nr 2. Różnice te są w przedziale od 0,52 do 1,79. Tylko w 28 przypadkach można uznać, że wartości obliczone według modelu Fanger'a są zbliżone do

wartości uzyskanych podczas przeprowadzonych badań na podstawie ankiet. W 27 przypadkach wyniki różniły się o ponad 1. Taka różnica pomiędzy TSV a modelem Fanger'a może być spowodowana nie uwzględnieniem innych czynników wpływających na komfort cieplny człowieka. Dlatego, aby wyniki rzeczywiste były zgodne z modelem, najlepszym rozwiązaniem jest modyfikacja modelu. W rozdziale 6.2 pokazano obliczenia statystyczne, które wykazały, że modyfikacja modelu Fanger'a wykazuje bardziej dokładne średnie odczucia respondentów. Poniżej w tabeli nr 4 przedstawiono zestawienie odsetka osób niezadowolonych z panujących warunków obliczone za pomocą równania Fanger'a [2,3]

$$PPD = 100 - 95 \exp(-0,03353 \cdot PMV^4 - 0,2179 \cdot PMV^2) \quad (60)$$

oraz uzyskane z odpowiedzi respondentów badanych pomieszczeń.

**Tabela 4.** Zestawienie wyników badań dla odsetka osób niezadowolonych z wrażeń cieplnych dla budynków użyteczności publicznej od 19.03.2021 r. do 28.06.2022 r.

Nr	Nr pomieszczenia	Data badania	Godzina wykonania badania	Liczba osób w sali	PPD - odsetek osób niezadowolonych wg ankiet	PPD - przewidywany odsetek osób niezadowolonych wg modelu Fanger'a
1	1.14 E	19.03.2021	10:20	14	14,29	7,31
2	2.20 E	10.06.2021	10:20	12	50	5,15
3	1.14 E	12.06.2021	15:25	11	18,18	6,01
4	1.09 E	05.10.2021	14:00	13	15,38	5,47
5	2.17 E	05.11.2021	12:00	12	16,67	5,74
6	1.14 E	09.01.2022	08:30	16	25	5,25
7	1.14 E	05.03.2022	09:50	13	38,46	5,21
8	2.20 E	08.03.2022	12:20	15	20	9,88
9	2.17 E	29.03.2022	13:00	18	100	12,51
10	4.09 E	31.03.2022	10:00	17	11,76	21,06
11	1.08 E	31.03.2022	10:40	10	30,00	6,52
12	1.09 E	31.03.2022	14:20	15	0,00	6,58
13	1.15 E	31.03.2022	12:55	10	30,00	5,90
14	3.20 E	31.03.2022	13:20	13	46,15	11,35
15	3.15 E	01.04.2022	08:40	12	25,00	5,01
16	2.17 E	01.04.2022	09:00	10	90,00	12,41
17	3.19 E	04.04.2022	08:25	11	27,27	7,27
18	2.15 E	04.04.2022	09:50	11	18,18	9,21
19	3.19 E	04.04.2022	10:13	14	35,71	9,28
20	3.18 E	04.04.2022	10:29	12	0,00	5,02
21	3.20 E	04.04.2022	10:45	11	18,18	8,12
22	2.17 E	05.04.2022	10:40	13	46,15	11,85
23	2.19 E	21.04.2022	10:00	12	25,00	5,88
24	3.18 E	22.04.2022	10:20	12	0,00	5,34
25	3.18 E	25.04.2022	08:05	11	0,00	5,48
26	3.20 E	25.04.2022	08:30	12	58,33	11,59

27	3.19 E	25.04.2022	08:45	12	91,67	8,90
28	3.18 E	25.04.2022	10:00	11	27,27	5,17
29	3.19 E	25.04.2022	10:20	12	66,67	7,66
30	2.18 E	25.04.2022	10:45	13	46,15	9,01
31	2.16 E	28.04.2022	08:35	11	45,45	5,01
32	2.19 E	28.04.2022	08:51	14	64,29	11,26
33	4.09 E	28.04.2022	10:48	17	35,29	5,84
34	2.16 E	28.04.2022	11:10	11	27,27	5,71
35	4.09 E	28.04.2022	12:00	20	15,00	7,49
36	2.17 E	28.04.2022	12:36	11	72,73	6,54
37	3.20 E	28.04.2022	12:56	13	38,46	9,17
38	3.15 E	28.04.2022	13:30	16	6,25	5,06
39	3.15 E	08.05.2022	16:45	13	15,38	5,22
40	4.09 E	13.05.2022	12:00	24	12,50	8,22
41	1.14 E	13.05.2022	07:57	14	35,71	5,04
42	3.19 E	16.05.2022	08:15	12	25,00	5,04
43	2.18 E	16.05.2022	08:35	11	9,09	5,50
44	2.15 E	16.05.2022	09:00	11	9,09	5,02
45	3.19 E	16.05.2022	10:05	11	9,09	5,07
46	3.20 E	16.05.2022	10:25	10	30,00	5,32
47	3.18 E	16.05.2022	10:45	11	27,27	5,48
48	2.15 E	16.05.2022	11:10	11	0,00	8,50
49	4.09 E	17.05.2022	08:05	14	0,00	5,48
50	3.18 E	17.05.2022	08:30	10	10,00	5,02
51	1.14 E	18.05.2022	08:00	13	15,38	10,90
52	3.15 E	18.05.2022	08:30	15	6,67	5,05
53	2.18 E	18.05.2022	09:00	11	27,27	10,76
54	2.17 E	18.05.2022	10:05	11	9,09	15,96
55	3.18 E	18.05.2022	10:30	10	0,00	5,27
56	3.15 E	18.05.2022	12:05	15	20,00	5,83
57	1.15 E	23.05.2022	08:05	13	7,69	5,70
58	3.19 E	23.05.2022	08:30	10	0,00	7,07
59	3.18 E	23.05.2022	10:00	10	10,00	8,06
60	2.19 E	23.05.2022	10:30	12	16,67	5,87
61	3.19 E	23.05.2022	10:55	10	20,00	5,00
62	3.18 E	24.05.2022	08:15	11	18,18	5,08
63	3.15 E	24.05.2022	10:19	11	9,09	5,14
64	3.20 E	24.05.2022	10:45	11	9,09	5,12
65	2.20 E	24.05.2022	12:20	13	0,00	5,00
66	1.14 E	03.06.2022	08:30	56	25,00	6,98
67	3.20 E	09.06.2022	12:15	15	80,00	5,73
68	13 UJK B	07.06.2022	12:20	16	68,75	6,36
69	13 UJK B	09.06.2022	11:20	16	18,75	5,51
70	106 UJK część B	10.06.2022	16:55	18	55,57	5,88
71	110 UJK część B	10.06.2022	17:35	12	8,33	5,01
72	119 UJK część B	11.06.2022	08:20	10	20	5,64
73	106 UJK część B	11.06.2022	09:05	11	18,18	6,66
74	236 UJK część A	11.06.2022	09:50	16	37,5	9,54
75	228 UJK część A	11.06.2022	10:20	18	50	6,01
76	115 UJK część B	11.06.2022	10:50	14	57,14	5,71
77	110 UJK część B	11.06.2022	11:40	17	11,76	5,00

78	228 UJK część B	12.06.2022	11:25	11	0	5,05
79	13 UJK B	13.06.2022	09:55	11	27,27	5,62
80	1.08 A	18.10.2021	12:00	25	48	11,62
81	1.08 A	31.03.2022	12:00	16	18,75	6,86
82	2.07 A	27.04.2022	08:05	10	30	5,10
83	2.09 A	27.04.2022	14:04	11	0	7,13
84	2.13 A	22.06.2022	14:00	13	76,92	9,62
85	1.03 A	28.06.2022	11:30	20	90	40,33
86	4.15 B	05.04.2022	10:00	12	0	5,02
87	1.17 B	25.06.2022	12:40	26	80,77	23,70
88	1.20 C	23.06.2022	12:05	32	62,5	7,93
89	2.07 C	25.06.2022	10:00	29	72,41	18,55
90	1.15 C	25.06.2022	11:30	22	86,36	34,46
91	1.15 C	27.06.2022	10:00	15	86,67	49,91
92	1.15 C	27.06.2022	10:30	11	81,82	60,58

W powyższej tabeli można zauważyć, jak przedstawia się PPD wyrażone w [%] obliczone za pomocą równania (60) oraz to wyznaczone na podstawie ankiet. Tylko w dwóch przypadkach wartości te są zbliżone do siebie. Wskaźnik PPD obliczony wg modelu Fanger'a nie przewiduje w sposób prawidłowy rzeczywistych odczuć, co potwierdziło tezę nr 2. W tabeli nr 6 pokazano obliczenia dla średniej różnicy pomiędzy rzeczywistym odsetkiem osób niezadowolonych a PPD (dla modelu Fanger'a i po modyfikacji), w której widać znaczącą poprawę dla PPD zmodyfikowanego niż model PPD wg Fanger'a. W pracy [150,151] również można zauważyć różnice między PPD wyznaczone z ankiet a PPD obliczonym ze wzoru.

## 6.2. Modyfikacja modelu Fanger'a

Na podstawie analizy wyników badań eksperymentalnych i stwierdzeniu różnic między rzeczywistymi wynikami średniej oceny wrażeń cieplnych (TSV) a przewidywanymi ocenami wrażeń cieplnych (PMV) przeprowadzono modyfikację modelu Fanger'a. Modyfikacja modelu Fanger'a ma na celu poprawienie przewidywania wrażeń termicznych, tak aby uzyskać jak najbliższy związek między PMV a TSV o dodanie nowych elementów, które wykazały się istotne w analizie statystycznej, a nie zostały zawarte w zaproponowanym modelu P.O Fanger'a.

W rozdziale 5.3.1.8 przedstawiono analizę statystyczną czynników, które mają wpływ na wrażenia termiczne. Czynniki te są to BMI, liczba osób na jednostkę kubatury, oświetlenie oraz stężenie CO<sub>2</sub>. Po dokładnej analizie okazało się, że najbardziej istotnymi czynnikami wpływającymi na odczucia cieplne badanych pomieszczeń miał wskaźnik BMI i stężenie dwutlenku węgla. W związku z tym zastosowano metodę BACKWARD selekcji zmiennych w modelu regresji liniowej [Ma], za pomocą, której wyeliminowano wpływ

natężenia oświetlenia oraz liczbę osób na kubaturę, ponieważ okazały jako statystycznie nieistotne.

Do wyboru modelu, spośród większej liczby modeli, zastosowano kryterium statystyczne, które pozwala porównać ze sobą dwa ustalone modele ([152] test średniej różnicy, Uwaga 2. str.66, [148] metoda zmiennych połączonych, Model 5. str.96, [153] test dla par obserwacji „przed” i „po”, str.204/205). Następnie, wychodząc od modelu Fangera, kolejne modele są modyfikowane, do momentu, gdy można uzasadnić statystycznie istotną poprawę.

Poniżej, metoda ta jest omówiona na przykładzie dwóch modeli nazwanych umownie A i B. Dla odczuć termicznych

$$TSV_1, TSV_2, \dots, TSV_n \quad (61)$$

uzyskanych w poszczególnych pomieszczeniach w wyniku badań, model A przewiduje wartości

$$Y_1^{(A)}, Y_2^{(A)}, \dots, Y_n^{(A)} \quad (62)$$

Dokładność ocen tego modelu może być wyrażona przez ciąg

$$d_1^{(A)}, d_2^{(A)}, \dots, d_n^{(A)} \quad (63)$$

odległości prawdziwych odczuć termicznych (60) od przewidywań modelu (61). Czyli

$$d_1^{(A)} = |TSV_i - Y_i^{(A)}|, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (64)$$

Analogicznie, dla modelu B określa się ciąg

$$Y_1^{(B)}, Y_2^{(B)}, \dots, Y_n^{(B)} \quad (65)$$

przewidywań odczuć termicznych oraz ciąg

$$d_1^{(B)}, d_2^{(B)}, \dots, d_n^{(B)} \quad (66)$$

odległości prawdziwych odczuć termicznych (60) od przewidywań modelu (64). Czyli

$$d_1^{(B)} = |TSV_i - Y_i^{(B)}|, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (67)$$

Jeżeli model B jest dokładniejszy (daje mniejsze odległości od TSV), to należy oczekiwać, że różnice

$$e_i = d_i^{(A)} - d_i^{(B)}, i = 1, 2, \dots, n \quad (68)$$

będą przeciętnie dodatnie. Można to wyrazić w języku testowania hipotez. Jeżeli  $m^{(A)}$  jest przeciętną (teoretyczną) odległością od TSV dla modelu A,  $m^{(B)}$  jest przeciętną (teoretyczną) odległością od TSV dla modelu B oraz  $\delta m = m^{(A)} - m^{(B)}$ , to fakt, że model B jest dokładniejszy od modelu A, będzie statystycznie potwierdzony, gdy hipoteza  $H_0: \delta m = 0$  zostanie odrzucona na korzyść hipotezy  $H_1: \delta m > 0$ . W tym celu oblicza się wartość statystyki

$$t_e = \frac{\bar{e}}{s_e} \sqrt{n-1} \quad (69)$$

gdzie

$$\bar{e} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n e_i, \quad s_e = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (e_i - \bar{e})^2} \quad (70)$$

Jeżeli hipoteza zerowa jest prawdziwa, to statystyka (68) ma rozkład t-Studenta o  $n - 1$  stopniach swobody. Ze względu na postać hipotezy alternatywnej, obszar odrzuceń hipotezy zerowej jest prawostronny

$$1,6618 \text{ do } +\infty \quad (71)$$

Liczba 1,6618 jest kwantylem rzędu 0,95 rozkładu t-Studenta o 91 stopniach swobody (poziom istotności 0,05).

Na początku przyjęto model startowy, czyli model Fangera (PMV - Predicted Mean Vote).

$$Y^{(I)} = PMV^{(F)} \quad (72)$$

Dla tego modelu otrzymano średnią odległość od TSV

$$\bar{d}^{(I)} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |TSV_i - Y_i^{(I)}| = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |TSV_i - PMV_i^{(F)}| \approx 0,770 \quad (73)$$

Odległość ta jest dość duża, gdyż komfort cieplny wyrażany jest w skali odczuć: -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3. Czyli średnia odległość 0,77, to prawie 1 stopień w skali odczuć.

W pierwszym kroku rozważono dwa kierunki modyfikacji modelu:

- uwzględnienie BMI w sposób fizyczny,
- liniową modyfikację modelu Fangera.



Grubość tkanki podskórnej odnosi się do ilości tłuszczu gromadzącego się pod skórą w różnych obszarach ciała. Tkanka tłuszczowa działa jako izolator cieplny i może wpływać na zdolność organizmu do regulacji temperatury w zależności od jej ilości i od rozmieszczenia. Na przykład osoby z większą ilością tkanki tłuszczowej mogą mieć tendencję do odczuwania mniej zimna w porównaniu do osób o niższej zawartości tłuszczu. Jednak w przypadku wysokich temperatur tkanka tłuszczowa może utrudniać odprowadzanie ciepła z ciała, co może prowadzić do uczucia dyskomfortu w upalne dni. Osoby, które mają większą masę ciała głównie w postaci tkanki tłuszczowej (a nie mięśniowej), mogą mieć tendencję do trudniejszego regulowania temperatury ciała w warunkach gorąca, co może prowadzić do uczucia przegrzania. Tkanka tłuszczowa działa jako izolator cieplny i może utrudniać proces odprowadzania ciepła z ciała, co może być problematyczne w przypadku wysokich temperatur. Stąd zdecydowano się na modyfikację modelu Fangera w ten sposób, że fakt obecności tkanki tłuszczowej podskórnej o określonej grubości (będącej funkcją BMI), będzie uwzględniony jako dodatkowa warstwa izolacji termicznej (obok ubioru). Na podstawie pracy badawczej [154], z których w drodze regresji liniowej uzyskano zależność na grubość tkanki tłuszczowej w warstwie brzusznej i analizy danych zawartych w [155,156], dotyczących grubości tkanki tłuszczowej w innych częściach ciała określono zależność na średnią grubość tkanki tłuszczowej w funkcji indeksu BMI według poniższego wzoru:

$$d = \frac{1,08BMI - 8,2}{5000} [m] \quad (74)$$

Podzielenie powyższej wartości przez współczynnik przewodzenia ciepła tkanki tłuszczowej prowadzi do wartości oporu przewodzenia ciepła, który powiększa opór generowany przez ubranie i stosowany w modelu oryginalnym  $I_{cl}^{(1)}$ , co prowadzi do wzoru na zmodyfikowany opór cieplny ( $I_{cl}^{(2)}$ ) zgodnie ze wzorem poniżej:

$$I_{cl}^{(2)} = I_{cl}^{(1)} + \frac{1,02BMI - 8,2}{1150} \quad (75)$$

gdzie  $I_{cl}^{(1)}$  oznacza izolacyjność cieplną odzieży obliczaną tradycyjnie. Tak wyznaczona nowa wartość oporu cieplnego (uwzględniająca zwiększoną izolacyjność cieplną generowaną przez obecność tkanki tłuszczowej) zostanie wykorzystana do modyfikacji modelu Fangera. Model Fangera po uwzględnieniu tej modyfikacji będzie oznaczany

$$Y^{(II)} = PMV^{(BMI)} \quad (76)$$

Model ten daje lepszą średnią odległość od TSV

$$\bar{d}^{(II)} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |TSV_i - Y_i^{(II)}| = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |TSV_i - PMV_i^{(BMI)}| \approx 0,642 \quad (77)$$

Wyniki dla testu (68) podane są w tabeli.

$\bar{d}^{(I)}$	$\bar{d}^{(II)}$	n	$\bar{e} = \bar{d}^{(I)} - \bar{d}^{(II)}$	$s_e$	$t_e$
0,770	0,642	92	0,127	0,0637	19,07

Warto podkreślić, że modyfikacja modelu  $Y^{(I)} \rightarrow Y^{(II)}$  jest wybitnie istotna. Wartość statystyki testowej 19,07 jest ogromna w stosunku do przyjętej wymaganej wartości krytycznej 1,6618.

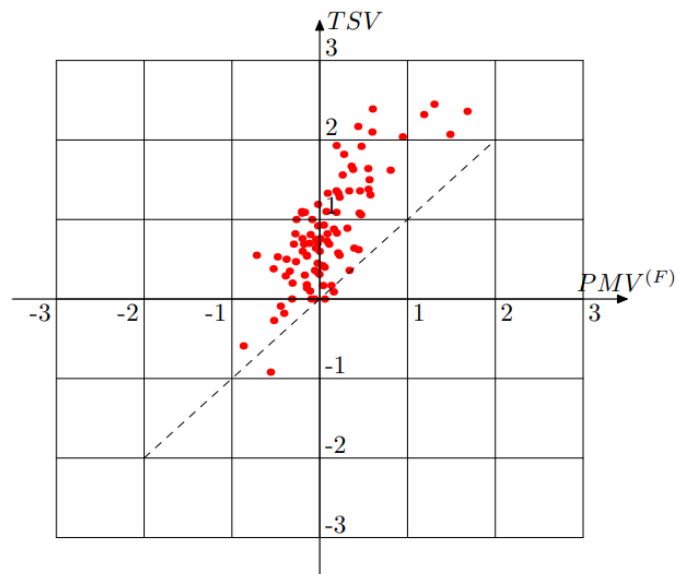
Kolejno wykonano liniową modyfikację modelu Fangera. Propozycja liniowej modyfikacji modelu Fangera zgodnie z wzorem

$$Y^{(III)} = a_3 PMV^{(F)} + b_3 \quad (78)$$

jest skutkiem wzrokowej oceny diagramu korelacyjnego, na którym umieszczono pary

$$(PMV_i^{(F)}, TSV_i), i = 1, 2, \dots, n \quad (79)$$

Poniżej na Rys. 34 przedstawiono diagram korelacyjny między PMV a TSV.



Rys. 34. Diagram korelacyjny PMV/TSV

Zgrupowanie par punktów jest odchylone od prostej  $y = x$ . Odchylenie to może zostać zmniejszone przez dobór parametrów modelu (77). Do tego celu można zastosować metodę najmniejszych kwadratów (MNK), która w rozważanej sytuacji polega na minimalizacji sumy

$$S(a, b) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (TSV_i - aPMV_i - b)^2 \quad (80)$$

Wartości parametrów  $a$  i  $b$ , dla których minimum jest realizowane, mogą być obliczone z układu

$$\begin{cases} \frac{\partial S}{\partial a} = 0 \\ \frac{\partial S}{\partial b} = 0 \end{cases} \quad (81)$$

Stąd

$$\begin{cases} \frac{\partial S}{\partial a} = \sum_{i=1}^n 2(TSV_i - aPMV_i - b)^2 (-PMV_i) = 0 \\ \frac{\partial S}{\partial b} = \sum_{i=1}^n 2(TSV_i - aPMV_i - b)^2 (-1) = 0 \end{cases} \quad (82)$$

Efektom podzielenia każdego równania przez 2, rozbicia sum oraz przeniesienia jednego składnika na prawą stronę w każdym równaniu, jest układ

$$\begin{cases} a \sum_{i=1}^n PMV_i^2 + b \sum_{i=1}^n PMV_i = \sum_{i=1}^n TSV_i \cdot PMV_i \\ a \sum_{i=1}^n PMV_i + nb = \sum_{i=1}^n TSV_i \end{cases} \quad (83)$$

Stosując układ (82) do wyznaczenia parametrów modelu (77) otrzymano

$$a_3 = \frac{\begin{vmatrix} \sum_{i=1}^n TSV_i \cdot PMV_i^{(F)} & \sum_{i=1}^n PMV_i^{(F)} \\ \sum_{i=1}^n TSV_i & n \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} \sum_{i=1}^n [PMV_i^{(F)}]^2 & \sum_{i=1}^n PMV_i^{(F)} \\ \sum_{i=1}^n PMV_i^{(F)} & n \end{vmatrix}} \approx \frac{\begin{vmatrix} 28,746 & 8,50 \\ 78,38 & 92 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 18,248 & 8,50 \\ 8,50 & 92 \end{vmatrix}} \approx \frac{1978,4}{1606,6} \approx 1,23 \quad (84)$$

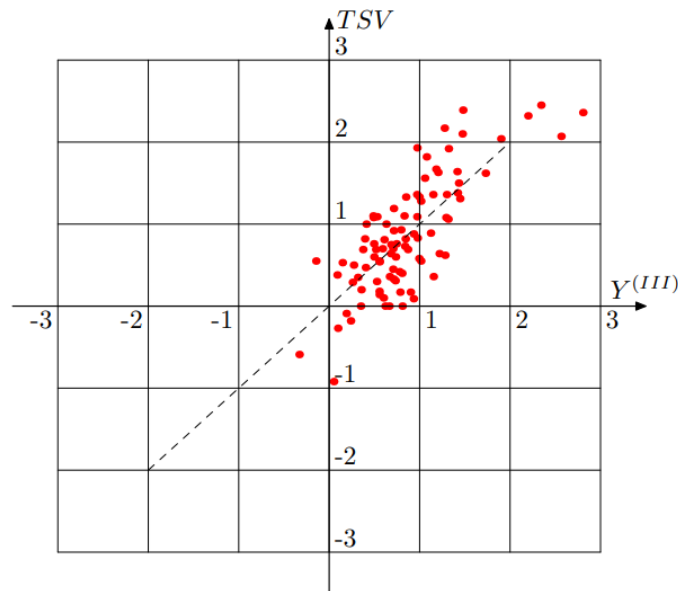
oraz

$$b_3 = \frac{\begin{vmatrix} \sum_{i=1}^n [PMV_i^{(F)}]^2 & \sum_{i=1}^n TSV_i \cdot PMV_i^{(F)} \\ \sum_{i=1}^n PMV_i^{(F)} & \sum_{i=1}^n TSV_i \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} \sum_{i=1}^n [PMV_i^{(F)}]^2 & \sum_{i=1}^n PMV_i^{(F)} \\ \sum_{i=1}^n PMV_i^{(F)} & n \end{vmatrix}} \approx \frac{\begin{vmatrix} 18,248 & 28,746 \\ 8,50 & 78,38 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 18,248 & 8,50 \\ 8,50 & 92 \end{vmatrix}} \approx \frac{1185,9}{1606,6} \approx 0,74 \quad (85)$$

Zatem model (77) ma postać

$$Y^{(III)} = 1,23PMV^{(F)} + 0,74 \quad (86)$$

Na kolejnym diagramie korelacyjnym otrzymany model (85) jest porównany z rzeczywistymi odczuciami cieplnymi TSV.



**Rys. 35. Diagram korelacyjny Y(III)/TSV**

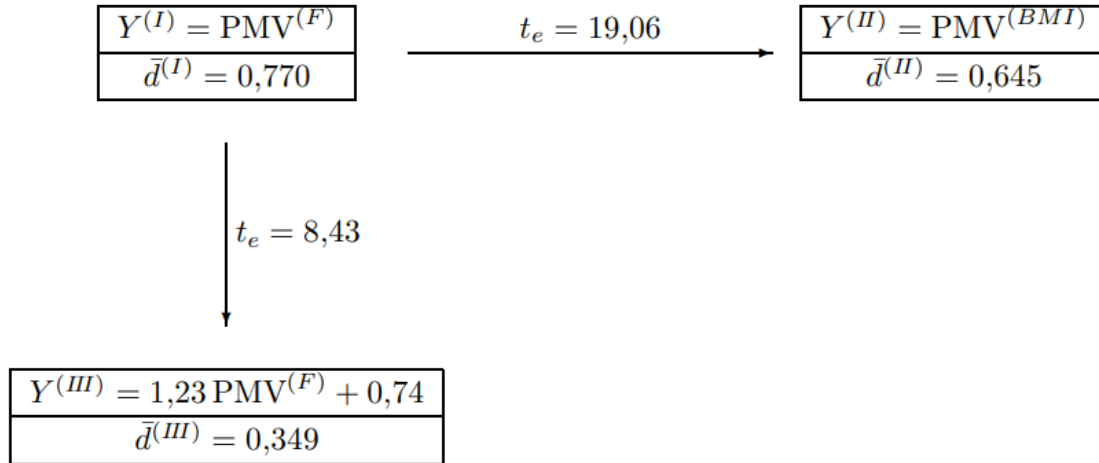
Obliczono średnią odległość od TSV dla modelu (45):

$$\bar{d}^{(III)} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |TSV_i - Y_i^{(III)}| = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |TSV_i - 1,23PMV_i^{(F)} - 0,74| \approx 0,349 \quad (87)$$

Wyniki dla testu (68) podane są w tabeli.

$\bar{d}^{(I)}$	$\bar{d}^{(III)}$	n	$\bar{e} = \bar{d}^{(I)} - \bar{d}^{(III)}$	$s_e$	$t_e$
0,770	0,349	92	0,420	0,4754	8,43

Również tym razem modyfikacja modelu  $Y^{(I)} \rightarrow Y^{(III)}$  jest bardzo istotna ze względu na nierówność  $8,43 > 1,6618$ . Dotychczas przedstawiona praca nad modyfikowaniem modelu Fangera zilustrowana jest na diagramie.



Brakującym wierzchołkiem diagramu jest model

$$Y^{(IV)} = a_4 PMV^{(BMI)} + b_4 \quad (88)$$

który jest liniową modyfikacją modelu  $Y^{(II)}$ . Z wzorów analogicznych do (43) i (44) obliczono

$$a_4 \approx 1,32, b_4 \approx 0,54 \quad (89)$$

Stąd

$$Y^{(IV)} = 1,32 PMV^{(BMI)} + 0,54 \quad (90)$$

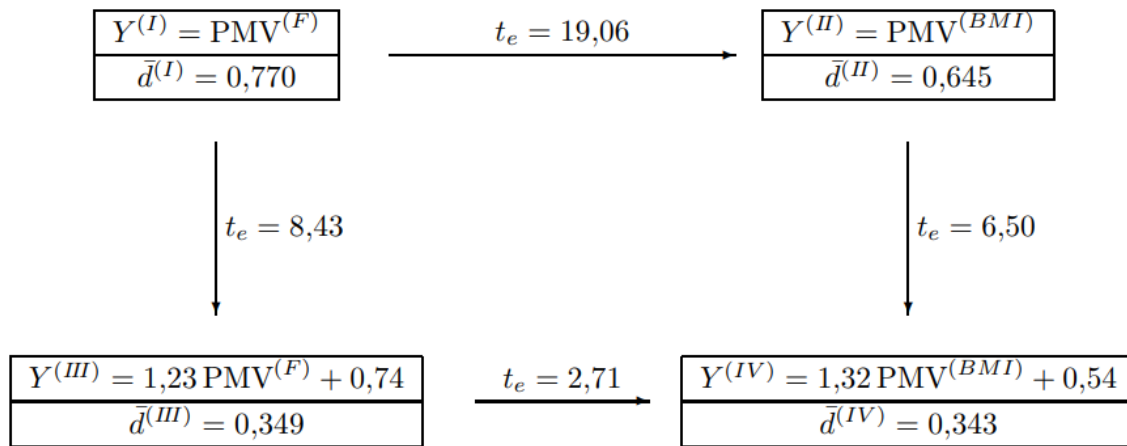
W tabeli zamieszczono porównanie modelu (89) z modelem  $Y^{(II)}$ .

$\bar{d}^{(II)}$	$\bar{d}^{(IV)}$	n	$\bar{e} = \bar{d}^{(II)} - \bar{d}^{(IV)}$	$s_e$	$t_e$
0,642	0,343	92	0,299	0,4395	6,50

Nierówność  $6,50 > 1,6618$  potwierdza, że model  $Y^{(IV)}$  opisuje TSV istotnie lepiej w porównaniu z modelem  $Y^{(II)}$ . Kolejna tabela zawiera statystyczną ocenę modyfikacji  $Y^{(III)} \rightarrow Y^{(IV)}$ .

$\bar{d}^{(III)}$	$\bar{d}^{(IV)}$	n	$\bar{e} = \bar{d}^{(III)} - \bar{d}^{(IV)}$	$s_e$	$t_e$
0,349	0,343	92	0,006	0,0226	2,71

Nierówność  $2,71 > 1,6618$  potwierdza statystyczną istotność modyfikacji  $Y^{(III)} \rightarrow Y^{(IV)}$ , lecz nie jest już tak wyraźna, jak w trzech wcześniejszych modyfikacjach. Wyniki porównań uzyskanych modeli przedstawiono na uzupełnionym diagramie.



W kolejnej próbie wykonano uwzględnienie stężenia dwutlenku węgla w modelu. Pomimo tego, że wykazano istotną korelację pomiędzy  $CO_2$  i TSV, to jednak próby uwzględnienia  $CO_2$  w modelu nie powiodły się. Podejmowano próby uwzględnienia  $CO_2$  w sposób fizyczny (poprzez hipotetyczne oddziaływanie  $CO_2$  na wybrane parametry występujące we wzorze Fangera) oraz za pomocą regresji liniowej. Punktem wyjścia podczas tych prób były skorygowane modele  $Y^{(III)}$  i  $Y^{(IV)}$ , które okazały się wyraźnie lepsze od modeli  $Y^{(I)}$  i  $Y^{(II)}$ . Czyli trudność mogła polegać na tym, że ewentualny model uwzględniający  $CO_2$  musiałby być istotnie lepszy od modeli, które już zostały ulepszone. W celu zilustrowania omówionej trudności, poniżej przedstawiona jest próba uwzględnienia  $CO_2$  za pomocą regresji liniowej.

Liniową modyfikacją modelu (85), uwzględniającą wpływ  $CO_2$ , jest model

$$Y^{(V)} = a_5 PMV^{(F)} + b_5 CO_2 + c_5 \quad (91)$$

oraz analogicznie dla modelu (89), model

$$Y^{(VI)} = a_6 PMV^{(BMI)} + b_6 CO_2 + c_6 \quad (92)$$

Rozwiązanie zadania MNK dla funkcji

$$S(a, b, c) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (TSV_i - a PMV_i - b CO_2 - c)^2 \quad (93)$$

pozwoły wyznaczyć wartości współczynników obu modeli (83) i (84). Minimalna suma kwadratów realizowana jest w punkcie znikania pochodnych cząstkowych

$$\begin{cases} \frac{\partial S}{\partial a} = 0 \\ \frac{\partial S}{\partial b} = 0 \\ \frac{\partial S}{\partial c} = 0 \end{cases} \quad (94)$$

co prowadzi do układu równań

$$\begin{cases} a \sum_{i=1}^n PMV_i^2 + b \sum_{i=1}^n PMV_i + c \sum_{i=1}^n PMV_i = \sum_{i=1}^n TSV_i \cdot PMV_i \\ a \sum_{i=1}^n PMV_i \cdot CO_2 + b \sum_{i=1}^n CO_2^2 + c \sum_{i=1}^n CO_2 = \sum_{i=1}^n TSV_i \cdot CO_2 \\ a \sum_{i=1}^n PMV_i + b \sum_{i=1}^n CO_2 + nc = \sum_{i=1}^n TSV_i \end{cases} \quad (95)$$

Rozwiązując układ metodą wyznacznikową dla modelu (90) otrzymano

$$a_5 \approx 1,21, b_5 \approx 0,00024, c_5 \approx 0,53 \quad (96)$$

czyli

$$Y^{(V)} = 1,21PMV^{(F)} + 0,00024CO_2 + 0,53 \quad (97)$$

Rozwiązując podobnie układ dla modelu (91) otrzymano

$$a_6 \approx 1,30, b_6 \approx 0,00023, c_6 \approx 0,34 \quad (98)$$

czyli

$$Y^{(VI)} = 1,30PMV^{(BMI)} + 0,00023CO_2 + 0,34 \quad (99)$$

Test istotności modyfikacji  $Y^{(III)} \rightarrow Y^{(V)}$  przedstawiony jest w tabeli.

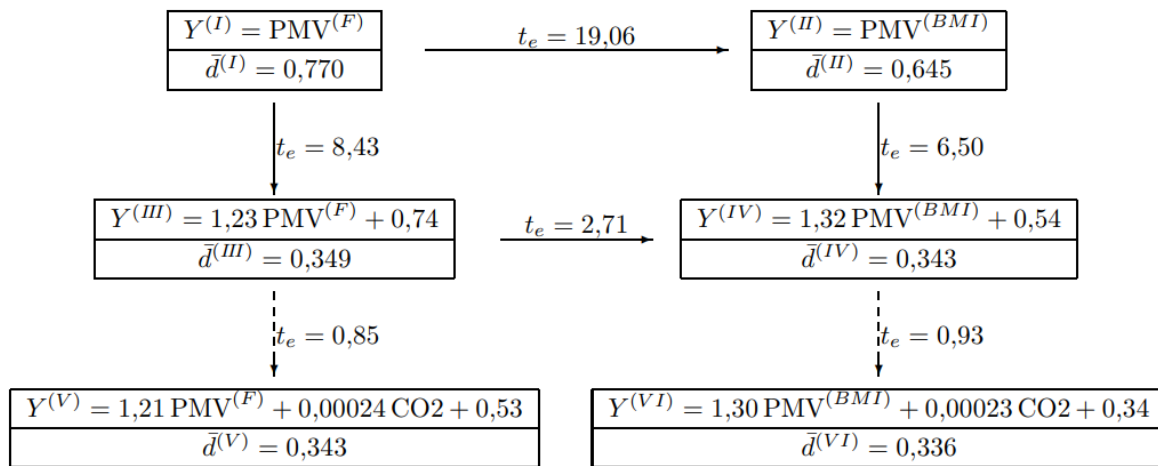
$\bar{d}^{(III)}$	$\bar{d}^{(V)}$	n	$\bar{e} = \bar{d}^{(III)} - \bar{d}^{(V)}$	$s_e$	$t_e$
0,349	0,343	92	0,007	0,0733	0,85

Poniżej przedstawiony jest test modyfikacji  $Y^{(IV)} \rightarrow Y^{(VI)}$ .

$\bar{d}^{(IV)}$	$\bar{d}^{(VI)}$	n	$\bar{e} = \bar{d}^{(IV)} - \bar{d}^{(VI)}$	$s_e$	$t_e$
------------------	------------------	---	---	-------	-------

0,343	0,3336	92	0,007	0,0714	0,93
-------	--------	----	-------	--------	------

Obydwie modyfikacje nie są istotnie statystycznie, gdyż zarówno  $0,85 < 1,6618$ , jak również  $0,93 < 1,6618$ .



Dwa ostatnie modele zostały wkomponowane w diagram ilustrujący proces modyfikacji modelu Fangera. Jako efekt końcowy tego procesu, na podstawie dostępnych danych, należy uznać model  $Y^{(IV)}$ .

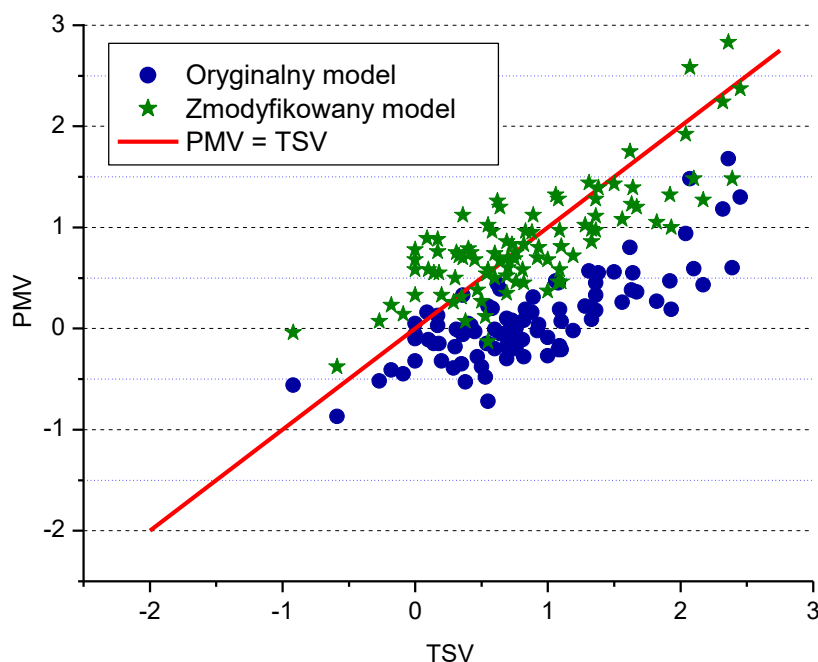
Nowy wzór do oceny wrażeń ciepłych PMV przedstawiono w równaniu (100):

$$\left. \begin{aligned}
 & PMV = 0,54 + 1,32 \cdot [0,303 \cdot \exp(-0,036 \cdot M) + 0,028] \\
 & \left\{ \begin{aligned}
 & (M - W) - 3,05 \cdot 10^{-3} \cdot [5733 - 6,99 \cdot (M - W) - p_a] - 0,42 \cdot [(M - W) - 58,15] \\
 & - 1,7 \cdot 10^{-5} \cdot M \cdot (5867 - p_a) - 0,0014 \cdot M \cdot (34 - t_a) \\
 & - 3,96 \cdot 10^{-8} \cdot f_{cl} \cdot [(t_{cl} + 273)^4 - (\bar{t}_r + 273)^4] - f_{cl} \cdot h_c \cdot (t_{cl} + t_a)
 \end{aligned} \right\} \quad (100)
 \end{aligned}$$

a także zmiana przy temperaturze powierzchni odzieży ( $t_{cl}$ ) według równania (34) z uwzględnieniem modyfikacji równania (75).

Po przeprowadzonej modyfikacji dotyczącej trzech zmiennych dokonano jej weryfikacji. Wyniki nowego wskaźnika PMV dają zdecydowanie lepsze efekty niż równanie Fangera (33), co zdecydowanie potwierdza tezę numer 3. Poniższy wykres (Rys. 36) przedstawia porównanie modelu Fangera z modelem zmodyfikowanym.





**Rys. 36. Porównanie wyników wg modyfikacji modelu PMV i modelu oryginalnego.**

Wykres Rys. 36 przedstawia modyfikację modelu Fanger'a uwzględniającą wskaźnik BMI i dwie stałe. Niebieskimi punktami oznaczono badania na podstawie ankiet i obliczeń wzoru PMV. Zielonymi punktami zaznaczono wyniki po modyfikacji wzoru PMV, zaś czerwona linia jest to 100% zgodności z modelem Fanger'a. Z powyższego wykresu zauważyć można, że wyniki po modyfikacji modelu są znacznie bliżej idealnego dopasowania niż wyniki oznaczone kolorem niebieskim. Wykres pokazuje znaczną poprawę przy modyfikacji formuły, co potwierdzono wcześniej wynikami analizy statystycznej, co potwierdza tezę 3. W tabeli nr 5 przedstawiono wartości dla zmodyfikowanego modelu.

**Tabela 5.** Zestawienie wyników badań dla średniej oceny wrażeń cieplnych dla budynków użyteczności publicznej od 19.03.2021 r. do 28.06.2022 r.

Nr	Nr pomieszczenia	Data badania	Liczba osób w sali	TSV - średnie odczucie wg ankiet	PMV - przewidywana średnia ocena wg modelu Fanger'a	PMV wg zmodyfikowanego modelu Fanger'a
1	1.14 E	19.03.2021	14	0,36	0,33	1,12
2	2.20 E	10.06.2021	12	1,33	0,09	0,86
3	1.14 E	12.06.2021	11	0,55	0,22	1,02
4	1.09 E	05.10.2021	13	0,54	-0,15	0,54
5	2.17 E	05.11.2021	12	0,83	0,19	0,96
6	1.14 E	09.01.2022	16	0,81	-0,11	0,58
7	1.14 E	05.03.2022	13	0	-0,10	0,58
8	2.20 E	08.03.2022	15	0,53	-0,48	0,12

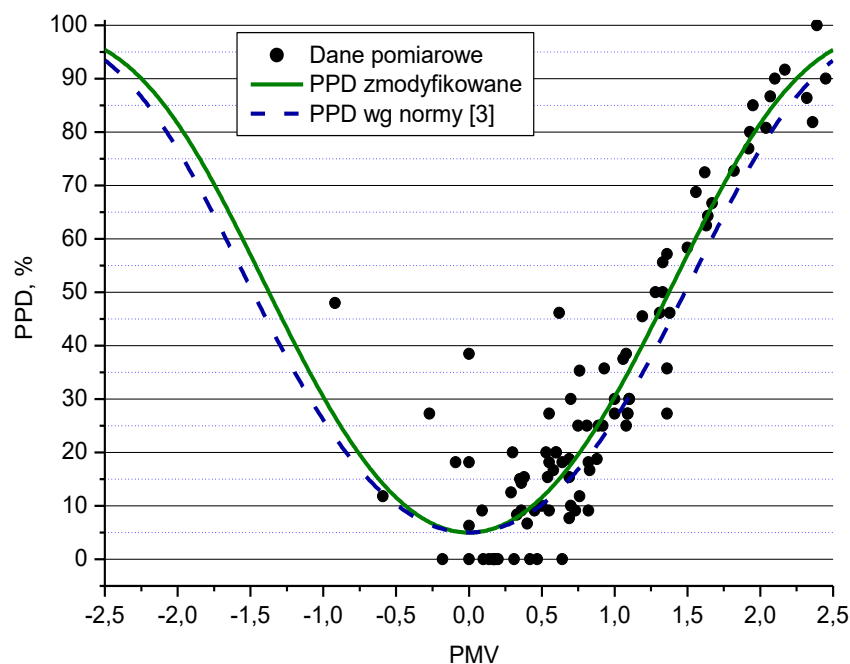
9	2.17 E	29.03.2022	18	2,39	0,60	1,48
10	4,09 E	31.03.2022	17	-0,59	-0,87	-0,38
11	1.08 E	31.03.2022	10	1,00	-0,27	0,37
12	1.09 E	31.03.2022	15	0,47	-0,28	0,38
13	1.15 E	31.03.2022	10	1,10	-0,21	0,46
14	3.20 E	31.03.2022	13	1,38	0,55	1,39
15	3.15 E	01.04.2022	12	0,92	-0,02	0,70
16	2.17 E	01.04.2022	10	2,10	0,59	1,48
17	3.19 E	04.04.2022	11	1,36	0,33	1,11
18	2.15 E	04.04.2022	11	-0,09	-0,45	0,14
19	3.19 E	04.04.2022	14	1,36	0,45	1,28
20	3.18 E	04.04.2022	12	0,17	0,03	0,76
21	3.20 E	04.04.2022	11	0,64	0,39	1,20
22	2.17 E	05.04.2022	13	1,31	0,57	1,44
23	2.19 E	21.04.2022	12	1,08	-0,21	0,46
24	3.18 E	22.04.2022	12	0,17	0,13	0,88
25	3.18 E	25.04.2022	11	0,18	-0,15	0,55
26	3.20 E	25.04.2022	12	1,50	0,56	1,43
27	3.19 E	25.04.2022	12	2,17	0,43	1,27
28	3.18 E	25.04.2022	11	1,00	-0,09	0,68
29	3.19 E	25.04.2022	12	1,67	0,36	1,20
30	2.18 E	25.04.2022	13	0,62	0,44	1,26
31	2.16 E	28.04.2022	11	1,19	-0,02	0,72
32	2.19 E	28.04.2022	14	1,64	0,55	1,39
33	4.09 E	28.04.2022	17	0,76	-0,20	0,46
34	2.16 E	28.04.2022	11	1,09	0,19	0,97
35	4.09 E	28.04.2022	20	0,35	-0,35	0,31
36	2.17 E	28.04.2022	11	1,82	0,27	1,05
37	3.20 E	28.04.2022	13	1,08	0,45	1,28
38	3.15 E	28.04.2022	16	0,00	0,05	0,78
39	3.15 E	08.05.2022	13	0,69	0,10	0,86
40	4.09 E	13.05.2022	24	0,29	-0,39	0,26
41	1.14 E	13.05.2022	14	0,93	0,04	0,80
42	3.19 E	16.05.2022	12	0,75	-0,05	0,69
43	2.18 E	16.05.2022	11	0,09	0,16	0,89
44	2.15 E	16.05.2022	11	0,45	-0,03	0,68
45	3.19 E	16.05.2022	11	0,36	-0,06	0,70
46	3.20 E	16.05.2022	10	0,70	-0,12	0,60
47	3.18 E	16.05.2022	11	0,55	-0,15	0,58
48	2.15 E	16.05.2022	11	-0,18	-0,41	0,23
49	4.09 E	17.05.2022	14	0,14	-0,15	0,55
50	3.18 E	17.05.2022	10	0,70	-0,03	0,70
51	1.14 E	18.05.2022	13	0,38	-0,53	0,07
52	3.15 E	18.05.2022	15	0,40	0,05	0,79
53	2.18 E	18.05.2022	11	-0,27	-0,52	0,07
54	2.17 E	18.05.2022	11	0,55	-0,72	-0,13
55	3.18 E	18.05.2022	10	0,10	-0,11	0,58
56	3.15 E	18.05.2022	15	0,60	-0,20	0,50
57	1.15 E	23.05.2022	13	0,69	-0,18	0,52

58	3.19 E	23.05.2022	10	0,20	-0,32	0,33
59	3.18 E	23.05.2022	10	0,50	-0,38	0,27
60	2.19 E	23.05.2022	12	0,58	0,20	0,96
61	3.19 E	23.05.2022	10	0,60	-0,01	0,74
62	3.18 E	24.05.2022	11	0,00	-0,06	0,68
63	3.15 E	24.05.2022	11	0,82	0,08	0,83
64	3.20 E	24.05.2022	11	0,73	0,08	0,83
65	2.20 E	24.05.2022	13	0,31	-0,01	0,75
66	1.14 E	03.06.2022	56	0,89	0,31	1,12
67	3.20 E	09.06.2022	15	1,93	0,19	1,00
68	13 UJK B	07.06.2022	16	1,56	0,26	1,08
69	13 UJK B	09.06.2022	16	0,88	0,16	0,95
70	106 UJK część B	10.06.2022	18	1,33	0,21	0,98
71	110 UJK część B	10.06.2022	12	0,33	-0,02	0,72
72	119 UJK część B	11.06.2022	10	0,3	-0,18	0,50
73	106 UJK część B	11.06.2022	11	0,82	0,47	0,45
74	236 UJK część A	11.06.2022	16	1,06	0,22	1,32
75	228 UJK część A	11.06.2022	18	1,28	0,18	1,02
76	115 UJK część B	11.06.2022	14	1,36	0,18	0,97
77	110 UJK część B	11.06.2022	17	0,76	0,00	0,75
78	228 UJK część B	12.06.2022	11	0,64	-0,05	0,67
79	13 UJK B	13.06.2022	11	1,09	-0,17	0,58
80	1.08 A	18.10.2021	25	-0,92	-0,56	-0,04
81	1.08 A	31.03.2022	16	0,69	-0,30	0,35
82	2.07 A	27.04.2022	10	1,1	0,07	0,81
83	2.09 A	27.04.2022	11	0	-0,32	0,33
84	2.13 A	22.06.2022	13	1,92	0,47	1,32
85	1.03 A	28.06.2022	20	2,45	1,30	2,37
86	4.15 B	05.04.2022	12	0,42	0,03	0,75
87	1.17 B	25.06.2022	26	2,04	0,94	1,92
88	1.20 C	23.06.2022	32	1,63	0,38	1,23
89	2.07 C	25.06.2022	29	1,62	0,80	1,75
90	1.15 C	25.06.2022	22	2,32	1,18	2,24
91	1.15 C	27.06.2022	15	2,07	1,48	2,58
92	1.15 C	27.06.2022	11	2,36	1,68	2,83

Modyfikacji został poddany również wskaźnik PPD (pod kątem doboru stałych eksperymentalnych), który przedstawia następującą zmodyfikowaną zależność:

$$PPD = 100 - 95 \exp(-0,033PMV^4 - 0,2781PMV^2) \quad (101)$$

dla którego współczynnik  $R^2$  wyniósł 0,89. Na poniższym rysunku przedstawiono wyniki odsetka osób niezadowolonych.



**Rys. 37. Porównanie odpowiedzi osób niezadowolonych PPD na podstawie równania Fangera z PPD po modyfikacji.**

Modyfikacja wskaźnika PPD prowadzi do uzyskania bardziej zbliżonych wyników do rzeczywistych danych eksperymentalnych. Za pomocą modyfikacji wskaźnika PPD została potwierdzona teza nr 3, co przedstawiono w tabeli nr 6.

**Tabela 6. Ocena statystyczna wskaźnika PPD wg modelu Fangera z PPD zmodyfikowanym.**

Średnia różnica pomiędzy PPD rzeczywistym a PPD wg modelu Fangera, %	Średnia różnica pomiędzy PPD rzeczywistym a PPD zmodyfikowane, %	$\bar{e} = \bar{d}^{(VII)} - \bar{d}^{(VIII)}$	$s_e$	$t_e$
23,89	14,44	9,45	17,567	5,13

Na podstawie powyższej analizy statystycznej można wyciągnąć wniosek, że zmodyfikowany model PPD przewiduje w sposób dokładniejszy odsetek osób niezadowolonych niż model Fangera, co pokazuje wartość statystyki testowej wynoszącej 5,13, co oznacza, że zmodyfikowany model jest istotnie lepszy ze względu na nierówność  $5,13 > 1,6618$  (obszar odrzuceń hipotezy (71)).

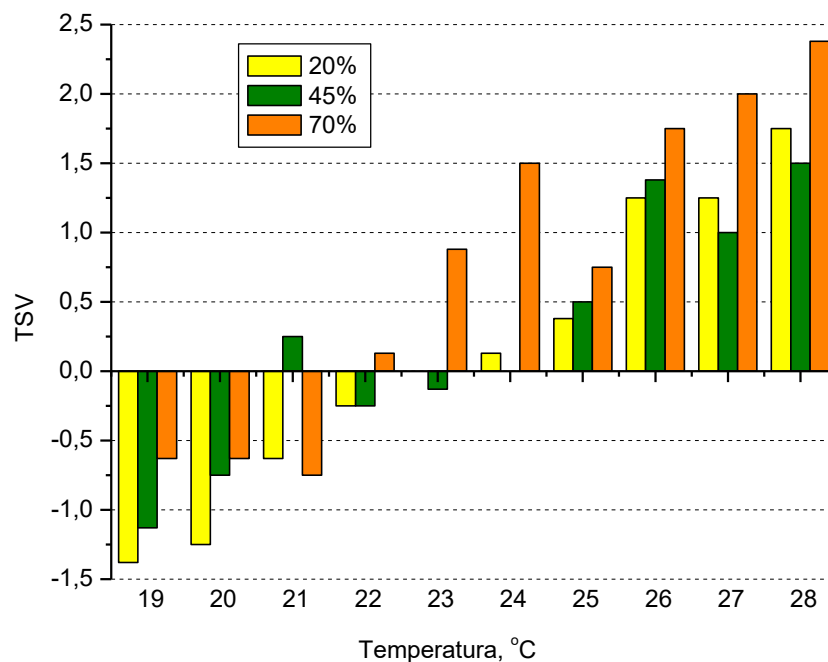
### 6.3. Weryfikacja modelu Fangera w warunkach symulowanych

Rozdział 6.3 w głównej mierze skupia się na prowadzonych badaniach w komorze klimatycznej, w której zadaje się wybraną temperaturę powietrza oraz wilgotność względną. Ten rodzaj badań został zrealizowany, ponieważ w czasie pandemii COVID badania w salach

były utrudnione. Istotne było również, przeprowadzenie analizy czy warunki które można zasymulować, mogą sprawić, że ludzie będą się faktycznie lepiej czuć, gdy dana temperatura powietrza i wilgotność zostaną zadana, niż w warunkach które można zastać w salach zajęciowych czy w aulach wykładowych.

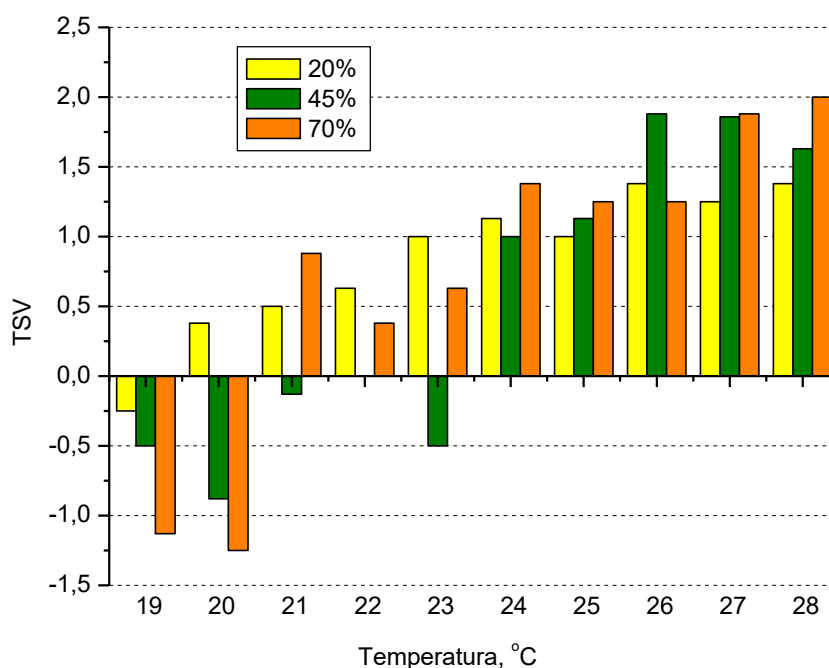
Modyfikacja modelu Fangera w rozdziale 6.2 została dokonana w oparciu o wyniki badań w warunkach rzeczywistych, dla dużej grupy osób przebywających w pomieszczeniach. Celowe wydaje się sprawdzenie czy opracowany wzór będzie również skuteczny do przewidywania ocen termicznych w warunkach symulowanych, dla niewielkiej grupy 8 osób. W tym celu wykonano badania w komorze klimatycznej.

Wyniki badań eksperymentalnych przeprowadzono w dwóch komorach klimatycznych o zadanych parametrach, tj. od 19°C do 28°C (skok co 1°C) oraz wilgotności od 20% do 70%. W badaniu wzięło udział 8 respondentów w wieku 22-29 lat. Użytkownicy badania mieli na sobie ubiór, który można nazwać „letnim” (np. cienkie spodnie, spódnica/sukienka, podkoszulek z krótkim rękawem, trampki/półbuty, skarpety cienkie, koszula/ bluzka cienka, gdzie clo = 0,50) oraz „zimowy” (np. spodnie grube, spódnica/sukienka gruba, podkoszulek z długim rękawem, kozaki, koszula/bluzka gruba, clo = 0,80). Wyniki badań wrażeń cieplnych (średnia wg 8 ankiet) dla trzech wilgotności: 20, 45, 70% przedstawiają poniższe wykresy (Rys. 38 i Rys. 39).



**Rys. 38. Odczucia cieplne (TSV - Thermal sensation vote) na podstawie ankiet dla ubioru letniego dla trzech wilgotności.**

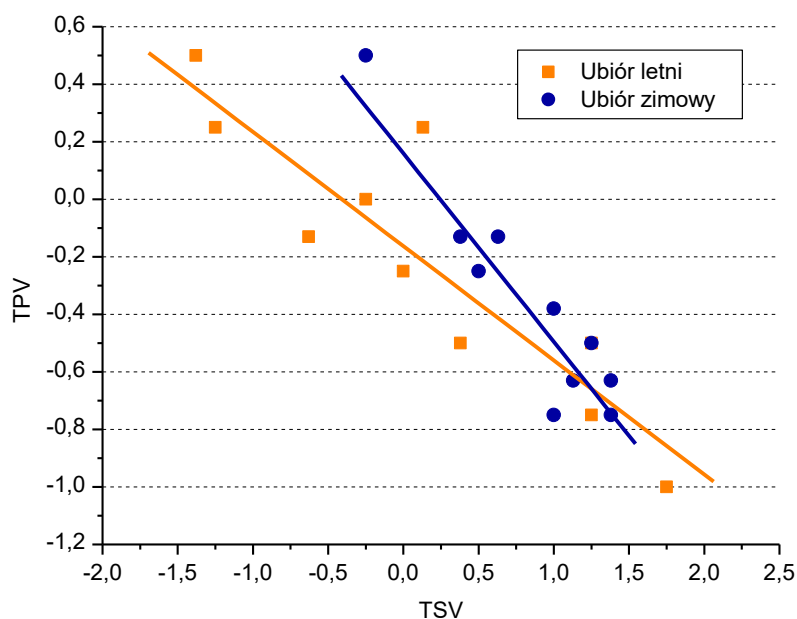
Na powyższym wykresie przedstawiono odczucia ciepłne ankietowanych dla 20% (kolor żółty), 45% (kolor zielony) i 70% (kolor pomarańczowy) wilgotności względnej. Tylko dla dziesięciu temperatur ankietowani uznali warunki termiczne za komfortowe. Są to następujące temperatury: dla 20% wilgotności: od 22°C do 25°C, dla 45% od 21°C do 25°C, natomiast dla 70% tylko 22°C. Środowisko uważa się za komfortowe, jeśli wartości TSV mieszczą się w zakresie od -0,5 do +0,5. Warto też zauważyć, że dla wilgotności 70% przy zadanej temperaturze powietrza równej 28°C i 27°C TSV wyniosło 2,38 i 2,0 co oznacza, że ankietowanym było za ciepło w komorze klimatycznej. Należy zwrócić uwagę, że ustalony poziom 70% wilgotności, stwarzał warunki zbyt ciepłe według ankietowanych, w porównaniu z niższymi badanymi wilgotnościami. Przeanalizowano również ubiór zimowy, a wyniki zostały zaprezentowane na poniższym Rys. 39.



**Rys. 39. Odczucia ciepłne (TSV - Thermal sensation vote) na podstawie ankiet dla ubioru zimowego dla trzech wilgotności.**

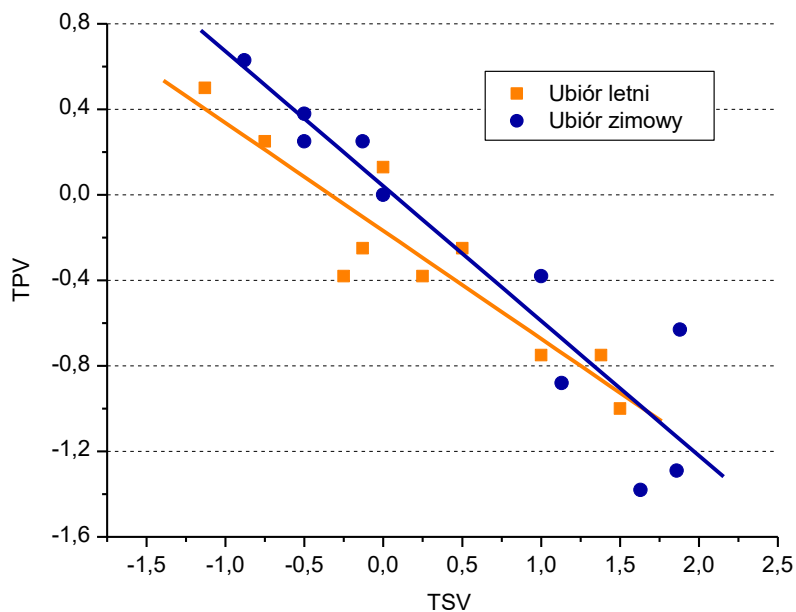
Na powyżej zilustrowanym wykresie widać, że dla ubioru zimowego akceptowalnych temperatur było mniej niż dla ubioru letniego. W sumie jest ich osiem temperatur dla 20% wilgotności: 19°C, 20°C, 21°C, dla 45%: 19°C, 21°C, 22°C, 23°C, a dla 70% tylko 22°C. Okazuje się, że mimo mniejszej ilości temperatur, w których czuli się komfortowo, to dla zimowego tylko zadanej temperatury równej 28°C respondentom było za ciepło. Mimo to, można zauważyć, że respondenci przy niższej wilgotności względnej mają szerszy zakres temperaturowy. Preferencje ludzi powinny być skorelowane z ich odczuciami termicznymi. Jeżeli respondenci uważają, że w pomieszczeniu jest zbyt zimno „-3”, to ich preferencja

temperaturowa powinna być: zdecydowanie cieplejsza „+2”. Podobnie, jeśli oceniają otoczenie jako zbyt chłodne „-2”, ich reakcją preferencji powinno być: cieplejsze „+1”. Jeśli ich odczucie ciepła jest w porządku, odpowiedzą bez zmian „0”. Następny wykres przedstawia preferencje ludzi (TPV - Thermal Preference Vote), a mianowicie chęć obniżenia, podwyższenia lub utrzymania temperatury powietrza wewnątrz komory w odniesieniu do percepcji przy 20% wilgotności.

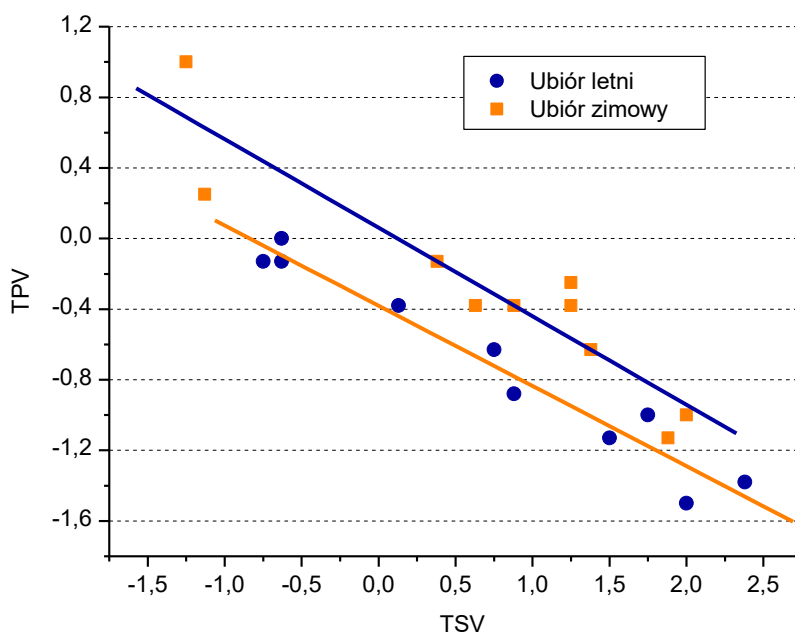


**Rys. 40. Wykres zależności TSV od preferencji TPV na podstawie ankiet dla 20% wilgotności.**

Na wykresie powyżej przedstawiona została zależność średniej oceny odczuć ciepłych od temperatury jaką oczekiwali ankietowani. Z danych na nim zawartych można wywnioskować, że badane osoby zdecydowanie preferują chłodniejszą temperaturę w pomieszczeniu. Osoby, które czują się komfortowo, chciałyby, aby w pomieszczeniu było bez zmian. Większość ankietowanych odczuwa panujące ciepło w pomieszczeniach, jednocześnie ankietowani zdecydowaną większością oczekiwali niższej temperatury powietrza. Ponadto można stwierdzić, że kluczowym elementem w analizie komfortu cieplnego jest wpływ temperatury i promieniowania powietrza. Podobne preferencje zauważono dla 45% i 70% wilgotności, co przedstawiono na rysunkach 41 i 42.



**Rys. 41. Wykres zależności TSV od preferencji TPV na podstawie ankiet dla 45% wilgotności.**



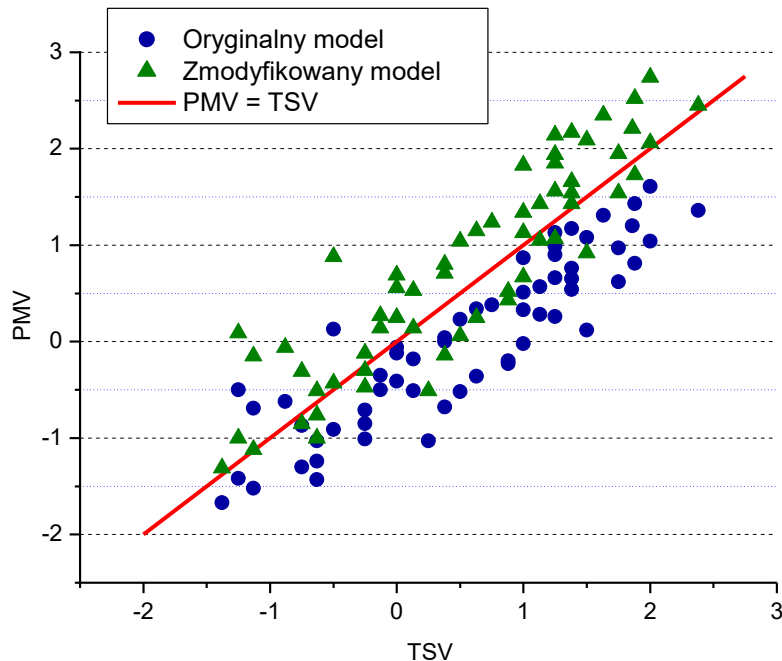
**Rys. 42. Wykres zależności TSV od preferencji TPV na podstawie ankiet dla 70% wilgotności.**

Powyższe wykresy potwierdzają charakter zależności analizowanych parametrów jaki obserwowano w badanych salach dla dużej liczby osób. Pojawiają się jednak różnice tj. np. inny charakter zależności TPV vs. TSV dla różnych wartości wilgotności właściwej. Może to z jednej strony wynikać z niewielkiej liczebności grupy, ale może też ujawniać tendencje czy zjawiska, które nie zostały do tej pory dokładnie rozpoznane.



Na podstawie powyższych badań wykonano porównanie modelu oryginalnego Fangera z wynikami eksperymentalnymi. Dodatkowo zweryfikowano zaproponowaną w poprzednim rozdziale modyfikację modelu.

Poniżej na Rys. 43 zaprezentowano wyniki eksperymentalne (na osi odciętych) w porównaniu z wynikami obliczonymi za pomocą modelu Fangera (oś rzędnych). Na poniższym wykresie niebieskimi kropkami oznaczono wyniki obliczone za pomocą oryginalnego modelu Fangera, zaś zielonymi punktami zmodyfikowanego równania (99). Czerwona linia pokazuje idealne dopasowanie między modelem a eksperymentem. W idealnym przypadku wszystkie dane punkty powinny leżeć na tej samej linii, zaś bliskość do niej odzwierciedla stopień, w jakim wyniki obliczeń odzwierciedlają rzeczywiste rezultaty testów.



**Rys. 43. Porównanie wyników oryginalnych z modelem zmodyfikowanym.**

Jak widać na powyższym wykresie (Rys. 43) zmodyfikowana korelacja zapewniła bardziej dokładniejsze wyniki. Do statystycznego porównania obu modeli zastosowano statystykę (68).

$\bar{d}^{(IX)}$	$\bar{d}^{(X)}$	n	$\bar{e} = \bar{d}^{(IX)} - \bar{d}^{(X)}$	$s_e$	$t_e$
0,669	0,513	60	0,156	0,4023	3,69

Analiza statystyczna pokazuje, że nierówność  $3,69 > 1,6618$  potwierdza, że wyniki po modyfikacji opisują TSV istotnie lepiej w porównaniu z modelem PMV przed modyfikacją. Jednak należy pamiętać, że badania w komorze prowadzono dla niewielkiej liczby osób, przy

stosunkowo szybkozmiennych parametrach powietrza, stąd błędy pomiarowe mogły w istotny sposób wpłynąć na uzyskany wynik.

## 7. Podsumowanie i wnioski

Badania eksperymentalne komfortu cieplnego wykonano w budynkach użyteczności publicznej, tj. na Politechnice Świętokrzyskiej i na Uniwersytecie Jana Kochanowskiego w Kielcach. Analizy przeprowadzono w oparciu o uzyskaną w toku badań dużą bazę eksperymentalną obejmującą 1302 ankiety zebrane w 92 pomieszczeniach, w których jednocześnie prowadzono pomiary parametrów fizycznych środowiska wewnętrznego (temperatura powietrza i czarnej kuli, wilgotność względna, stężenie dwutlenku węgla, natężenie oświetlenia). W pracy rozpatrywano wpływ indeksu BMI, liczby osób na jednostkę kubatury, stężenia dwutlenku węgla i natężenia oświetlenia na subiektywną ocenę środowiska wewnętrznego. Na podstawie analizy wyników uzyskanych na podstawie 1302 ankiet oraz danych pomiarowych zebranych za pomocą miernika mikroklimatu wyciągnięto następujące wnioski:

1. Ankietowani w przeważającej części twierdzili, że środowisko wewnętrzne jest neutralne lub ciepłe/bardzo ciepłe, co niewątpliwie wynika z faktu, że temperatura powietrza w ok. 97% pomieszczeń przekraczała 22°C. Jednocześnie stwierdzono silną zależność pomiędzy oceną aktualnej temperatury powietrza a preferencjami termicznymi.
2. Najwyższy stopień akceptowalności warunków termicznych przypadła na wartości TSV w zakresie od 0 do +0,7 co świadczy o tym, że użytkownicy pomieszczeń (przynajmniej w krajowych warunkach klimatycznych) wolą środowisko cieplejsze niż chłodniejsze.
3. Ankietowani w przeważającej części ocenili wilgotność powietrza jako przyjemną lub oraz dość suchą, co wynika z tego, że dla 9 pomieszczeń wilgotność względna wynosiła od 20% do 25%. W pozostałych 83 pomieszczeniach była powyżej 25%, jednak nie przekraczała 66%. Z przeprowadzonych badań wynika, że najkorzystniejsza wartość wilgotności względnej to zakres 27 – 50%. Jednocześnie zaobserwowano silną między oceną wilgotności powietrza a preferencjami respondentów.
4. Jakość powietrza w analizowanych budynkach była generalnie oceniona jako obojętna lub dobra, co zapewne wynikało z faktu relatywnie niskiego stężenia dwutlenku węgla

(w 96% pomieszczeń stężenie CO<sub>2</sub> nie przekraczało 1400 ppm, a w 70% pomieszczeń zawierało się w zakresie 500 – 1000 ppm).

5. Zaobserwowano dość silną zależność między samopoczuciem (ogólnym wrażeniem komfortu) respondentów a subiektywną oceną jakości powietrza wewnętrznego.
6. W przeważającej większości ankietowani ocenili oświetlenie w pomieszczeniach jako odpowiednie. Dodatkowo zauważono, że zwiększenie natężenia oświetlenia powyżej 600 lx nie skutkowało wyższą subiektywną oceną tego parametru. W związku z tym może nie być konieczności używania nadmiernych poziomów oświetlenia w budynkach, co może przyczynić się do obniżenia kosztów energii.
7. Około 70% respondentów oceniło swoją produktywność jako normalną. Jednocześnie największą produktywność zaobserwowano w zakresie temperatur powietrza w pomieszczeniach między 22 a 25°C.
8. Wykazano, natężenie oświetlenia i liczba osób przypadająca na jednostkę kubatury nie mają istotnego wpływu na subiektywne wrażenia termiczne, w przeciwieństwie do stężenia dwutlenku węgla w pomieszczeniach i średniego indeksu BMI respondentów, które wykazały istotny wpływ.
9. W związku z rozbieżnościami przewidywanych odczuć cieplnych uzyskanych z zastosowaniem modelu Fanger'a w porównaniu do wyników badań eksperymentalnych zdecydowano się na jego modyfikację. Modyfikacja zamierała indeks BMI (uwzględniającą opór cieplny tkanki tłuszczowej). Mimo, że wykazano istotną korelację pomiędzy stężeniem CO<sub>2</sub> a TSV, to uwzględnienie go w modelu nie wykazało wpływu na poprawę jego skuteczności. Zaproponowana modyfikacja modelu wykazała istotną poprawę skuteczności przewidywania odczuć termicznych w porównaniu z modelem oryginalnym.
10. Weryfikacja zmodyfikowanego modelu w warunkach symulowanych potwierdziła jego większą skuteczność w porównaniu do modelu oryginalnego.

## 8. Literatura

[1] Buchan, W. *Domestic medicine*. G. Robinson. 1790.

[2] Fanger, P.O. *Komfort cieplny*. Arkady: Warszawa, 1974.

[3] PN-EN ISO 7730: 2006. Ergonomia środowiska termicznego – Analityczne wyznaczenie i interpretacja komfortu termicznego z zastosowaniem obliczania wskaźnika PMV i PPD oraz kryteriów lokalnego komfortu termicznego (org.). 2006.

- [4] PN-EN ISO 8996: 2005. Ergonomia środowiska termicznego - Określanie tempa metabolizmu. .
- [5] Krawczyk, N.; Orman, Ł.J.; Radek, N. Weryfikacja modelu Fangera w warunkach rzeczywistych, Wybrana problematyka w technologiach inżynierii mechanicznej. **2020**; 153–163.
- [6] Krawczyk, N.; Kapjor, A.; Orman, Ł.J. Verification of the Fanger Model in Real Conditions. MATEC Web Conf. **2020**, 328, 01001.
- [7] Krawczyk, N.; Kapjor, A. A STUDY OF THERMAL COMFORT AT KIELCE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY. Structure and Environment **2020**, 12(3), 127–132.
- [8] Krawczyk, N. Thermal comfort in the low energy building - validation and modification of the Fanger model. E3S Web Conf. **2021**, 246, 15003.
- [9] Krawczyk, N.; Dębska, L.; Białek, A. Thermal Comfort in the Modern Car-Experimental Analysis and Verification of the Fanger Model. International Review of Mechanical Engineering (IREME) **2021**, 15(12), 609.
- [10] Krawczyk, N.; Dębska, L. Modeling of indoor thermal comfort in the intelligent building. Journal of Physics - Conference Series **2022**, 2339(1), 012026.
- [11] Krawczyk, N.; Dębska, L.; Piotrowski, J.Zb.; Honus, S.; Majewski, G. Validation of the Fanger Model and Assessment of SBS Symptoms in the Lecture Room. Rocznik Ochrony Środowiska **2023**, 25, 68–76.
- [12] Krawczyk, N.; Surmańska, S. Analysis of Thermal Comfort in a Single-Family House in Civil and Environmental Engineering **2020**, 16(2), 396–404.
- [13] Krawczyk, N.; Krakowiak, J. The comparison of thermal comfort test results in selected traditional and modern buildings. E3S Web Conf. **2021**, 286, 02008.
- [14] Krawczyk, N. Comparison of thermal comfort in a traditional and intelligent building. E3S Web Conf. **2022**, 336, 00019.
- [15] Krawczyk, N.; Zender, M. Thermal comfort tests in the selected building in Poland. E3S Web Conf. **2022**, 347, 04014.
- [16] Krawczyk, N.; Kapjor, A. Thermal comfort conditions in traditional and sustainable, low - energy buildings. IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci. **2022**, 1057(1), 012001.

- [17] Krawczyk, N. Traditional and Intelligent Buildings – Perceptions of Thermal Comfort, Materials Research Proceedings, Tom: 24, 96-101, **2022**.
- [18] Krawczyk, N.; Wojciechowska, P. Analysis of indoor environment perceptions in the smart building. Journal of Physics - Conference Series. **2022**, 2339(1), 012019.
- [19] Majewski, G. QUESTIONNAIRE SURVEY OF THERMAL SENSATIONS IN THE LARGE LECTURE ROOM. Structure and Environment **2021**, 13(4).
- [20] Krawczyk, N.; Piasta, Z.; Kielce University of Technology. PRELIMINARY TEST RESULTS OF THERMAL COMFORT IN A CLASSROOM. Structure and Environment **2019**, 11(4), 281–286.
- [21] Krawczyk, N.; Dębska, Development of a modified thermal comfort model, AIP Conference Proceedings, 2793, 050002, 2023.
- [22] Dębska, L.; Krawczyk, N. Thermal comfort assessment in the modern passenger car under actual operational conditions. Production Engineering Archives **2023**, 29(2), 140–146.
- [23] PN-EN 15251:2012 Parametry wejściowe środowiska wewnętrznego dotyczące projektowania i ceny charakterystyki energetycznej budynków, obejmujące jakość powietrza wewnętrznego, środowisko cieplne, oświetlenie i akustykę. .
- [24] Sudoł-Szopińska, I.; Chojnacka, A. Określenie warunków komfortu termicznego w pomieszczeniach za pomocą wskaźników PMV i PPD. Bezp. Pr. **2007**, 5, 19–23.
- [25] PN-EN 16798-1:2019, Charakterystyka energetyczna budynków - Część: 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. .
- [26] Fanger, P.O. *Calculations of thermal comfort: introduction of a basic comfort equation*. ASHRAE Transactions: , 1967; 1–4 pp.
- [27] Krawczyk, N.; Dębska, L.; Starzomska, M. Measurements of thermal fields in view of heat losses determination in the smart building. Journal of Physics : Conference Series **2022**, 2346(1), 012010.
- [28] Ma, Z.; Zhao, D.; Wang, F.; Yang, R. A novel thermal comfort and energy saving evaluation model for radiative cooling and heating textiles. Energy Build. **2022**, 258, 111842.

- [29] Krawczyk, N. Assessment of productivity in different thermal working environments. *MATEC Web Conf.* **2022**, *354*, 00063.
- [30] Białek, A.; Dębska, L.; Krawczyk, N. Assessment of light intensity and productivity in the intelligent building – case study. *E3S Web Conf.* **2022**, *336*, 00011.
- [31] Krawczyk, N.; Dębska, L. Indoor Environment, Lighting Conditions and Productivity in the Educational Buildings. *Civil and Environmental Engineering.* **2022**, *18(2)*, 581–588.
- [32] Orman, Ł.J.; Krawczyk, N.; Radek, N.; Honus, S.; Pietraszek, J.; Dębska, L.; Dudek, A.; Kalinowski, A. Comparative Analysis of Indoor Environmental Quality and Self-Reported Productivity in Intelligent and Traditional Buildings. *Energies* **2023**, *16(18)*, 6663.
- [33] Aghniaey, S.; Lawrence, T.M.; Sharpton, T.N.; Douglass, S.P.; Oliver, T.; Sutter, M. Thermal comfort evaluation in campus classrooms during room temperature adjustment corresponding to demand response. *Build. Environ.* **2019**, *148*, 488–497.
- [34] Mors, S.T.; Hensen, J.L.M.; Loomans, M.G.L.C.; Boerstra, A.C. Adaptive thermal comfort in primary school classrooms: Creating and validating PMV-based comfort charts. *Build. Environ.* **2011**, *46(12)*, 2454–2461.
- [35] Yang, B.; Olofsson, T.; Wang, F.; Lu, W. Thermal comfort in primary school classrooms: A case study under subarctic climate area of Sweden. *Build. Environ.* **2018**, *135*, 237–245.
- [36] Fang, Z.; Zhang, S.; Cheng, Y.; Fong, A.M.L.; Oladokun, M.O.; Lin, Z.; Wu, H. Field study on adaptive thermal comfort in typical air conditioned classrooms. *Build. Environ.* **2018**, *133*, 73–82.
- [37] Kim, J.; De Dear, R. Thermal comfort expectations and adaptive behavioural characteristics of primary and secondary school students. *Build. Environ.* **2018**, *127*, 13–22.
- [38] Jiang, J.; Wang, D.; Liu, Y.; Xu, Y.; Liu, J. A study on pupils' learning performance and thermal comfort of primary schools in China. *Build. Environ.* **2018**, *134*, 102–113.
- [39] Lipczynska, A.; Schiavon, S.; Graham, L.T. Thermal comfort and self-reported productivity in an office with ceiling fans in the tropics. *Build. Environ.* **2018**, *135*, 202–212.
- [40] Merabtine, A.; Maalouf, C.; Al Waheed Hawila, A.; Martaj, N.; Polidori, G. Building energy audit, thermal comfort, and IAQ assessment of a school building: A case study. *Build. Environ.* **2018**, *145*, 62–76.

- [41] Hamzah, B.; Mulyadi, R.; Ishak, M.T. Factors Affecting Thermal Comfort of Elementary Schools' Students in Makassar. *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.* **2020**, *875*(1), 012012.
- [42] Munonye, C. The Influence of Seasonal Variation of Thermal Variables on Comfort Temperature in Schools in a Warm and Humid Climate. *OALib* **2020**, *07*(09), 1–13.
- [43] Jindal, A. Thermal comfort study in naturally ventilated school classrooms in composite climate of India. *Build. Environ.* **2018**, *142*, 34–46.
- [44] Almeida, R.M.S.F.; Ramos, N.M.M.; De Freitas, V.P. Thermal comfort models and pupils' perception in free-running school buildings of a mild climate country. *Energy Build.* **2016**, *111*, 64–75.
- [45] Krawczyk, D.A.; Gładyszewska-Fiedoruk, K.; Rodero, A. The analysis of microclimate parameters in the classrooms located in different climate zones. *Appl. Therm. Eng.* **2017**, *113*, 1088–1096.
- [46] Buratti, C.; Ricciardi, P. Adaptive analysis of thermal comfort in university classrooms: Correlation between experimental data and mathematical models. *Build. Environ.* **2009**, *44*(4), 674–687.
- [47] Ricciardi, P.; Buratti, C. Environmental quality of university classrooms: Subjective and objective evaluation of the thermal, acoustic, and lighting comfort conditions. *Build. Environ.* **2018**, *127*, 23–36.
- [48] Singh, M.K.; Kumar, S.; Ooka, R.; Rijal, H.B.; Gupta, G.; Kumar, A. Status of thermal comfort in naturally ventilated classrooms during the summer season in the composite climate of India. *Build. Environ.* **2018**, *128*, 287–304.
- [49] Corgnati, S.P.; Ansaldi, R.; Filippi, M. Thermal comfort in Italian classrooms under free running conditions during mid seasons: Assessment through objective and subjective approaches. *Build. Environ.* **2009**, *44*(4), 785–792.
- [50] Katafygiotou, M.C.; Serghides, D.K. Thermal comfort of a typical secondary school building in Cyprus. *Sustain. Cities Soc.* **2014**, *13*, 303–312.
- [51] Mishra, A.K.; Derks, M.T.H.; Kooi, L.; Loomans, M.G.L.C.; Kort, H.S.M. Analysing thermal comfort perception of students through the class hour, during heating season, in a university classroom. *Build. Environ.* **2017**, *125*, 464–474.

- [52] Indraganti, M.; Ooka, R.; Rijal, H.B. Thermal comfort in offices in summer: Findings from a field study under the ‘setsuden’ conditions in Tokyo, Japan. *Build. Environ.* **2013**, *61*, 114–132.
- [53] Indraganti, M.; Ooka, R.; Rijal, H.B. Field investigation of comfort temperature in Indian office buildings: A case of Chennai and Hyderabad. *Build. Environ.* **2013**, *65*, 195–214.
- [54] Langevin, J.; Wen, J.; Gurian, P.L. Modeling thermal comfort holistically: Bayesian estimation of thermal sensation, acceptability, and preference distributions for office building occupants. *Build. Environ.* **2013**, *69*, 206–226.
- [55] Manu, S.; Shukla, Y.; Rawal, R.; Thomas, L.E.; De Dear, R. Field studies of thermal comfort across multiple climate zones for the subcontinent: India Model for Adaptive Comfort (IMAC). *Build. Environ.* **2016**, *98*, 55–70.
- [56] Jazizadeh, F.; Marin, F.M.; Becerik-Gerber, B. A thermal preference scale for personalized comfort profile identification via participatory sensing. *Build. Environ.* **2013**, *68*, 140–149.
- [57] Hwang, R.-L.; Chen, W.-A. Identifying relative importance of solar design determinants on office building façade for cooling loads and thermal comfort in hot-humid climates. *Build. Environ.* **2022**, *226*, 109684.
- [58] Yang, B.; Wu, M.; Li, Z.; Yao, H.; Wang, F. Thermal comfort and energy savings of personal comfort systems in low temperature office: A field study. *Energy Build.* **2022**, *270*, 112276.
- [59] Becker, R.; Paciuk, M. Thermal comfort in residential buildings – Failure to predict by Standard model. *Build. Environ.* **2009**, *44*(5), 948–960.
- [60] Li, H.; Wang, Z.; Li, J.; Wang, L.; Kong, X.; Fan, M. Study on thermal comfort of interactive cascade ventilation based on body multi-node thermal demand. *Energy Build.* **2022**, *273*, 112404.
- [61] Costa-Carrapiço, I.; González, J.N.; Raslan, R.; Sánchez-Guevara, C.; Redondas Marrero, M.D. Understanding thermal comfort in vernacular dwellings in Alentejo, Portugal: A mixed-methods adaptive comfort approach. *Build. Environ.* **2022**, *217*, 109084.
- [62] Lourenço Niza, I.; Broday, E.E. Thermal comfort conditions in Brazil: A discriminant analysis through the ASHRAE Global Thermal Comfort Database II. *Build. Environ.* **2022**, *221*, 109310.



- [63] Lei, T.-H.; Lan, L.; Wang, F. Indoor thermal comfort research using human participants: Guidelines and a checklist for experimental design. *J. Therm. Biol.* **2023**, *113*, 103506.
- [64] Alkhoudiri, A.; Navarro, I.; Fort, J.M.; Alumran, S. Parametric comparative analysis of outdoor thermal comfort in a desert climate: A case study of single-family houses in Riyadh. *Urban Clim.* **2022**, *46*, 101300.
- [65] Rupp, R.F.; Kim, J.; De Dear, R.; Ghisi, E. Associations of occupant demographics, thermal history and obesity variables with their thermal comfort in air-conditioned and mixed-mode ventilation office buildings. *Build. Environ.* **2018**, *135*, 1–9.
- [66] Asif, A.; Zeeshan, M.; Khan, S.R.; Sohail, N.F. Investigating the gender differences in indoor thermal comfort perception for summer and winter seasons and comparison of comfort temperature prediction methods. *J. Therm. Biol.* **2022**, *110*, 103357.
- [67] Maykot, J.K.; Rupp, R.F.; Ghisi, E. A field study about gender and thermal comfort temperatures in office buildings. *Energy Build.* **2018**, *178*, 254–264.
- [68] Buonocore, C.; De Vecchi, R.; Scalco, V.; Lamberts, R. Influence of relative air humidity and movement on human thermal perception in classrooms in a hot and humid climate. *Build. Environ.* **2018**, *146*, 98–106.
- [69] Cao, B.; Luo, M.; Li, M.; Zhu, Y. Too cold or too warm? A winter thermal comfort study in different climate zones in China. *Energy Build.* **2016**, *133*, 469–477.
- [70] Chen, X.; Wang, Q.; Srebric, J. Model predictive control for indoor thermal comfort and energy optimization using occupant feedback. *Energy Build.* **2015**, *102*, 357–369.
- [71] Djamila, H. Indoor thermal comfort predictions: Selected issues and trends. *Renew. Sustain. Energy Rev.* **2017**, *74*, 569–580.
- [72] Luo, M.; Wang, Z.; Ke, K.; Cao, B.; Zhai, Y.; Zhou, X. Human metabolic rate and thermal comfort in buildings: The problem and challenge. *Build. Environ.* **2018**, *131*, 44–52.
- [73] Luo, M.; Zhou, X.; Zhu, Y.; Sundell, J. Revisiting an overlooked parameter in thermal comfort studies, the metabolic rate. *Energy Build.* **2016**, *118*, 152–159.
- [74] Akimoto, T.; Tanabe, S.; Yanai, T.; Sasaki, M. Thermal comfort and productivity - Evaluation of workplace environment in a task conditioned office. *Build. Environ.* **2010**, *45*(1), 45–50.

- [75] Aghniaey, S.; Lawrence, T.M. Cooling season demand response and the real world. **2017**, *59*(4), 68–70.
- [76] Homod, R.Z.; Mohamed Sahari, K.S.; Almurib, H.A.F.; Nagi, F.H. RLF and TS fuzzy model identification of indoor thermal comfort based on PMV/PPD. *Build. Environ.* **2012**, *49*, 141–153.
- [77] Lin, Y.; Jin, Y.; Jin, H. Effects of different exercise types on outdoor thermal comfort in a severe cold city. *J. Therm. Biol.* **2022**, *109*, 103330.
- [78] Kim, Y.; Yu, S.; Li, D.; Gatson, S.N.; Brown, R. Linking Landscape Spatial Heterogeneity to Urban Heart Island and Outdoor Human Thermal Comfort in Tokyo: Application of the Outdoor Thermal Comfort Index. *SSRN Electron. J.* **2022**.
- [79] Lopes, H.S.; Remoaldo, P.C.; Ribeiro, V.; Martín-Vide, J. A comprehensive methodology for assessing outdoor thermal comfort in touristic city of Porto (Portugal). *Urban Clim.* **2022**, *45*, 101264.
- [80] Nie, T.; Lai, D.; Liu, K.; Lian, Z.; Yuan, Y.; Sun, L. Discussion on inapplicability of Universal Thermal Climate Index (UTCI) for outdoor thermal comfort in cold region. *Urban Clim.* **2022**, *46*, 101304.
- [81] Abd Elraouf, R.; Elmokadem, A.; Megahed, N.; Abo Eleinen, O.; Eltarabily, S. The impact of urban geometry on outdoor thermal comfort in a hot-humid climate. *Build. Environ.* **2022**, *225*, 109632.
- [82] Zhang, J.; Li, Z.; Hu, D. Effects of urban morphology on thermal comfort at the micro-scale. *Sustain. Cities Soc.* **2022**, *86*, 104150.
- [83] Taleghani, M.; Marshall, A.; Fitton, R.; Swan, W. Renaturing a microclimate: The impact of greening a neighbourhood on indoor thermal comfort during a heatwave in Manchester, UK. *Sol. Energy* **2019**, *182*, 245–255.
- [84] He, Y.; Wong, N.H.; Kvan, T.; Liu, M.; Tong, S. How green building rating systems affect indoor thermal comfort environments design. *Build. Environ.* **2022**, *224*, 109514.
- [85] Yi, T.; Wang, H.; Liu, C.; Li, X.; Wu, J. Thermal comfort differences between urban villages and formal settlements in Chinese developing cities: A case study in Shenzhen. *Sci. Total Environ.* **2022**, *853*, 158283.

- [86] Zhu, R.; Zhang, X.; Yang, L.; Liu, Y.; Cong, Y.; Gao, W. Correlation analysis of thermal comfort and physiological responses under different microclimates of urban park. *Case Stud. Therm. Eng.* **2022**, *34*, 102044.
- [87] Liu, S.; Xie, Y.; Zhu, Y.; Lin, B.; Cao, B.; Wong, N.H.; Niu, J.; Fang, Z.; Lai, D.; Liu, W.; Wen, J.; Mou, D.; Tang, H.; Liu, Z.; Ignatius, M. Comparative analysis on indoor and outdoor thermal comfort in transitional seasons and summer based on multiple databases: Lessons learnt from the outdoors. *Sci. Total Environ.* **2022**, *848*, 157694.
- [88] Krawczyk, N. Analysis of thermal comfort on planes. *J. Phys. Conf. Ser.* **2022**, *2346*(1), 012007.
- [89] Nastase, I.; Danca, P.; Bode, F.; Croitoru, C.; Fechete, L.; Sandu, M.; Coşoiu, C.I. A regard on the thermal comfort theories from the standpoint of Electric Vehicle design — Review and perspectives. *Energy Rep.* **2022**, *8*, 10501–10517.
- [90] Su, C.-Q.; Wang, Z.-Z.; Liu, X.; Xiong, X.; Jiang, T.; Wang, Y.-P. Research on thermal comfort of commercial vehicle and economy of localized air conditioning system with thermoelectric coolers. *Energy Rep.* **2022**, *8*, 795–803.
- [91] Feng, C.; Ma, F.; Wang, R.; Li, W.; Gao, J. A thermal comfort evaluation on vehicular environments based on local human body thermal sensations. *Results Eng.* **2023**, *17*, 100907.
- [92] Cigarini, F.; Schminkel, P.; Sonnekalb, M.; Best, P.; Göhlich, D. Determination of improved climatic conditions for thermal comfort and energy efficiency in electric buses. *Appl. Ergon.* **2022**, *105*, 103856.
- [93] Arslanoglu, N.; Yigit, A. Experimental and theoretical investigation of the effect of radiation heat flux on human thermal comfort. *Energy Build.* **2016**, *113*, 23–29.
- [94] Arslanoglu, N.; Yigit, A. Experimental investigation of radiation effect on human thermal comfort by Taguchi method. *Appl. Therm. Eng.* **2016**, *92*, 18–23.
- [95] Wu, Q.; Liu, J.; Zhang, L.; Zhang, J.; Jiang, L. Study on thermal sensation and thermal comfort in environment with moderate temperature ramps. *Build. Environ.* **2020**, *171*, 106640.
- [96] Dębska, L.; Krawczyk, N. Comparison of Thermal Sensations Under the Same Conditions in the Climatic Chamber and the Lecture Hall. *MATEC Web Conf.* **2022**, *369*, 02004.

- [97] Cen, C.; Cheng, S.; Wong, N.H. Physiological sensing of personal thermal comfort with wearable devices in fan-assisted cooling environments in the tropics. *Build. Environ.* **2022**, *225*, 109622.
- [98] Ahmad, S.; Goga, G.; Mohan, R. Predicting the thermal comfort of occupants in an indoor auditorium space with different UFAD ventilation arrangements. *Mater. Today Proc.* **2023**, *80*, 62–69.
- [99] Hesarakı, A.; Huda, N. A comparative review on the application of radiant low-temperature heating and high-temperature cooling for energy, thermal comfort, indoor air quality, design and control. *Sustain. Energy Technol. Assess.* **2022**, *49*, 101661.
- [100] Alkaragoly, M.; Maerefat, M.; Targhi, M.Z.; Abdljalel, A. An innovative hybrid system consists of a photovoltaic solar chimney and an earth-air heat exchanger for thermal comfort in buildings. *Case Stud. Therm. Eng.* **2022**, *40*, 102546.
- [101] Zheng, P.; Wu, H.; Liu, Y.; Ding, Y.; Yang, L. Thermal comfort in temporary buildings: A review. *Build. Environ.* **2022**, *221*, 109262.
- [102] Han, Y.; Wang, X.; Lu, L.; Mai, X. Adaptive thermal sensation evaluation model in tents for Western Sichuan Plateau of China: A field study. *Energy Build.* **2023**, *286*, 112952.
- [103] Fanger, P.O. *Thermal comfort - analysis and applications in environmental engineering*. Copenhagen: Danish Technical Press. **1970**.
- [104] ANSI/ASHRAE Standard 55-2017. *Thermal environmental conditions for human occupancy*, Atlanta: American Society of Heating, Ventilation and Air-conditioning Engineers Inc., 2019. .
- [105] Vilcekova, S.; Meciarova, L.; Burdova, E.K.; Katunska, J.; Kosicanova, D.; Doroudiani, S. Indoor environmental quality of classrooms and occupants' comfort in a special education school in Slovak Republic. *Build. Environ.* **2017**, *120*, 29–40.
- [106] Piasecki, M.; Fedorczak-Cisak, M.; Furtak, M.; Biskupski, J. Experimental Confirmation of the Reliability of Fanger's Thermal Comfort Model—Case Study of a Near-Zero Energy Building (NZEB) Office Building. *Sustainability* **2019**, *11*(9), 2461.
- [107] Campano, M.Á.; Domínguez-Amarillo, S.; Fernández-Agüera, J.; Sendra, J.J. Thermal Perception in Mild Climate: Adaptive Thermal Models for Schools. *Sustainability* **2019**, *11*(14), 3948.

- [108] Gilani, S.I.-H.; Khan, M.H.; Ali, M. Revisiting Fanger's thermal comfort model using mean blood pressure as a bio-marker: An experimental investigation. *Appl. Therm. Eng.* **2016**, *109*, 35–43.
- [109] Gładyszewska-Fiedoruk, K.; Sulewska, M.J. Thermal Comfort Evaluation Using Linear Discriminant Analysis (LDA) and Artificial Neural Networks (ANNs). *Energies* **2020**, *13*(3), 538.
- [110] Menyhárt, J.; Kalmár, F. Investigation of Thermal Comfort Responses with Fuzzy Logic. *Energies* **2019**, *12*(9), 1792.
- [111] Buratti, C.; Palladino, D.; Ricciardi, P. Application of a new 13-value thermal comfort scale to moderate environments. *Appl. Energy* **2016**, *180*, 859–866.
- [112] Majewski, G.; Telejko, M.; Orman, Ł.J. Preliminary results of thermal comfort analysis in selected buildings. *E3S Web Conf.* **2017**, *17*, 00056.
- [113] Majewski, G.; Telejko, M.; Orman, Ł.J. Analysis of Thermal Comfort in an Intelligent Building. *Civ. Environ. Eng.* **2017**, *13*(1), 72–76.
- [114] Bluysen, P.M.; Zhang, D.; Kurvers, S.; Overtoom, M.; Ortiz-Sanchez, M. Self-reported health and comfort of school children in 54 classrooms of 21 Dutch school buildings. *Build. Environ.* **2018**, *138*, 106–123.
- [115] Enescu, D. Models and Indicators to Assess Thermal Sensation Under Steady-state and Transient Conditions. *Energies* **2019**, *12*(5), 841.
- [116] Enescu, D. A review of thermal comfort models and indicators for indoor environments. *Renew. Sustain. Energy Rev.* **2017**, *79*, 1353–1379.
- [117] Papazoglou, E.; Moustris, K.P.; Nikas, K.-S.P.; Nastos, P.T.; Statharas, J.C. Assessment of human thermal comfort perception in a non-air-conditioned school building in Athens, Greece. *Energy Procedia* **2019**, *157*, 1343–1352.
- [118] Gong, X.; Meng, Q.; Yu, Y. A Field Study on Thermal Comfort in Multi-Storey Residential Buildings in the Karst Area of Guilin. *Sustainability* **2021**, *13*(22), 12764.
- [119] Balbis-Morejón, M.; Rey-Hernández, J.M.; Amaris-Castilla, C.; Velasco-Gómez, E.; San José-Alonso, J.F.; Rey-Martínez, F.J. Experimental Study and Analysis of Thermal Comfort in a University Campus Building in Tropical Climate. *Sustainability* **2020**, *12*(21), 8886.

- [120] Hwang, R.-L.; Weng, Y.-T.; Huang, K.-T. Considering transient UTCI and thermal discomfort footprint simultaneously to develop dynamic thermal comfort models for pedestrians in a hot-and-humid climate. *Build. Environ.* **2022**, *222*, 109410.
- [121] Ono, E.; Mihara, K.; Lam, K.P.; Chong, A. The effects of a mismatch between thermal comfort modeling and HVAC controls from an occupancy perspective. *Build. Environ.* **2022**, *220*, 109255.
- [122] Hwang, R.-L.; Cheng, M.-J.; Lin, T.-P.; Ho, M.-C. Thermal perceptions, general adaptation methods and occupant's idea about the trade-off between thermal comfort and energy saving in hot-humid regions. *Build. Environ.* **2009**, *44*(6), 1128–1134.
- [123] Ning, H.; Wang, Z.; Zhang, X.; Ji, Y. Adaptive thermal comfort in university dormitories in the severe cold area of China. *Build. Environ.* **2016**, *99*, 161–169.
- [124] Han, X.; Hu, Z.; Li, C.; Wu, J.; Li, C.; Sun, B. Prediction of human thermal comfort preference based on supervised learning. *J. Therm. Biol.* **2023**, *112*, 103484.
- [125] Roelofsen, P.; Jansen, K.; Vink, P. A larger statistical basis and a wider application area of the PMV equation in the Fanger model: application area of the PMV equation. *Intell. Build. Int.* **2022**, *14*(4), 517–524.
- [126] Zhang, W.; Liu, F.; Fan, R. Improved thermal comfort modeling for smart buildings: A data analytics study. *Int. J. Electr. Power Energy Syst.* **2018**, *103*, 634–643.
- [127] Yao, R.; Zhang, S.; Du, C.; Schweiker, M.; Hodder, S.; Olesen, B.W.; Toftum, J.; Romana d'Ambrosio, F.; Gebhardt, H.; Zhou, S.; Yuan, F.; Li, B. Evolution and performance analysis of adaptive thermal comfort models – A comprehensive literature review. *Build. Environ.* **2022**, *217*, 109020.
- [128] Rupp, R.F.; Parkinson, T.; Kim, J.; Toftum, J.; De Dear, R. The impact of occupant's thermal sensitivity on adaptive thermal comfort model. *Build. Environ.* **2022**, *207*, 108517.
- [129] Zheng, P.; Wang, C.; Liu, Y.; Lin, B.; Wu, H.; Huang, Y.; Zhou, X. Thermal adaptive behavior and thermal comfort for occupants in multi-person offices with air-conditioning systems. *Build. Environ.* **2022**, *207*, 108432.
- [130] Qavidel Fard, Z.; Zomorodian, Z.S.; Korsavi, S.S. Application of machine learning in thermal comfort studies: A review of methods, performance and challenges. *Energy Build.* **2022**, *256*, 111771.

- [131] Jiao, Y.; Yu, H.; Yu, Y.; Wang, Z.; Wei, Q. Adaptive thermal comfort models for homes for older people in Shanghai, China. *Energy Build.* **2020**, *215*, 109918.
- [132] Energis – Educational and Laboratory building of Environmental engineering, Kielce University of Technology. .
- [133] Energis – to inteligentny, energooszczędny, zasilany z odnawialnych źródeł energii nowy budynek Politechniki Świętokrzyskiej. .
- [134] <https://wenteo.pl/files/testo/testo-400-sondy-i-akcesoria.pdf>. .
- [135] Damiati, S.A.; Zaki, S.A.; Rijal, H.B.; Wonorahardjo, S. Field study on adaptive thermal comfort in office buildings in Malaysia, Indonesia, Singapore, and Japan during hot and humid season. *Build. Environ.* **2016**, *109*, 208–223.
- [136] Nematchoua, M.K.; Tchinda, R.; Orosa, J.A. Thermal comfort and energy consumption in modern versus traditional buildings in Cameroon: A questionnaire-based statistical study. *Appl. Energy* **2014**, *114*, 687–699.
- [137] Dębska, L.; Krawczyk, N.; Kapjor, A. Analysis of Thermal and Humidity Sensations in Educational Buildings in Eastern European Climate Conditions. *J. Sustain. Dev. Energy Water Environ. Syst.* **2023**, *11(4)*, 1–17.
- [138] Dębska, L. Assessment of the Indoor Environment in the Intelligent Building. *Civ. Environ. Eng.* **2021**, *17(2)*, 572–582.
- [139] Kaushik, A.; Arif, M.; Tumula, P.; Ebohon, O.J. Effect of thermal comfort on occupant productivity in office buildings: Response surface analysis. *Build. Environ.* **2020**, *180*, 107021.
- [140] EN 12464-1:2012, Light and lighting - Lighting of workplaces - Part 1: Indoor workplaces, 2012. .
- [141] Balocco, C.; Calzolari, R. Natural light design for an ancient building: A case study. *J. Cult. Herit.* **2008**, *9(2)*, 172–178.
- [142] Clements, N.; Zhang, R.; Jamrozik, A.; Campanella, C.; Bauer, B. The Spatial and Temporal Variability of the Indoor Environmental Quality during Three Simulated Office Studies at a Living Lab. *Buildings* **2019**, *9(3)*, 62.

- [143] Idkhan, A.M.; Baharuddin, F.R. Comfort Temperature and Lighting Intensity: Ergonomics of Laboratory Room Machine Tools. *Int. J. Environ. Eng. Educ.* **2019**, *1*(2), 53–58.
- [144] Kim, Y.K.; Abdou, Y.; Abdou, A.; Altan, H. Indoor Environmental Quality Assessment and Occupant Satisfaction: A Post-Occupancy Evaluation of a UAE University Office Building. *Buildings* **2022**, *12*(7), 986.
- [145] Dębska, L.; Honus, S.; Krawczyk, N.; Orman, Ł.J.; Piotrowski, J.Zb. Thermal Comfort Analysis in the Smart Sustainable Building with Correlation Development. *Rocz. Ochr. Śr.* **2023**, *25*, 116–127.
- [146] Majewski, G.; Orman, Ł.J.; Telejko, M.; Radek, N.; Pietraszek, J.; Dudek, A. Assessment of Thermal Comfort in the Intelligent Buildings in View of Providing High Quality Indoor Environment. *Energies* **2020**, *13*(8), 1973.
- [147] Geng, Y.; Ji, W.; Lin, B.; Zhu, Y. The impact of thermal environment on occupant IEQ perception and productivity. *Build. Environ.* **2017**, *121*, 158–167.
- [148] Kryszicki, W.; Bartos, J.; Dyczka, W.; Królikowska, K.; Wasilewski, M. *Rachunek Prawdopodobieństwa i Statystyka Matematyczna w Zadaniach, cz. II Statystyka Matematyczna*, Warszawa 1999. 1999.
- [149] Orman, Ł.J.; Majewski, G.; Radek, N.; Pietraszek, J. Analysis of Thermal Comfort in Intelligent and Traditional Buildings. *Energies* **2022**, *15*(18), 6522.
- [150] Dębska, L.; Krawczyk, N. Assessment and comparison of thermal sensations for a traditional and modern building. *Journal of Physics: Conference Series.* **2023**, *2484*(1), 012043.
- [151] Krawczyk, N.; Dębska, L.; Honus, S.; Zegarek, M.; Kiniorski, M.; Orman, Ł.J. Thermal comfort testing in the smart sustainable building. *Journal New Technol. Environ. Sci. JNTES* **2023**, *7*(2), 37–45.
- [152] Greń, J. *Statystyka Matematyczna – Modele i Zadania*. PWN: Warszawa, 1974.
- [153] Koronacki, J.; Mielniczuk, J. *Statystyka - dla Studentów Kierunków Technicznych i Przyrodniczych*. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne: Warszawa, 2001.



[154] Pétursdóttir Maack, H.; Sundström Poromaa, I.; Lindström, L.; Mulic-Lutvica, A.; Junus, K.; Wikström, A.-K. Ultrasound estimated subcutaneous and visceral adipose tissue thicknesses and risk of pre-eclampsia. *Sci. Rep.* **2021**, *11*(1), 22740.

[155] Wallner-Liebmann, S.J.; Kruschitz, R.; Hübler, K.; Hamlin, M.J.; Schnedl, W.J.; Moser, M.; Tafeit, E. A measure of obesity: BMI versus subcutaneous fat patterns in young athletes and nonathletes. *Coll. Antropol.* **2013**, *37*(2), 351–357.

[156] Akkus, O. Evaluation of Skin and Subcutaneous Adipose Tissue Thickness for Optimal Insulin Injection. *J. Diabetes Metab.* **2012**, *03*(08).

## **Wykaz cytowanych prac własnych:**

### **Artykuły w międzynarodowych czasopismach punktowanych:**

[7] Krawczyk, N.; Kapjor, A. A STUDY OF THERMAL COMFORT AT KIELCE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY. *Structure and Environment* **2020**, *12*(3), 127–132. **(40pkt)**

[9] Krawczyk, N.; Dębska, L.; Białek, A. Thermal Comfort in the Modern Car-Experimental Analysis and Verification of the Fanger Model. *International Review of Mechanical Engineering (IREME)* **2021**, *15*(12), 609. **(40pkt)**

[10] Krawczyk, N.; Dębska, L. Modeling of indoor thermal comfort in the intelligent building. *Journal of Physics - Conference Series* **2022**, *2339*(1), 012026. **(40pkt)**

[11] Krawczyk, N.; Dębska, L.; Piotrowski, J.Zb.; Honus, S.; Majewski, G. Validation of the Fanger Model and Assessment of SBS Symptoms in the Lecture Room. *Rocznik Ochrony Środowiska* **2023**, *25*, 68–76. **(70pkt)**

[12] Krawczyk, N.; Surmańska, S. Analysis of Thermal Comfort in a Single-Family House in Poland. *Civil and Environmental Engineering* **2020**, *16*(2), 396–404. **(20pkt)**

[17] Krawczyk, N. Traditional and Intelligent Buildings – Perceptions of Thermal Comfort, *Materials Research Proceedings*, Tom: 24, 96-101, **2022**. **(20pkt)**

[18] Krawczyk, N.; Wojciechowska, P. Analysis of indoor environment perceptions in the smart building. *Journal of Physics - Conference Series* **2022**, *2339*(1), 012019. **(40pkt)**

- [19] Majewski, G.; Telejko, M.; Krawczyk, N.; Dębska, L., Orman, Ł.J. QUESTIONNAIRE SURVEY OF THERMAL SENSATIONS IN THE LARGE LECTURE ROOM. *Structure and Environment* **2021**, *13*(4). (40pkt)
- [20] Krawczyk, N.; Piasta, Z.; Kielce University of Technology. PRELIMINARY TEST RESULTS OF THERMAL COMFORT IN A CLASSROOM. *Structure and Environment* **2019**, *11*(4), 281–286. (40pkt)
- [22] Dębska, L.; Krawczyk, N. Thermal comfort assessment in the modern passenger car under actual operational conditions. *Production Engineering Archives* **2023**, *29*(2), 140–146. (200pkt)
- [27] Krawczyk, N.; Dębska, L.; Starzomska, M. Measurements of thermal fields in view of heat losses determination in the smart building. *Journal of Physics : Conference Series* **2022**, *2346*(1), 012010. (40pkt)
- [31] Krawczyk, N.; Dębska, L. Indoor Environment, Lighting Conditions and Productivity in the Educational Buildings. *Civil and Environmental Engineering* **2022**, *18*(2), 581–588. (20pkt)
- [32] Orman, Ł.J.; Krawczyk, N.; Radek, N.; Honus, S.; Pietraszek, J.; Dębska, L.; Dudek, A.; Kalinowski, A. Comparative Analysis of Indoor Environmental Quality and Self-Reported Productivity in Intelligent and Traditional Buildings. *Energies* **2023**, *16*(18), 6663. (140pkt)
- [88] Krawczyk, N. Analysis of thermal comfort on planes. *Journal of Physics: Conference Series* **2022**, *2346*(1), 012007. (40pkt)
- [137] Dębska, L.; Krawczyk, N.; Kapjor, A. Analysis of Thermal and Humidity Sensations in Educational Buildings in Eastern European Climate Conditions. *Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems* **2023**, *11*(4), 1–17. (40pkt)
- [145] Dębska, L.; Honus, S.; Krawczyk, N.; Orman, Ł.J.; Piotrowski, J.Zb. Thermal Comfort Analysis in the Smart Sustainable Building with Correlation Development. *Rocznik Ochrona Środowiska* **2023**, *25*, 116–127. (70pkt)
- [150] Dębska, L.; Krawczyk, N. Assessment and comparison of thermal sensations for a traditional and modern building. *Journal of Physics: Conference Series*. **2023**, *2484*(1), 012043. (40pkt)

**Artykuły w materiałach konferencji międzynarodowych indeksowanych w bazach Web of Science i/lub Scopus:**

- [8] Krawczyk, N. Thermal comfort in the low energy building - validation and modification of the Fanger model. *E3S Web Conf.* **2021**, 246, 15003.
- [13] Krawczyk, N.; Krakowiak, J. The comparison of thermal comfort test results in selected traditional and modern buildings. *E3S Web Conf.* **2021**, 286, 02008.
- [14] Krawczyk, N. Comparison of thermal comfort in a traditional and intelligent building. *E3S Web Conf.* **2022**, 336, 00019.
- [15] Krawczyk, N.; Zender, M. Thermal comfort tests in the selected building in Poland. *E3S Web Conf.* **2022**, 347, 04014.
- [16] Krawczyk, N.; Kapjor, A. Thermal comfort conditions in traditional and sustainable, low - energy buildings. *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.* **2022**, 1057(1), 012001.
- [30] Białek, A.; Dębska, L.; Krawczyk, N. Assessment of light intensity and productivity in the intelligent building – case study. *E3S Web Conf.* **2022**, 336, 00011.

**Pozostałe publikacje:**

- [5] Krawczyk, N.; Orman, Ł.J.; Radek, N. Weryfikacja modelu Fangera w warunkach rzeczywistych, Wybrana problematyka w technologiach inżynierii mechanicznej. **2020**; 153–163.
- [6] Krawczyk, N.; Kapjor, A.; Orman, Ł.J. Verification of the Fanger Model in Real Conditions. *MATEC Web Conf.* **2020**, 328, 01001.
- [21] Krawczyk, N.; Dębska, L. Development of a modified thermal comfort model, *AIP Conference Proceedings*, 2793, 050002, **2023**.
- [29] Krawczyk, N. Assessment of productivity in different thermal working environments. *MATEC Web Conf.* **2022**, 354, 00063.
- [96] Dębska, L.; Krawczyk, N. Comparison of Thermal Sensations Under the Same Conditions in the Climatic Chamber and the Lecture Hall. *MATEC Web Conf.* **2022**, 369, 02004.
- [151] Krawczyk, N.; Dębska, L.; Honus, S.; Zegarek, M.; Kiniorski, M.; Orman, Ł.J. Thermal comfort testing in the smart sustainable building. *Journal New Technol. Environ. Sci. JNTES* **2023**, 7(2), 37–45.

## 9. Wykaz rysunków

Rys. 1. Histogram wieku uczestników. ....	64
Rys. 2. Histogram oporu cieplnego odzieży badanych uczestników. ....	65
Rys. 3. Histogram BMI badanych uczestników. ....	65
Rys. 4. Wykres wilgotności względnej powietrza i temperatury operatywnej dla 92 pomieszczeń. ....	66
Rys. 5. Stężenie dwutlenku węgla i temperatury powietrza dla 92 pomieszczeń. ....	67
Rys. 6. Częstość udzielonej odpowiedzi przez ankietowanych odnośnie wrażeń termicznych. ....	68
Rys. 7. Częstość udzielonej odpowiedzi przez ankietowanych odnośnie odczuwanych temperatur. ....	69
Rys. 8. Częstość udzielonej odpowiedzi przez ankietowanych odnośnie preferencji termicznych. ....	70
Rys. 9. Zależność pomiędzy wrażeniami termicznymi (TSV) a preferencjami ankietowanych (TPV). ....	71
Rys. 10. Zależność pomiędzy wrażeniami termicznymi (TSV) a ocenie aktualnej temperatury (TAV). ....	72
Rys. 11. Zależność pomiędzy preferencjami (TPV) a oceną aktualnej temperatury (TAV). ..	73
Rys. 12. Zależność między głosem wrażenia termicznego a temperaturą operacyjną. ....	74
Rys. 13. Częstość udzielonej odpowiedzi przez ankietowanych odnośnie wilgotności powietrza. ....	75
Rys. 14. Częstość udzielonej odpowiedzi przez ankietowanych odnośnie preferencji na temat wilgotności powietrza. ....	76
Rys. 15. Zależność pomiędzy oceną wilgotności powietrza a zmierzoną wilgotnością powietrza. ....	77
Rys. 16. Zależność pomiędzy oceną a preferencjami dotyczącymi wilgotności powietrza. ....	78
Rys. 17. Częstość udzielonej odpowiedzi przez ankietowanych odnośnie jakości powietrza. ....	79
Rys. 18. Zależność pomiędzy średnią oceną jakości powietrza (IAQ) a stężeniem CO <sub>2</sub> . ....	80
Rys. 19. Zależność pomiędzy średnią oceną ogólnego odczucia (GSV) a średnią oceną jakości powietrza (IAQ). ....	81
Rys. 20. Częstość udzielonej odpowiedzi przez ankietowanych odnośnie oświetlenia. ....	82

Rys. 21. Zależność pomiędzy średnią oceną oświetlenia w badanych pomieszczeniach a natężeniem oświetlenia - ograniczona do 1100 lx (czerwona linia - dopasowanie Lorentza). .....	83
Rys. 22. Średnia ocena ogólnego odczucia a średnia ocena natężenia światła dla 92 pomieszczeń (zielona ramka: obszar $GSV > 0$ i $-0,25 < LIA < +0,25$ ). .....	84
Rys. 23. Częstość udzielonej odpowiedzi przez ankietowanych odnośnie ogólnych odczuć..	85
Rys. 24. Zależność pomiędzy wrażeniami termicznymi a ogólnymi odczuciami dla 92 pomieszczeń. ....	86
Rys. 25. Częstość udzielonej odpowiedzi przez ankietowanych odnośnie produktywności. ..	87
Rys. 26. Średnia ocena produktywności w zależności od temperatury w badanych pomieszczeniach (czerwona linia - dopasowanie wielomianowe, zielona ramka - obszar najwyższych wartości produktywności).....	88
Rys. 27. Średnia ocena produktywności a ocena natężenia oświetlenia (czerwona linia - dopasowanie wielomianowe, zielona ramka - obszar najwyższych wartości produktywności); zakres natężenia oświetlenia do 1600 lx. ....	89
Rys. 28. Zależność pomiędzy średnią oceną produktywności a średnią oceną dobrostanu (czerwona linia - dopasowanie liniowe).....	90
Rys. 29. Zależność pomiędzy wskaźnikiem masy ciała (BMI) a odczuciami termicznymi (TSV).....	93
Rys. 30. Zależność pomiędzy liczbą osób na jednostkę kubatury a odczuciami termicznymi (TSV).....	94
Rys. 31. Zależność pomiędzy natężeniem oświetlenia a odczuciami termicznymi (TSV).....	95
Rys. 32. Zależność pomiędzy stężeniem dwutlenku węgla a odczuciami termicznymi (TSV). .....	96
Rys. 33. Porównanie wyników PMV z TSV.....	99
Rys. 34. Diagram korelacyjny PMV/TSV .....	106
Rys. 35. Diagram korelacyjny Y(III)/TSV.....	108
Rys. 36. Porównanie wyników wg modyfikacji modelu PMV i modelu oryginalnego.....	113
Rys. 37. Porównanie odpowiedzi osób niezadowolonych PPD na podstawie równania Fanger'a z PPD po modyfikacji. ....	116
Rys. 38. Odczucia cieplne (TSV - Thermal sensation vote) na podstawie ankiet dla ubioru letniego dla trzech wilgotności.....	117
Rys. 39. Odczucia cieplne (TSV - Thermal sensation vote) na podstawie ankiet dla ubioru zimowego dla trzech wilgotności. ....	118

Rys. 40. Wykres zależności TSV od preferencji TPV na podstawie ankiet dla 20% wilgotności. .....	119
Rys. 41. Wykres zależności TSV od preferencji TPV na podstawie ankiet dla 45% wilgotności. .....	120
Rys. 42. Wykres zależności TSV od preferencji TPV na podstawie ankiet dla 70% wilgotności. .....	120
Rys. 43. Porównanie wyników oryginalnych z modelem zmodyfikowanym.....	121

## 10. Wykaz tabel

Tabela 1. Współczynnik korelacji dla poszczególnych par cech. ....	91
Tabela 2. Test korelacji dla poszczególnych par cech. ....	92
Tabela 3. Zestawienie wyników badań dla średniej oceny wrażeń cieplnych dla budynków użyteczności publicznej od 19.03.2021 r. do 28.06.2022 r. ....	97
Tabela 4. Zestawienie wyników badań dla odsetka osób niezadowolonych z wrażeń cieplnych dla budynków użyteczności publicznej od 19.03.2021 r. do 28.06.2022 r. ....	100
Tabela 5. Zestawienie wyników badań dla średniej oceny wrażeń cieplnych dla budynków użyteczności publicznej od 19.03.2021 r. do 28.06.2022 r. ....	113
Tabela 6. Ocena statystyczna wskaźnika PPD wg modelu Fanger'a z PPD zmodyfikowanym. .....	116

## 11. Wykaz fotografii

Fot. 1. Budynek dydaktyczny Energis, Wydział Inżynierii Środowiska, Geomatyki i Energetyki na Politechnice Świętokrzyskiej w Kielcach. ....	55
Fot. 2. a) Budynek dydaktyczny A (Wydział Budownictwa i Architektury), b) budynek B (Wydział Mechatroniki i Budowy Maszyn), budynek C (Wydział Zarządzania i Modelowania Komputerowego). ....	55
Fot. 3. Budynek dydaktyczny Uniwersytetu Jana Kochanowskiego Kielcach na Wydziale Pedagogiki i Psychologii. ....	56
Fot. 4. Termogramy budynku dydaktycznego Energis na Politechnice Świętokrzyskiej w Kielcach. ....	57
Fot. 5. Komora klimatyczna znajdująca się na hali budynku A Politechniki Świętokrzyskiej. .....	58

Fot. 6. Zdjęcie urządzenia pomiarowego Testo 400 z sondami: a) w pomieszczeniu dydaktycznym, b) w komorze klimatycznej. .... 59

## **12. Streszczenie w języku polskim**

### **Analiza komfortu cieplnego i jakości powietrza wewnętrznego w budynkach użyteczności publicznej**

Rozprawa dotyczy analizy komfortu cieplnego i jakości powietrza wewnętrznego w budynkach szkolnictwa wyższego w Kielcach. W toku realizacji pracy wykonano badania ankietowe subiektywnych odczuć (głównie cieplnych) dla dużej grupy osób i określenie czynników wpływających na odczucia cieplne respondentów. Mierzono również parametry mikroklimatu w każdym rozpatrywanym pomieszczeniu. Analiza dotyczyła w szczególności oceny aktualnych odczuć, akceptowalności i preferencji użytkowników w zakresie warunków termicznych i wilgotnościowych, jak również oświetlenia, jakości powietrza, produktywności. Analizom poddano wpływ indeksu BMI, liczby osób na jednostkę kubatury, oświetlenia i stężenia CO<sub>2</sub> na wrażenia termiczne. Zweryfikowano skuteczność zastosowania modelu Fanger'a do przewidywania wrażeń cieplnych, a w związku z zaobserwowanymi rozbieżnościami opracowane zmodyfikowane zależności do wyznaczenia wskaźników PMV i PPD, które zapewniły lepsze odwzorowanie wyników badań eksperymentalnych niż oryginalny model (Fanger'a).

## **13. Streszczenie w języku angielskim**

### **Analysis of thermal comfort and indoor air quality in public buildings**

The dissertation concerns the analysis of thermal comfort and indoor air quality in higher education buildings in Kielce. In the course of the work, surveys of subjective feelings (mainly thermal) were carried out for a large group of people and the factors influencing the respondents' thermal sensations were determined. Microclimate parameters were also measured in each room considered. The analysis concerned in particular the assessment of users' current feelings, acceptability and preferences regarding thermal and humidity conditions, as well as lighting, air quality and productivity. The impact of the BMI index, the number of people per unit of volume, lighting and CO<sub>2</sub> concentration on thermal sensations was analyzed. The effectiveness of the Fanger model for predicting thermal sensations was verified, and due to the observed discrepancies, modified relationships were developed to determine the PMV and PPD indicators, which provided a better representation of the experimental research results than the original (Fanger) model.



## 14. Wykaz załączników

### Załącznik nr 1. Szczegółowe wyniki badań

Numer badania	1
Data	19.03.2021
Budynek	Energis
Sala	1.14
Liczba osób w pomieszczeniu	14
Temperatura powietrza, °C	24,4
Temperatura czarnej kuli, °C	25,3
Prędkość powietrza, m/s	0,07
Wilgotność względna powietrza, %	19,7
Natężenie oświetlenia, lx	423,5
Stężenie dwutlenku węgla, ppm	572
Ciśnienie cząstkowe pary wodnej, Pa	602
M - Tempo metabolizmu, W/m <sup>2</sup>	70
M - Tempo metabolizmu, met	1
W - Efektywna moc mechaniczna, W/m <sup>2</sup>	0
Izolacyjność odzieży, clo	0,76
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży, m <sup>2</sup> K/W	0,1178
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży po zmianie, m <sup>2</sup> K/W	0,1312
fcl - Współczynnik powierzchni odzieży	1,13
tcl - Temperatura powierzchni odzieży, °C	29,35
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $> 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	3,55
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $< 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	3,20
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji naturalnej, °C	25,63
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji wymuszonej, °C	25,73
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje naturalną	2,19
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje wymuszoną	2,73
Temperatura powietrza zewnętrznego, °C	1
Ciśnienie atmosferyczne, hPa	1013,5
PMV - Przewidywana Średnia Ocena (Predicted Mean Vote)	0,33
PPD - Przewidywany Odsetek Osób Niezadowolonych (Percentage of Dissatisfied People), %	7,31
TSV - Rzeczywista Średnia Ocena według ankiet (Thermal Sensation Vote)	0,36
PPD - Rzeczywisty Odsetek Osób Niezadowolonych według ankiet, %	14,29

Numer badania	2
Data	10.06.2021
Budynek	Energis
Sala	2.20
Liczba osób w pomieszczeniu	12
Temperatura powietrza, °C	25,2
Temperatura czarnej kuli, °C	25,2
Prędkość powietrza, m/s	0,06
Wilgotność względna powietrza, %	42,6
Natężenie oświetlenia, lx	158
Stężenie dwutlenku węgla, ppm	666
Ciśnienie cząstkowe pary wodnej, Pa	1365
M - Tempo metabolizmu, W/m <sup>2</sup>	70
M - Tempo metabolizmu, met	1
W - Efektywna moc mechaniczna, W/m <sup>2</sup>	0
Izolacyjność odzieży, clo	0,47
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży, m <sup>2</sup> K/W	0,0729
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży po zmianie, m <sup>2</sup> K/W	0,0861
fcl - Współczynnik powierzchni odzieży	1,09
tcl - Temperatura powierzchni odzieży, °C	30,44
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $> 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	3,60
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $< 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	25,20
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji naturalnej, °C	25,20
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji wymuszonej, °C	2,96
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje naturalną	0
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje wymuszoną	2,49
Temperatura powietrza zewnętrznego, °C	22
Ciśnienie atmosferyczne, hPa	984,6
PMV - Przewidywana Średnia Ocena (Predicted Mean Vote)	0,09
PPD - Przewidywany Odsetek Osób Niezadowolonych (Percentage of Dissatisfied People), %	5,15
TSV - Rzeczywista Średnia Ocena według ankiet (Thermal Sensation Vote)	1,33
PPD - Rzeczywisty Odsetek Osób Niezadowolonych według ankiet, %	50

Numer badania	3
Data	12.06.2021
Budynek	Energis
Sala	1.14
Liczba osób w pomieszczeniu	11
Temperatura powietrza, °C	24,6
Temperatura czarnej kuli, °C	24,6
Prędkość powietrza, m/s	0,05
Wilgotność względna powietrza, %	44,3
Natężenie oświetlenia, lx	185
Stężenie dwutlenku węgla, ppm	529
Ciśnienie cząstkowe pary wodnej, Pa	1370
M - Tempo metabolizmu, W/m <sup>2</sup>	70
M - Tempo metabolizmu, met	1
W - Efektywna moc mechaniczna, W/m <sup>2</sup>	0
Izolacyjność odzieży, clo	0,64
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży, m <sup>2</sup> K/W	0,0992
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży po zmianie, m <sup>2</sup> K/W	0,1139
fcl - Współczynnik powierzchni odzieży	1,11
tcl - Temperatura powierzchni odzieży, °C	29,50
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $> 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	3,54
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $< 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	2,71
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji naturalnej, °C	24,60
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji wymuszonej, °C	24,60
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje naturalną	0
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje wymuszoną	2,23
Temperatura powietrza zewnętrznego, °C	23
Ciśnienie atmosferyczne, hPa	1012,25
PMV - Przewidywana Średnia Ocena (Predicted Mean Vote)	0,22
PPD - Przewidywany Odsetek Osób Niezadowolonych (Percentage of Dissatisfied People), %	6,01
TSV - Rzeczywista Średnia Ocena według ankiet (Thermal Sensation Vote)	0,56
PPD - Rzeczywisty Odsetek Osób Niezadowolonych według ankiet, %	18,18

Numer badania	4
Data	05.10.2021
Budynek	Energis
Sala	1.09
Liczba osób w pomieszczeniu	13
Temperatura powietrza, °C	23,4
Temperatura czarnej kuli, °C	23,1
Prędkość powietrza, m/s	0,06
Wilgotność względna powietrza, %	49,4
Natężenie oświetlenia, lx	416,7
Stężenie dwutlenku węgla, ppm	678
Ciśnienie cząstkowe pary wodnej, Pa	1421
M - Tempo metabolizmu, W/m <sup>2</sup>	70
M - Tempo metabolizmu, met	1
W - Efektywna moc mechaniczna, W/m <sup>2</sup>	0
Izolacyjność odzieży, clo	0,63
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży, m <sup>2</sup> K/W	0,09765
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży po zmianie, m <sup>2</sup> K/W	0,1108
fcl - Współczynnik powierzchni odzieży	1,11
tcl - Temperatura powierzchni odzieży, °C	28,87
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $> 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	3,64
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $< 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	2,96
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji naturalnej, °C	23,01
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji wymuszonej, °C	22,97
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje naturalną	1,66
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje wymuszoną	2,49
Temperatura powietrza zewnętrznego, °C	21
Ciśnienie atmosferyczne, hPa	1017
PMV - Przewidywana Średnia Ocena (Predicted Mean Vote)	-0,15
PPD - Przewidywany Odsetek Osób Niezadowolonych (Percentage of Dissatisfied People), %	5,47
TSV - Rzeczywista Średnia Ocena według ankiet (Thermal Sensation Vote)	0,54
PPD - Rzeczywisty Odsetek Osób Niezadowolonych według ankiet, %	15,38

Numer badania	5
Data	05.11.2021
Budynek	Energis
Sala	2.17
Liczba osób w pomieszczeniu	12
Temperatura powietrza, °C	24,9
Temperatura czarnej kuli, °C	24,6
Prędkość powietrza, m/s	0,05
Wilgotność względna powietrza, %	33,01
Natężenie oświetlenia, lx	267,9
Stężenie dwutlenku węgla, ppm	1037
Ciśnienie cząstkowe pary wodnej, Pa	1039
M - Tempo metabolizmu, W/m <sup>2</sup>	70
M - Tempo metabolizmu, met	1
W - Efektywna moc mechaniczna, W/m <sup>2</sup>	0
Izolacyjność odzieży, clo	0,65
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży, m <sup>2</sup> K/W	0,1008
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży po zmianie, m <sup>2</sup> K/W	0,1144
fcl - Współczynnik powierzchni odzieży	1,11
tcl - Temperatura powierzchni odzieży, °C	29,51
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $> 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	3,49
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $< 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	2,71
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji naturalnej, °C	24,52
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji wymuszonej, °C	24,48
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje naturalną	1,66
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje wymuszoną	2,23
Temperatura powietrza zewnętrznego, °C	10
Ciśnienie atmosferyczne, hPa	1016
PMV - Przewidywana Średnia Ocena (Predicted Mean Vote)	0,19
PPD - Przewidywany Odsetek Osób Niezadowolonych (Percentage of Dissatisfied People), %	5,74
TSV - Rzeczywista Średnia Ocena według ankiet (Thermal Sensation Vote)	0,83
PPD - Rzeczywisty Odsetek Osób Niezadowolonych według ankiet, %	16,67

Numer badania	6
Data	09.01.2022
Budynek	Energis
Sala	1.14
Liczba osób w pomieszczeniu	16
Temperatura powietrza, °C	23,8
Temperatura czarnej kuli, °C	23,5
Prędkość powietrza, m/s	0,08
Wilgotność względna powietrza, %	25,51
Natężenie oświetlenia, lx	475,7
Stężenie dwutlenku węgla, ppm	719
Ciśnienie cząstkowe pary wodnej, Pa	752
M - Tempo metabolizmu, W/m <sup>2</sup>	70
M - Tempo metabolizmu, met	1
W - Efektywna moc mechaniczna, W/m <sup>2</sup>	0
Izolacyjność odzieży, clo	0,68
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży, m <sup>2</sup> K/W	0,1054
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży po zmianie, m <sup>2</sup> K/W	0,1190
fcl - Współczynnik powierzchni odzieży	1,12
tcl - Temperatura powierzchni odzieży, °C	28,86
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $> 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	3,57
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $< 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	3,42
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji naturalnej, °C	23,41
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji wymuszonej, °C	23,34
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje naturalną	1,66
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje wymuszoną	2,96
Temperatura powietrza zewnętrznego, °C	0
Ciśnienie atmosferyczne, hPa	1028
PMV - Przewidywana Średnia Ocena (Predicted Mean Vote)	-0,11
PPD - Przewidywany Odsetek Osób Niezadowolonych (Percentage of Dissatisfied People), %	5,25
TSV - Rzeczywista Średnia Ocena według ankiet (Thermal Sensation Vote)	0,81
PPD - Rzeczywisty Odsetek Osób Niezadowolonych według ankiet, %	25

Numer badania	7
Data	05.03.2022
Budynek	Energis
Sala	1.14
Liczba osób w pomieszczeniu	13
Temperatura powietrza, °C	23,14
Temperatura czarnej kuli, °C	23,18
Prędkość powietrza, m/s	0,06
Wilgotność względna powietrza, %	20,78
Natężenie oświetlenia, lx	480,76
Stężenie dwutlenku węgla, ppm	823,86
Ciśnienie cząstkowe pary wodnej, Pa	589,00
M - Tempo metabolizmu, W/m <sup>2</sup>	70
M - Tempo metabolizmu, met	1
W - Efektywna moc mechaniczna, W/m <sup>2</sup>	0
Izolacyjność odzieży, clo	0,77
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży, m <sup>2</sup> K/W	0,1194
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży po zmianie, m <sup>2</sup> K/W	0,1332
fcl - Współczynnik powierzchni odzieży	1,13
tcl - Temperatura powierzchni odzieży, °C	28,32
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $> 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	3,59
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $< 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	2,96
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji naturalnej, °C	23,19
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji wymuszonej, °C	23,20
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje naturalną	1,01
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje wymuszoną	2,49
Temperatura powietrza zewnętrznego, °C	0
Ciśnienie atmosferyczne, hPa	1024
PMV - Przewidywana Średnia Ocena (Predicted Mean Vote)	-0,10
PPD - Przewidywany Odsetek Osób Niezadowolonych (Percentage of Dissatisfied People), %	5,21
TSV - Rzeczywista Średnia Ocena według ankiet (Thermal Sensation Vote)	0
PPD - Rzeczywisty Odsetek Osób Niezadowolonych według ankiet, %	38,46

Numer badania	8
Data	08.03.2022
Budynek	Energis
Sala	2.20
Liczba osób w pomieszczeniu	15
Temperatura powietrza, °C	21,80
Temperatura czarnej kuli, °C	22,00
Prędkość powietrza, m/s	0,07
Wilgotność względna powietrza, %	29,35
Natężenie oświetlenia, lx	100,5
Stężenie dwutlenku węgla, ppm	1157
Ciśnienie cząstkowe pary wodnej, Pa	766,00
M - Tempo metabolizmu, W/m <sup>2</sup>	70
M - Tempo metabolizmu, met	1
W - Efektywna moc mechaniczna, W/m <sup>2</sup>	0
Izolacyjność odzieży, clo	0,70
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży, m <sup>2</sup> K/W	0,1085
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży po zmianie, m <sup>2</sup> K/W	0,1225
fcl - Współczynnik powierzchni odzieży	0,1085
tcl - Temperatura powierzchni odzieży, °C	27,95
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $> 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	3,75
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $< 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	3,20
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji naturalnej, °C	22,05
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji wymuszonej, °C	22,10
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje naturalną	1,5
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje wymuszoną	2,73
Temperatura powietrza zewnętrznego, °C	2
Ciśnienie atmosferyczne, hPa	1024
PMV - Przewidywana Średnia Ocena (Predicted Mean Vote)	-0,48
PPD - Przewidywany Odsetek Osób Niezadowolonych (Percentage of Dissatisfied People), %	9,88
TSV - Rzeczywista Średnia Ocena według ankiet (Thermal Sensation Vote)	0,53
PPD - Rzeczywisty Odsetek Osób Niezadowolonych według ankiet, %	20



Numer badania	9
Data	29.03.2022
Budynek	Energis
Sala	2.17
Liczba osób w pomieszczeniu	18
Temperatura powietrza, °C	26,80
Temperatura czarnej kuli, °C	26,50
Prędkość powietrza, m/s	0,08
Wilgotność względna powietrza, %	30,05
Natężenie oświetlenia, lx	259
Stężenie dwutlenku węgla, ppm	1269
Ciśnienie cząstkowe pary wodnej, Pa	1059,00
M - Tempo metabolizmu, W/m <sup>2</sup>	70
M - Tempo metabolizmu, met	1
W - Efektywna moc mechaniczna, W/m <sup>2</sup>	0
Izolacyjność odzieży, clo	0,60
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży, m <sup>2</sup> K/W	0,0930
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży po zmianie, m <sup>2</sup> K/W	0,1075
fcl - Współczynnik powierzchni odzieży	1,11
tcl - Temperatura powierzchni odzieży, °C	30,54
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $> 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	3,31
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $< 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	3,42
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji naturalnej, °C	26,42
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji wymuszonej, °C	26,35
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje naturalną	1,66
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje wymuszoną	2,96
Temperatura powietrza zewnętrznego, °C	12
Ciśnienie atmosferyczne, hPa	1008
PMV - Przewidywana Średnia Ocena (Predicted Mean Vote)	0,60
PPD - Przewidywany Odsetek Osób Niezadowolonych (Percentage of Dissatisfied People), %	12,51
TSV - Rzeczywista Średnia Ocena według ankiet (Thermal Sensation Vote)	2,39
PPD - Rzeczywisty Odsetek Osób Niezadowolonych według ankiet, %	100

Numer badania	10
Data	31.03.2022
Budynek	Energis
Sala	4.09
Liczba osób w pomieszczeniu	17
Temperatura powietrza, °C	20,40
Temperatura czarnej kuli, °C	21,10
Prędkość powietrza, m/s	0,07
Wilgotność względna powietrza, %	30,24
Natężenie oświetlenia, lx	295,8
Stężenie dwutlenku węgla, ppm	508
Ciśnienie cząstkowe pary wodnej, Pa	724,00
M - Tempo metabolizmu, W/m <sup>2</sup>	70
M - Tempo metabolizmu, met	1
W - Efektywna moc mechaniczna, W/m <sup>2</sup>	0
Izolacyjność odzieży, clo	0,65
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży, m <sup>2</sup> K/W	0,1008
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży po zmianie, m <sup>2</sup> K/W	0,1132
fcl - Współczynnik powierzchni odzieży	1,11
tcl - Temperatura powierzchni odzieży, °C	27,65
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $> 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	3,91
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $< 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	3,20
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji naturalnej, °C	21,35
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji wymuszonej, °C	21,45
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje naturalną	2,06
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje wymuszoną	2,73
Temperatura powietrza zewnętrznego, °C	2
Ciśnienie atmosferyczne, hPa	1003
PMV - Przewidywana Średnia Ocena (Predicted Mean Vote)	-0,87
PPD - Przewidywany Odsetek Osób Niezadowolonych (Percentage of Dissatisfied People), %	21,06
TSV - Rzeczywista Średnia Ocena według ankiet (Thermal Sensation Vote)	-0,59
PPD - Rzeczywisty Odsetek Osób Niezadowolonych według ankiet, %	11,76

Numer badania	11
Data	31.03.2022
Budynek	Energis
Sala	1.08
Liczba osób w pomieszczeniu	10
Temperatura powietrza, °C	23,20
Temperatura czarnej kuli, °C	23,50
Prędkość powietrza, m/s	0,14
Wilgotność względna powietrza, %	31,53
Natężenie oświetlenia, lx	275,3
Stężenie dwutlenku węgla, ppm	1119
Ciśnienie cząstkowe pary wodnej, Pa	896,00
M - Tempo metabolizmu, W/m <sup>2</sup>	70
M - Tempo metabolizmu, met	1
W - Efektywna moc mechaniczna, W/m <sup>2</sup>	0
Izolacyjność odzieży, clo	0,67
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży, m <sup>2</sup> K/W	0,1039
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży po zmianie, m <sup>2</sup> K/W	0,1164
fcl - Współczynnik powierzchni odzieży	1,12
tcl - Temperatura powierzchni odzieży, °C	28,55
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $> 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	3,62
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $< 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	4,53
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji naturalnej, °C	23,59
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji wymuszonej, °C	23,72
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje naturalną	1,66
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje wymuszoną	4,14
Temperatura powietrza zewnętrznego, °C	2
Ciśnienie atmosferyczne, hPa	1003
PMV - Przewidywana Średnia Ocena (Predicted Mean Vote)	-0,27
PPD - Przewidywany Odsetek Osób Niezadowolonych (Percentage of Dissatisfied People), %	6,52
TSV - Rzeczywista Średnia Ocena według ankiet (Thermal Sensation Vote)	1
PPD - Rzeczywisty Odsetek Osób Niezadowolonych według ankiet, %	30

Numer badania	12
Data	31.03.2022
Budynek	Energis
Sala	1.09
Liczba osób w pomieszczeniu	15
Temperatura powietrza, °C	22,80
Temperatura czarnej kuli, °C	23,10
Prędkość powietrza, m/s	0,09
Wilgotność względna powietrza, %	29,37
Natężenie oświetlenia, lx	531,7
Stężenie dwutlenku węgla, ppm	923
Ciśnienie cząstkowe pary wodnej, Pa	815,00
M - Tempo metabolizmu, W/m <sup>2</sup>	70
M - Tempo metabolizmu, met	1
W - Efektywna moc mechaniczna, W/m <sup>2</sup>	0
Izolacyjność odzieży, clo	0,66
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży, m <sup>2</sup> K/W	0,1023
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży po zmianie, m <sup>2</sup> K/W	0,1159
fcl - Współczynnik powierzchni odzieży	1,12
tcl - Temperatura powierzchni odzieży, °C	28,66
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $> 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	3,70
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $< 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	3,63
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji naturalnej, °C	23,19
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji wymuszonej, °C	23,27
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje naturalną	1,66
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje wymuszoną	3,17
Temperatura powietrza zewnętrznego, °C	2
Ciśnienie atmosferyczne, hPa	1003
PMV - Przewidywana Średnia Ocena (Predicted Mean Vote)	-0,28
PPD - Przewidywany Odsetek Osób Niezadowolonych (Percentage of Dissatisfied People), %	6,58
TSV - Rzeczywista Średnia Ocena według ankiet (Thermal Sensation Vote)	0,47
PPD - Rzeczywisty Odsetek Osób Niezadowolonych według ankiet, %	0

Numer badania	13
Data	31.03.2022
Budynek	Energis
Sala	1.15
Liczba osób w pomieszczeniu	10
Temperatura powietrza, °C	22,50
Temperatura czarnej kuli, °C	23,00
Prędkość powietrza, m/s	0,07
Wilgotność względna powietrza, %	30,26
Natężenie oświetlenia, lx	34,5
Stężenie dwutlenku węgla, ppm	943
Ciśnienie cząstkowe pary wodnej, Pa	824,00
M - Tempo metabolizmu, W/m <sup>2</sup>	70
M - Tempo metabolizmu, met	1
W - Efektywna moc mechaniczna, W/m <sup>2</sup>	0
Izolacyjność odzieży, clo	0,72
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży, m <sup>2</sup> K/W	0,1116
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży po zmianie, m <sup>2</sup> K/W	0,1258
fcl - Współczynnik powierzchni odzieży	1,12
tcl - Temperatura powierzchni odzieży, °C	28,34
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $> 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	3,70
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $< 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	3,20
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji naturalnej, °C	23,16
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji wymuszonej, °C	23,24
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje naturalną	1,89
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje wymuszoną	2,73
Temperatura powietrza zewnętrznego, °C	2
Ciśnienie atmosferyczne, hPa	1003
PMV - Przewidywana Średnia Ocena (Predicted Mean Vote)	-0,21
PPD - Przewidywany Odsetek Osób Niezadowolonych (Percentage of Dissatisfied People), %	5,90
TSV - Rzeczywista Średnia Ocena według ankiet (Thermal Sensation Vote)	1,1
PPD - Rzeczywisty Odsetek Osób Niezadowolonych według ankiet, %	30

Numer badania	14
Data	31.03.2022
Budynek	Energis
Sala	3.20
Liczba osób w pomieszczeniu	13
Temperatura powietrza, °C	26,10
Temperatura czarnej kuli, °C	26,00
Prędkość powietrza, m/s	0,07
Wilgotność względna powietrza, %	24,91
Natężenie oświetlenia, lx	29,1
Stężenie dwutlenku węgla, ppm	850
Ciśnienie cząstkowe pary wodnej, Pa	842,00
M - Tempo metabolizmu, W/m <sup>2</sup>	70
M - Tempo metabolizmu, met	1
W - Efektywna moc mechaniczna, W/m <sup>2</sup>	0
Izolacyjność odzieży, clo	0,70
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży, m <sup>2</sup> K/W	0,1085
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży po zmianie, m <sup>2</sup> K/W	0,1211
fcl - Współczynnik powierzchni odzieży	1,12
tcl - Temperatura powierzchni odzieży, °C	30,02
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $> 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	3,35
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $< 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	3,20
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji naturalnej, °C	25,98
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji wymuszonej, °C	25,95
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje naturalną	1,27
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje wymuszoną	2,73
Temperatura powietrza zewnętrznego, °C	2
Ciśnienie atmosferyczne, hPa	1003
PMV - Przewidywana Średnia Ocena (Predicted Mean Vote)	0,55
PPD - Przewidywany Odsetek Osób Niezadowolonych (Percentage of Dissatisfied People), %	11,35
TSV - Rzeczywista Średnia Ocena według ankiet (Thermal Sensation Vote)	1,38
PPD - Rzeczywisty Odsetek Osób Niezadowolonych według ankiet, %	46,15

Numer badania	15
Data	01.04.2022
Budynek	Energis
Sala	3.15
Liczba osób w pomieszczeniu	12
Temperatura powietrza, °C	23,10
Temperatura czarnej kuli, °C	23,70
Prędkość powietrza, m/s	0,08
Wilgotność względna powietrza, %	34,42
Natężenie oświetlenia, lx	183,5
Stężenie dwutlenku węgla, ppm	1335
Ciśnienie cząstkowe pary wodnej, Pa	972,00
M - Tempo metabolizmu, W/m <sup>2</sup>	70
M - Tempo metabolizmu, met	1
W - Efektywna moc mechaniczna, W/m <sup>2</sup>	0
Izolacyjność odzieży, clo	0,71
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży, m <sup>2</sup> K/W	0,1101
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży po zmianie, m <sup>2</sup> K/W	0,1246
fcl - Współczynnik powierzchni odzieży	1,12
tcl - Temperatura powierzchni odzieży, °C	28,73
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $> 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	3,67
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $< 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	3,42
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji naturalnej, °C	23,90
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji wymuszonej, °C	24,01
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje naturalną	1,98
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje wymuszoną	2,96
Temperatura powietrza zewnętrznego, °C	0
Ciśnienie atmosferyczne, hPa	998
PMV - Przewidywana Średnia Ocena (Predicted Mean Vote)	-0,02
PPD - Przewidywany Odsetek Osób Niezadowolonych (Percentage of Dissatisfied People), %	5,01
TSV - Rzeczywista Średnia Ocena według ankiet (Thermal Sensation Vote)	0,92
PPD - Rzeczywisty Odsetek Osób Niezadowolonych według ankiet, %	25

Numer badania	16
Data	01.04.2022
Budynek	Energis
Sala	2.17
Liczba osób w pomieszczeniu	10
Temperatura powietrza, °C	26,20
Temperatura czarnej kuli, °C	26,10
Prędkość powietrza, m/s	0,06
Wilgotność względna powietrza, %	33,84
Natężenie oświetlenia, lx	212
Stężenie dwutlenku węgla, ppm	1524
Ciśnienie cząstkowe pary wodnej, Pa	1151,00
M - Tempo metabolizmu, W/m <sup>2</sup>	70
M - Tempo metabolizmu, met	1
W - Efektywna moc mechaniczna, W/m <sup>2</sup>	0
Izolacyjność odzieży, clo	0,66
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży, m <sup>2</sup> K/W	0,1023
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży po zmianie, m <sup>2</sup> K/W	0,1179
fcl - Współczynnik powierzchni odzieży	1,12
tcl - Temperatura powierzchni odzieży, °C	30,18
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $> 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	3,36
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $< 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	2,96
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji naturalnej, °C	26,08
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji wymuszonej, °C	26,06
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje naturalną	1,27
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje wymuszoną	2,49
Temperatura powietrza zewnętrznego, °C	0
Ciśnienie atmosferyczne, hPa	998
PMV - Przewidywana Średnia Ocena (Predicted Mean Vote)	0,59
PPD - Przewidywany Odsetek Osób Niezadowolonych (Percentage of Dissatisfied People), %	12,41
TSV - Rzeczywista Średnia Ocena według ankiet (Thermal Sensation Vote)	2,1
PPD - Rzeczywisty Odsetek Osób Niezadowolonych według ankiet, %	90



Numer badania	17
Data	04.04.2022
Budynek	Energis
Sala	3.19
Liczba osób w pomieszczeniu	11
Temperatura powietrza, °C	25,50
Temperatura czarnej kuli, °C	25,10
Prędkość powietrza, m/s	0,06
Wilgotność względna powietrza, %	21,31
Natężenie oświetlenia, lx	77,2
Stężenie dwutlenku węgla, ppm	698
Ciśnienie cząstkowe pary wodnej, Pa	1003,00
M - Tempo metabolizmu, W/m <sup>2</sup>	70
M - Tempo metabolizmu, met	1
W - Efektywna moc mechaniczna, W/m <sup>2</sup>	0
Izolacyjność odzieży, clo	0,66
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży, m <sup>2</sup> K/W	0,1023
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży po zmianie, m <sup>2</sup> K/W	0,1140
fcl - Współczynnik powierzchni odzieży	1,12
tcl - Temperatura powierzchni odzieży, °C	29,73
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $> 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	3,41
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $< 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	2,96
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji naturalnej, °C	24,98
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji wymuszonej, °C	24,93
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje naturalną	1,79
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje wymuszoną	2,49
Temperatura powietrza zewnętrznego, °C	0
Ciśnienie atmosferyczne, hPa	1013
PMV - Przewidywana Średnia Ocena (Predicted Mean Vote)	0,33
PPD - Przewidywany Odsetek Osób Niezadowolonych (Percentage of Dissatisfied People), %	7,27
TSV - Rzeczywista Średnia Ocena według ankiet (Thermal Sensation Vote)	1,36
PPD - Rzeczywisty Odsetek Osób Niezadowolonych według ankiet, %	27,27

Numer badania	18
Data	04.04.2022
Budynek	Energis
Sala	2.15
Liczba osób w pomieszczeniu	11
Temperatura powietrza, °C	22,10
Temperatura czarnej kuli, °C	22,00
Prędkość powietrza, m/s	0,05
Wilgotność względna powietrza, %	20,71
Natężenie oświetlenia, lx	180,6
Stężenie dwutlenku węgla, ppm	559
Ciśnienie cząstkowe pary wodnej, Pa	551,00
M - Tempo metabolizmu, W/m <sup>2</sup>	70
M - Tempo metabolizmu, met	1
W - Efektywna moc mechaniczna, W/m <sup>2</sup>	0
Izolacyjność odzieży, clo	0,73
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży, m <sup>2</sup> K/W	0,1132
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży po zmianie, m <sup>2</sup> K/W	0,1258
fcl - Współczynnik powierzchni odzieży	1,12
tcl - Temperatura powierzchni odzieży, °C	27,88
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $> 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	3,69
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $< 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	2,71
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji naturalnej, °C	21,98
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji wymuszonej, °C	21,96
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje naturalną	1,27
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje wymuszoną	2,23
Temperatura powietrza zewnętrznego, °C	0
Ciśnienie atmosferyczne, hPa	1013
PMV - Przewidywana Średnia Ocena (Predicted Mean Vote)	-0,45
PPD - Przewidywany Odsetek Osób Niezadowolonych (Percentage of Dissatisfied People), %	9,21
TSV - Rzeczywista Średnia Ocena według ankiet (Thermal Sensation Vote)	-0,09
PPD - Rzeczywisty Odsetek Osób Niezadowolonych według ankiet, %	18,18

Numer badania	19
Data	04.04.2022
Budynek	Energis
Sala	3.19
Liczba osób w pomieszczeniu	14
Temperatura powietrza, °C	25,60
Temperatura czarnej kuli, °C	25,30
Prędkość powietrza, m/s	0,05
Wilgotność względna powietrza, %	26,45
Natężenie oświetlenia, lx	277,2
Stężenie dwutlenku węgla, ppm	1251
Ciśnienie cząstkowe pary wodnej, Pa	868,00
M - Tempo metabolizmu, W/m <sup>2</sup>	70
M - Tempo metabolizmu, met	1
W - Efektywna moc mechaniczna, W/m <sup>2</sup>	0
Izolacyjność odzieży, clo	0,74
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży, m <sup>2</sup> K/W	0,1147
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży po zmianie, m <sup>2</sup> K/W	0,1283
fcl - Współczynnik powierzchni odzieży	1,12
tcl - Temperatura powierzchni odzieży, °C	29,58
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $> 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	3,36
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $< 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	2,71
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji naturalnej, °C	25,22
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji wymuszonej, °C	25,18
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje naturalną	1,66
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje wymuszoną	2,23
Temperatura powietrza zewnętrznego, °C	0
Ciśnienie atmosferyczne, hPa	1013
PMV - Przewidywana Średnia Ocena (Predicted Mean Vote)	0,45
PPD - Przewidywany Odsetek Osób Niezadowolonych (Percentage of Dissatisfied People), %	9,28
TSV - Rzeczywista Średnia Ocena według ankiet (Thermal Sensation Vote)	1,36
PPD - Rzeczywisty Odsetek Osób Niezadowolonych według ankiet, %	35,71

Numer badania	20
Data	04.04.2022
Budynek	Energis
Sala	3.18
Liczba osób w pomieszczeniu	12
Temperatura powietrza, °C	24,30
Temperatura czarnej kuli, °C	24,30
Prędkość powietrza, m/s	0,07
Wilgotność względna powietrza, %	26,39
Natężenie oświetlenia, lx	215,2
Stężenie dwutlenku węgla, ppm	1171
Ciśnienie cząstkowe pary wodnej, Pa	801,00
M - Tempo metabolizmu, W/m <sup>2</sup>	70
M - Tempo metabolizmu, met	1
W - Efektywna moc mechaniczna, W/m <sup>2</sup>	0
Izolacyjność odzieży, clo	0,65
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży, m <sup>2</sup> K/W	0,1008
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży po zmianie, m <sup>2</sup> K/W	0,1141
fcl - Współczynnik powierzchni odzieży	1,11
tcl - Temperatura powierzchni odzieży, °C	29,32
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $> 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	3,56
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $< 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	3,20
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji naturalnej, °C	24,30
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji wymuszonej, °C	24,30
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje naturalną	0
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje wymuszoną	2,73
Temperatura powietrza zewnętrznego, °C	0
Ciśnienie atmosferyczne, hPa	1013
PMV - Przewidywana Średnia Ocena (Predicted Mean Vote)	0,03
PPD - Przewidywany Odsetek Osób Niezadowolonych (Percentage of Dissatisfied People), %	5,02
TSV - Rzeczywista Średnia Ocena według ankiet (Thermal Sensation Vote)	0,17
PPD - Rzeczywisty Odsetek Osób Niezadowolonych według ankiet, %	0

Numer badania	21
Data	04.04.2022
Budynek	Energis
Sala	3.20
Liczba osób w pomieszczeniu	11
Temperatura powietrza, °C	25,80
Temperatura czarnej kuli, °C	25,50
Prędkość powietrza, m/s	0,05
Wilgotność względna powietrza, %	23,05
Natężenie oświetlenia, lx	243,9
Stężenie dwutlenku węgla, ppm	1055
Ciśnienie cząstkowe pary wodnej, Pa	765,00
M - Tempo metabolizmu, W/m <sup>2</sup>	70
M - Tempo metabolizmu, met	1
W - Efektywna moc mechaniczna, W/m <sup>2</sup>	0
Izolacyjność odzieży, clo	0,67
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży, m <sup>2</sup> K/W	0,1039
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży po zmianie, m <sup>2</sup> K/W	0,1170
fcl - Współczynnik powierzchni odzieży	1,12
tcl - Temperatura powierzchni odzieży, °C	29,89
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $> 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	3,38
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $< 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	2,71
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji naturalnej, °C	25,42
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji wymuszonej, °C	25,38
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje naturalną	1,66
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje wymuszoną	2,23
Temperatura powietrza zewnętrznego, °C	0
Ciśnienie atmosferyczne, hPa	1013
PMV - Przewidywana Średnia Ocena (Predicted Mean Vote)	0,39
PPD - Przewidywany Odsetek Osób Niezadowolonych (Percentage of Dissatisfied People), %	8,12
TSV - Rzeczywista Średnia Ocena według ankiet (Thermal Sensation Vote)	0,64
PPD - Rzeczywisty Odsetek Osób Niezadowolonych według ankiet, %	18,18

Numer badania	22
Data	05.04.2022
Budynek	Energis
Sala	2.17
Liczba osób w pomieszczeniu	13
Temperatura powietrza, °C	26,70
Temperatura czarnej kuli, °C	26,30
Prędkość powietrza, m/s	0,07
Wilgotność względna powietrza, %	29,13
Natężenie oświetlenia, lx	215,2
Stężenie dwutlenku węgla, ppm	1453
Ciśnienie cząstkowe pary wodnej, Pa	1020,00
M - Tempo metabolizmu, W/m <sup>2</sup>	70
M - Tempo metabolizmu, met	1
W - Efektywna moc mechaniczna, W/m <sup>2</sup>	0
Izolacyjność odzieży, clo	0,61
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży, m <sup>2</sup> K/W	0,0946
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży po zmianie, m <sup>2</sup> K/W	0,1078
fcl - Współczynnik powierzchni odzieży	1,11
tcl - Temperatura powierzchni odzieży, °C	30,46
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $> 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	3,31
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $< 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	3,20
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji naturalnej, °C	26,18
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji wymuszonej, °C	26,11
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje naturalną	1,79
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje wymuszoną	2,73
Temperatura powietrza zewnętrznego, °C	3
Ciśnienie atmosferyczne, hPa	1001
PMV - Przewidywana Średnia Ocena (Predicted Mean Vote)	0,57
PPD - Przewidywany Odsetek Osób Niezadowolonych (Percentage of Dissatisfied People), %	11,85
TSV - Rzeczywista Średnia Ocena według ankiet (Thermal Sensation Vote)	1,31
PPD - Rzeczywisty Odsetek Osób Niezadowolonych według ankiet, %	46,15

Numer badania	23
Data	21.04.2022
Budynek	Energis
Sala	2.19
Liczba osób w pomieszczeniu	12
Temperatura powietrza, °C	22,50
Temperatura czarnej kuli, °C	22,60
Prędkość powietrza, m/s	0,06
Wilgotność względna powietrza, %	36,01
Natężenie oświetlenia, lx	199,2
Stężenie dwutlenku węgla, ppm	759
Ciśnienie cząstkowe pary wodnej, Pa	981,00
M - Tempo metabolizmu, W/m <sup>2</sup>	70
M - Tempo metabolizmu, met	1
W - Efektywna moc mechaniczna, W/m <sup>2</sup>	0
Izolacyjność odzieży, clo	0,74
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży, m <sup>2</sup> K/W	0,1147
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży po zmianie, m <sup>2</sup> K/W	0,1282
fcl - Współczynnik powierzchni odzieży	1,12
tcl - Temperatura powierzchni odzieży, °C	28,12
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $> 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	3,66
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $< 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	2,96
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji naturalnej, °C	22,62
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji wymuszonej, °C	22,64
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje naturalną	1,27
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje wymuszoną	2,49
Temperatura powietrza zewnętrznego, °C	6
Ciśnienie atmosferyczne, hPa	1012
PMV - Przewidywana Średnia Ocena (Predicted Mean Vote)	-0,21
PPD - Przewidywany Odsetek Osób Niezadowolonych (Percentage of Dissatisfied People), %	5,88
TSV - Rzeczywista Średnia Ocena według ankiet (Thermal Sensation Vote)	1,08
PPD - Rzeczywisty Odsetek Osób Niezadowolonych według ankiet, %	25

Numer badania	24
Data	22.04.2022
Budynek	Energis
Sala	3.18
Liczba osób w pomieszczeniu	12
Temperatura powietrza, °C	23,90
Temperatura czarnej kuli, °C	24,30
Prędkość powietrza, m/s	0,07
Wilgotność względna powietrza, %	33,8
Natężenie oświetlenia, lx	32,4
Stężenie dwutlenku węgla, ppm	832
Ciśnienie cząstkowe pary wodnej, Pa	1002,00
M - Tempo metabolizmu, W/m <sup>2</sup>	70
M - Tempo metabolizmu, met	1
W - Efektywna moc mechaniczna, W/m <sup>2</sup>	0
Izolacyjność odzieży, clo	0,70
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży, m <sup>2</sup> K/W	0,1085
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży po zmianie, m <sup>2</sup> K/W	0,1219
fcl - Współczynnik powierzchni odzieży	1,12
tcl - Temperatura powierzchni odzieży, °C	29,09
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $> 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	3,59
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $< 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	3,20
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji naturalnej, °C	24,42
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji wymuszonej, °C	24,49
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje naturalną	1,79
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje wymuszoną	2,73
Temperatura powietrza zewnętrznego, °C	6
Ciśnienie atmosferyczne, hPa	1012
PMV - Przewidywana Średnia Ocena (Predicted Mean Vote)	0,13
PPD - Przewidywany Odsetek Osób Niezadowolonych (Percentage of Dissatisfied People), %	5,34
TSV - Rzeczywista Średnia Ocena według ankiet (Thermal Sensation Vote)	0,17
PPD - Rzeczywisty Odsetek Osób Niezadowolonych według ankiet, %	0



Numer badania	25
Data	25.04.2022
Budynek	Energis
Sala	3.18
Liczba osób w pomieszczeniu	11
Temperatura powietrza, °C	23,20
Temperatura czarnej kuli, °C	23,70
Prędkość powietrza, m/s	0,08
Wilgotność względna powietrza, %	40,94
Natężenie oświetlenia, lx	225
Stężenie dwutlenku węgla, ppm	673
Ciśnienie cząstkowe pary wodnej, Pa	1164,00
M - Tempo metabolizmu, W/m <sup>2</sup>	70
M - Tempo metabolizmu, met	1
W - Efektywna moc mechaniczna, W/m <sup>2</sup>	0
Izolacyjność odzieży, clo	0,61
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży, m <sup>2</sup> K/W	0,0946
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży po zmianie, m <sup>2</sup> K/W	0,1080
fcl - Współczynnik powierzchni odzieży	1,11
tcl - Temperatura powierzchni odzieży, °C	29,12
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $> 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	3,71
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $< 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	3,42
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji naturalnej, °C	23,86
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji wymuszonej, °C	23,96
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje naturalną	1,89
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje wymuszoną	2,96
Temperatura powietrza zewnętrznego, °C	5
Ciśnienie atmosferyczne, hPa	1005
PMV - Przewidywana Średnia Ocena (Predicted Mean Vote)	-0,15
PPD - Przewidywany Odsetek Osób Niezadowolonych (Percentage of Dissatisfied People), %	5,48
TSV - Rzeczywista Średnia Ocena według ankiet (Thermal Sensation Vote)	0,18
PPD - Rzeczywisty Odsetek Osób Niezadowolonych według ankiet, %	0

Numer badania	26
Data	25.04.2022
Budynek	Energis
Sala	3.20
Liczba osób w pomieszczeniu	12
Temperatura powietrza, °C	26,20
Temperatura czarnej kuli, °C	26,00
Prędkość powietrza, m/s	0,05
Wilgotność względna powietrza, %	36,95
Natężenie oświetlenia, lx	118
Stężenie dwutlenku węgla, ppm	797
Ciśnienie cząstkowe pary wodnej, Pa	1256,00
M - Tempo metabolizmu, W/m <sup>2</sup>	70
M - Tempo metabolizmu, met	1
W - Efektywna moc mechaniczna, W/m <sup>2</sup>	0
Izolacyjność odzieży, clo	0,63
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży, m <sup>2</sup> K/W	0,0977
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży po zmianie, m <sup>2</sup> K/W	0,1116
fcl - Współczynnik powierzchni odzieży	1,11
tcl - Temperatura powierzchni odzieży, °C	30,23
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $> 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	3,37
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $< 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	2,71
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji naturalnej, °C	25,95
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji wymuszonej, °C	25,92
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje naturalną	1,5
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje wymuszoną	2,23
Temperatura powietrza zewnętrznego, °C	5
Ciśnienie atmosferyczne, hPa	1005
PMV - Przewidywana Średnia Ocena (Predicted Mean Vote)	0,56
PPD - Przewidywany Odsetek Osób Niezadowolonych (Percentage of Dissatisfied People), %	11,59
TSV - Rzeczywista Średnia Ocena według ankiet (Thermal Sensation Vote)	1,5
PPD - Rzeczywisty Odsetek Osób Niezadowolonych według ankiet, %	58,33

Numer badania	27
Data	25.04.2022
Budynek	Energis
Sala	3.19
Liczba osób w pomieszczeniu	12
Temperatura powietrza, °C	26,30
Temperatura czarnej kuli, °C	26,70
Prędkość powietrza, m/s	0,17
Wilgotność względna powietrza, %	34,81
Natężenie oświetlenia, lx	108,9
Stężenie dwutlenku węgla, ppm	741
Ciśnienie cząstkowe pary wodnej, Pa	1191,00
M - Tempo metabolizmu, W/m <sup>2</sup>	70
M - Tempo metabolizmu, met	1
W - Efektywna moc mechaniczna, W/m <sup>2</sup>	0
Izolacyjność odzieży, clo	0,58
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży, m <sup>2</sup> K/W	0,0899
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży po zmianie, m <sup>2</sup> K/W	0,1029
fcl - Współczynnik powierzchni odzieży	1,11
tcl - Temperatura powierzchni odzieży, °C	30,32
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $> 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	3,37
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $< 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	4,99
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji naturalnej, °C	26,82
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji wymuszonej, °C	27,02
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje naturalną	1,79
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje wymuszoną	4,65
Temperatura powietrza zewnętrznego, °C	5
Ciśnienie atmosferyczne, hPa	1005
PMV - Przewidywana Średnia Ocena (Predicted Mean Vote)	0,43
PPD - Przewidywany Odsetek Osób Niezadowolonych (Percentage of Dissatisfied People), %	8,90
TSV - Rzeczywista Średnia Ocena według ankiet (Thermal Sensation Vote)	2,17
PPD - Rzeczywisty Odsetek Osób Niezadowolonych według ankiet, %	91,67

Numer badania	28
Data	25.04.2022
Budynek	Energis
Sala	3.18
Liczba osób w pomieszczeniu	11
Temperatura powietrza, °C	23,80
Temperatura czarnej kuli, °C	24,60
Prędkość powietrza, m/s	0,06
Wilgotność względna powietrza, %	43,07
Natężenie oświetlenia, lx	273,7
Stężenie dwutlenku węgla, ppm	983
Ciśnienie cząstkowe pary wodnej, Pa	1269,00
M - Tempo metabolizmu, W/m <sup>2</sup>	70
M - Tempo metabolizmu, met	1
W - Efektywna moc mechaniczna, W/m <sup>2</sup>	0
Izolacyjność odzieży, clo	0,52
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży, m <sup>2</sup> K/W	0,0806
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży po zmianie, m <sup>2</sup> K/W	0,0972
fcl - Współczynnik powierzchni odzieży	1,10
tcl - Temperatura powierzchni odzieży, °C	29,86
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $> 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	3,73
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $< 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	2,96
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji naturalnej, °C	24,89
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji wymuszonej, °C	24,95
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje naturalną	2,13
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje wymuszoną	2,49
Temperatura powietrza zewnętrznego, °C	5
Ciśnienie atmosferyczne, hPa	1005
PMV - Przewidywana Średnia Ocena (Predicted Mean Vote)	-0,09
PPD - Przewidywany Odsetek Osób Niezadowolonych (Percentage of Dissatisfied People), %	5,17
TSV - Rzeczywista Średnia Ocena według ankiet (Thermal Sensation Vote)	1
PPD - Rzeczywisty Odsetek Osób Niezadowolonych według ankiet, %	27,27

Numer badania	29
Data	25.04.2022
Budynek	Energis
Sala	3.19
Liczba osób w pomieszczeniu	12
Temperatura powietrza, °C	25,80
Temperatura czarnej kuli, °C	26,20
Prędkość powietrza, m/s	0,21
Wilgotność względna powietrza, %	39,6
Natężenie oświetlenia, lx	105,8
Stężenie dwutlenku węgla, ppm	1046
Ciśnienie cząstkowe pary wodnej, Pa	1315,00
M - Tempo metabolizmu, W/m <sup>2</sup>	70
M - Tempo metabolizmu, met	1
W - Efektywna moc mechaniczna, W/m <sup>2</sup>	0
Izolacyjność odzieży, clo	0,64
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży, m <sup>2</sup> K/W	0,0992
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży po zmianie, m <sup>2</sup> K/W	0,1135
fcl - Współczynnik powierzchni odzieży	1,11
tcl - Temperatura powierzchni odzieży, °C	29,77
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $> 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	3,36
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $< 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	5,54
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji naturalnej, °C	26,32
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji wymuszonej, °C	26,57
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje naturalną	1,79
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje wymuszoną	5,28
Temperatura powietrza zewnętrznego, °C	5
Ciśnienie atmosferyczne, hPa	1005
PMV - Przewidywana Średnia Ocena (Predicted Mean Vote)	0,36
PPD - Przewidywany Odsetek Osób Niezadowolonych (Percentage of Dissatisfied People), %	7,66
TSV - Rzeczywista Średnia Ocena według ankiet (Thermal Sensation Vote)	1,67
PPD - Rzeczywisty Odsetek Osób Niezadowolonych według ankiet, %	66,67

Numer badania	30
Data	25.04.2022
Budynek	Energis
Sala	2.18
Liczba osób w pomieszczeniu	13
Temperatura powietrza, °C	25,40
Temperatura czarnej kuli, °C	26,10
Prędkość powietrza, m/s	0,12
Wilgotność względna powietrza, %	36,81
Natężenie oświetlenia, lx	38,6
Stężenie dwutlenku węgla, ppm	902
Ciśnienie cząstkowe pary wodnej, Pa	1194,00
M - Tempo metabolizmu, W/m <sup>2</sup>	70
M - Tempo metabolizmu, met	1
W - Efektywna moc mechaniczna, W/m <sup>2</sup>	0
Izolacyjność odzieży, clo	0,64
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży, m <sup>2</sup> K/W	0,0992
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży po zmianie, m <sup>2</sup> K/W	0,1120
fcl - Współczynnik powierzchni odzieży	1,11
tcl - Temperatura powierzchni odzieży, °C	29,98
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $> 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	3,48
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $< 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	4,19
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji naturalnej, °C	26,34
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji wymuszonej, °C	26,56
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje naturalną	2,06
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje wymuszoną	3,77
Temperatura powietrza zewnętrznego, °C	5
Ciśnienie atmosferyczne, hPa	1005
PMV - Przewidywana Średnia Ocena (Predicted Mean Vote)	0,44
PPD - Przewidywany Odsetek Osób Niezadowolonych (Percentage of Dissatisfied People), %	9,01
TSV - Rzeczywista Średnia Ocena według ankiet (Thermal Sensation Vote)	0,62
PPD - Rzeczywisty Odsetek Osób Niezadowolonych według ankiet, %	46,15

Numer badania	31
Data	28.04.2022
Budynek	Energis
Sala	2.16
Liczba osób w pomieszczeniu	11
Temperatura powietrza, °C	24,40
Temperatura czarnej kuli, °C	24,50
Prędkość powietrza, m/s	0,07
Wilgotność względna powietrza, %	31,6
Natężenie oświetlenia, lx	152,6
Stężenie dwutlenku węgla, ppm	766
Ciśnienie cząstkowe pary wodnej, Pa	965,00
M - Tempo metabolizmu, W/m <sup>2</sup>	70
M - Tempo metabolizmu, met	1
W - Efektywna moc mechaniczna, W/m <sup>2</sup>	0
Izolacyjność odzieży, clo	0,57
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży, m <sup>2</sup> K/W	0,0884
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży po zmianie, m <sup>2</sup> K/W	0,1030
fcl - Współczynnik powierzchni odzieży	1,11
tcl - Temperatura powierzchni odzieży, °C	29,71
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $> 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	3,61
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $< 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	3,20
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji naturalnej, °C	24,52
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji wymuszonej, °C	24,55
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje naturalną	1,27
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje wymuszoną	2,73
Temperatura powietrza zewnętrznego, °C	13
Ciśnienie atmosferyczne, hPa	1025
PMV - Przewidywana Średnia Ocena (Predicted Mean Vote)	-0,02
PPD - Przewidywany Odsetek Osób Niezadowolonych (Percentage of Dissatisfied People), %	5,01
TSV - Rzeczywista Średnia Ocena według ankiet (Thermal Sensation Vote)	1,18
PPD - Rzeczywisty Odsetek Osób Niezadowolonych według ankiet, %	45,45

Numer badania	32
Data	28.04.2022
Budynek	Energis
Sala	2.19
Liczba osób w pomieszczeniu	14
Temperatura powietrza, °C	25,50
Temperatura czarnej kuli, °C	25,90
Prędkość powietrza, m/s	0,06
Wilgotność względna powietrza, %	35,53
Natężenie oświetlenia, lx	291
Stężenie dwutlenku węgla, ppm	1277
Ciśnienie cząstkowe pary wodnej, Pa	1159,00
M - Tempo metabolizmu, W/m <sup>2</sup>	70
M - Tempo metabolizmu, met	1
W - Efektywna moc mechaniczna, W/m <sup>2</sup>	0
Izolacyjność odzieży, clo	0,69
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży, m <sup>2</sup> K/W	0,1070
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży po zmianie, m <sup>2</sup> K/W	0,1195
fcl - Współczynnik powierzchni odzieży	1,12
tcl - Temperatura powierzchni odzieży, °C	29,92
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $> 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	3,45
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $< 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	2,96
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji naturalnej, °C	26,02
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji wymuszonej, °C	26,07
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje naturalną	1,79
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje wymuszoną	2,49
Temperatura powietrza zewnętrznego, °C	13
Ciśnienie atmosferyczne, hPa	1025
PMV - Przewidywana Średnia Ocena (Predicted Mean Vote)	0,55
PPD - Przewidywany Odsetek Osób Niezadowolonych (Percentage of Dissatisfied People), %	11,26
TSV - Rzeczywista Średnia Ocena według ankiet (Thermal Sensation Vote)	1,64
PPD - Rzeczywisty Odsetek Osób Niezadowolonych według ankiet, %	64,29



Numer badania	33
Data	28.04.2022
Budynek	Energis
Sala	4.09
Liczba osób w pomieszczeniu	17
Temperatura powietrza, °C	22,50
Temperatura czarnej kuli, °C	23,40
Prędkość powietrza, m/s	0,08
Wilgotność względna powietrza, %	37,17
Natężenie oświetlenia, lx	331,3
Stężenie dwutlenku węgla, ppm	713
Ciśnienie cząstkowe pary wodnej, Pa	1013,00
M - Tempo metabolizmu, W/m <sup>2</sup>	70
M - Tempo metabolizmu, met	1
W - Efektywna moc mechaniczna, W/m <sup>2</sup>	0
Izolacyjność odzieży, clo	0,66
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży, m <sup>2</sup> K/W	0,1023
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży po zmianie, m <sup>2</sup> K/W	0,1150
fcl - Współczynnik powierzchni odzieży	1,12
tcl - Temperatura powierzchni odzieży, °C	28,72
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $> 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	3,76
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $< 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	3,42
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji naturalnej, °C	23,74
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji wymuszonej, °C	23,87
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje naturalną	2,19
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje wymuszoną	2,96
Temperatura powietrza zewnętrznego, °C	13
Ciśnienie atmosferyczne, hPa	1025
PMV - Przewidywana Średnia Ocena (Predicted Mean Vote)	-0,20
PPD - Przewidywany Odsetek Osób Niezadowolonych (Percentage of Dissatisfied People), %	5,84
TSV - Rzeczywista Średnia Ocena według ankiet (Thermal Sensation Vote)	0,76
PPD - Rzeczywisty Odsetek Osób Niezadowolonych według ankiet, %	35,29

Numer badania	34
Data	28.04.2022
Budynek	Energis
Sala	2.16
Liczba osób w pomieszczeniu	11
Temperatura powietrza, °C	25,10
Temperatura czarnej kuli, °C	25,40
Prędkość powietrza, m/s	0,08
Wilgotność względna powietrza, %	27,12
Natężenie oświetlenia, lx	225,3
Stężenie dwutlenku węgla, ppm	896
Ciśnienie cząstkowe pary wodnej, Pa	866,00
M - Tempo metabolizmu, W/m <sup>2</sup>	70
M - Tempo metabolizmu, met	1
W - Efektywna moc mechaniczna, W/m <sup>2</sup>	0
Izolacyjność odzieży, clo	0,57
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży, m <sup>2</sup> K/W	0,0884
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży po zmianie, m <sup>2</sup> K/W	0,1025
fcl - Współczynnik powierzchni odzieży	1,11
tcl - Temperatura powierzchni odzieży, °C	30,09
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $> 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	3,56
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $< 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	3,42
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji naturalnej, °C	25,48
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji wymuszonej, °C	25,55
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje naturalną	1,66
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje wymuszoną	2,96
Temperatura powietrza zewnętrznego, °C	13
Ciśnienie atmosferyczne, hPa	1025
PMV - Przewidywana Średnia Ocena (Predicted Mean Vote)	0,19
PPD - Przewidywany Odsetek Osób Niezadowolonych (Percentage of Dissatisfied People), %	5,71
TSV - Rzeczywista Średnia Ocena według ankiet (Thermal Sensation Vote)	1,09
PPD - Rzeczywisty Odsetek Osób Niezadowolonych według ankiet, %	27,27

Numer badania	35
Data	28.04.2022
Budynek	Energis
Sala	4.09
Liczba osób w pomieszczeniu	20
Temperatura powietrza, °C	22,30
Temperatura czarnej kuli, °C	22,90
Prędkość powietrza, m/s	0,08
Wilgotność względna powietrza, %	37,84
Natężenie oświetlenia, lx	352,3
Stężenie dwutlenku węgla, ppm	751
Ciśnienie cząstkowe pary wodnej, Pa	1018,00
M - Tempo metabolizmu, W/m <sup>2</sup>	70
M - Tempo metabolizmu, met	1
W - Efektywna moc mechaniczna, W/m <sup>2</sup>	0
Izolacyjność odzieży, clo	0,64
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży, m <sup>2</sup> K/W	0,0992
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży po zmianie, m <sup>2</sup> K/W	0,1132
fcl - Współczynnik powierzchni odzieży	1,11
tcl - Temperatura powierzchni odzieży, °C	28,60
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $> 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	3,77
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $< 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	3,42
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji naturalnej, °C	23,10
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji wymuszonej, °C	23,22
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje naturalną	1,98
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje wymuszoną	2,96
Temperatura powietrza zewnętrznego, °C	13
Ciśnienie atmosferyczne, hPa	1025
PMV - Przewidywana Średnia Ocena (Predicted Mean Vote)	-0,35
PPD - Przewidywany Odsetek Osób Niezadowolonych (Percentage of Dissatisfied People), %	7,49
TSV - Rzeczywista Średnia Ocena według ankiet (Thermal Sensation Vote)	0,36
PPD - Rzeczywisty Odsetek Osób Niezadowolonych według ankiet, %	15

Numer badania	36
Data	28.04.2022
Budynek	Energis
Sala	2.17
Liczba osób w pomieszczeniu	11
Temperatura powietrza, °C	24,90
Temperatura czarnej kuli, °C	25,40
Prędkość powietrza, m/s	0,09
Wilgotność względna powietrza, %	23,67
Natężenie oświetlenia, lx	16,2
Stężenie dwutlenku węgla, ppm	658
Ciśnienie cząstkowe pary wodnej, Pa	745,00
M - Tempo metabolizmu, W/m <sup>2</sup>	70
M - Tempo metabolizmu, met	1
W - Efektywna moc mechaniczna, W/m <sup>2</sup>	0
Izolacyjność odzieży, clo	0,66
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży, m <sup>2</sup> K/W	0,1023
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży po zmianie, m <sup>2</sup> K/W	0,1156
fcl - Współczynnik powierzchni odzieży	1,12
tcl - Temperatura powierzchni odzieży, °C	29,74
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $> 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	3,53
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $< 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	3,63
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji naturalnej, °C	25,56
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji wymuszonej, °C	25,68
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje naturalną	1,89
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje wymuszoną	3,17
Temperatura powietrza zewnętrznego, °C	13
Ciśnienie atmosferyczne, hPa	1025
PMV - Przewidywana Średnia Ocena (Predicted Mean Vote)	0,27
PPD - Przewidywany Odsetek Osób Niezadowolonych (Percentage of Dissatisfied People), %	6,54
TSV - Rzeczywista Średnia Ocena według ankiet (Thermal Sensation Vote)	1,82
PPD - Rzeczywisty Odsetek Osób Niezadowolonych według ankiet, %	72,73

Numer badania	37
Data	28.04.2022
Budynek	Energis
Sala	3.20
Liczba osób w pomieszczeniu	13
Temperatura powietrza, °C	26,30
Temperatura czarnej kuli, °C	26,50
Prędkość powietrza, m/s	0,08
Wilgotność względna powietrza, %	24,95
Natężenie oświetlenia, lx	91,3
Stężenie dwutlenku węgla, ppm	832
Ciśnienie cząstkowe pary wodnej, Pa	853,00
M - Tempo metabolizmu, W/m <sup>2</sup>	70
M - Tempo metabolizmu, met	1
W - Efektywna moc mechaniczna, W/m <sup>2</sup>	0
Izolacyjność odzieży, clo	0,54
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży, m <sup>2</sup> K/W	0,0837
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży po zmianie, m <sup>2</sup> K/W	0,0965
fcl - Współczynnik powierzchni odzieży	1,10
tcl - Temperatura powierzchni odzieży, °C	30,70
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $> 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	3,45
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $< 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	3,42
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji naturalnej, °C	26,55
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji wymuszonej, °C	26,60
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje naturalną	1,5
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje wymuszoną	2,96
Temperatura powietrza zewnętrznego, °C	13
Ciśnienie atmosferyczne, hPa	1025
PMV - Przewidywana Średnia Ocena (Predicted Mean Vote)	0,45
PPD - Przewidywany Odsetek Osób Niezadowolonych (Percentage of Dissatisfied People), %	9,17
TSV - Rzeczywista Średnia Ocena według ankiet (Thermal Sensation Vote)	1,08
PPD - Rzeczywisty Odsetek Osób Niezadowolonych według ankiet, %	38,46

Numer badania	38
Data	28.04.2022
Budynek	Energis
Sala	3.15
Liczba osób w pomieszczeniu	16
Temperatura powietrza, °C	24,20
Temperatura czarnej kuli, °C	23,50
Prędkość powietrza, m/s	0,07
Wilgotność względna powietrza, %	32,38
Natężenie oświetlenia, lx	65,7
Stężenie dwutlenku węgla, ppm	1055
Ciśnienie cząstkowe pary wodnej, Pa	978,00
M - Tempo metabolizmu, W/m <sup>2</sup>	70
M - Tempo metabolizmu, met	1
W - Efektywna moc mechaniczna, W/m <sup>2</sup>	0
Izolacyjność odzieży, clo	0,73
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży, m <sup>2</sup> K/W	0,1132
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży po zmianie, m <sup>2</sup> K/W	0,1269
fcl - Współczynnik powierzchni odzieży	1,12
tcl - Temperatura powierzchni odzieży, °C	28,74
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $> 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	3,47
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $< 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	3,20
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji naturalnej, °C	23,25
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji wymuszonej, °C	23,16
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje naturalną	2,06
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje wymuszoną	2,73
Temperatura powietrza zewnętrznego, °C	13
Ciśnienie atmosferyczne, hPa	1025
PMV - Przewidywana Średnia Ocena (Predicted Mean Vote)	0,05
PPD - Przewidywany Odsetek Osób Niezadowolonych (Percentage of Dissatisfied People), %	5,06
TSV - Rzeczywista Średnia Ocena według ankiet (Thermal Sensation Vote)	0
PPD - Rzeczywisty Odsetek Osób Niezadowolonych według ankiet, %	6,25

Numer badania	39
Data	08.05.2022
Budynek	Energis
Sala	3.15
Liczba osób w pomieszczeniu	13
Temperatura powietrza, °C	24,80
Temperatura czarnej kuli, °C	25,20
Prędkość powietrza, m/s	0,10
Wilgotność względna powietrza, %	34,68
Natężenie oświetlenia, lx	188,7
Stężenie dwutlenku węgla, ppm	694
Ciśnienie cząstkowe pary wodnej, Pa	1085,00
M - Tempo metabolizmu, W/m <sup>2</sup>	70
M - Tempo metabolizmu, met	1
W - Efektywna moc mechaniczna, W/m <sup>2</sup>	0
Izolacyjność odzieży, clo	0,55
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży, m <sup>2</sup> K/W	0,0853
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży po zmianie, m <sup>2</sup> K/W	0,0991
fcl - Współczynnik powierzchni odzieży	1,10
tcl - Temperatura powierzchni odzieży, °C	30,01
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $> 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	3,60
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $< 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	3,83
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji naturalnej, °C	25,32
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji wymuszonej, °C	25,44
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje naturalną	1,79
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje wymuszoną	3,38
Temperatura powietrza zewnętrznego, °C	19
Ciśnienie atmosferyczne, hPa	1022
PMV - Przewidywana Średnia Ocena (Predicted Mean Vote)	0,10
PPD - Przewidywany Odsetek Osób Niezadowolonych (Percentage of Dissatisfied People), %	5,22
TSV - Rzeczywista Średnia Ocena według ankiet (Thermal Sensation Vote)	0,69
PPD - Rzeczywisty Odsetek Osób Niezadowolonych według ankiet, %	15,38

Numer badania	40
Data	13.05.2022
Budynek	Energis
Sala	4.09
Liczba osób w pomieszczeniu	24
Temperatura powietrza, °C	23,40
Temperatura czarnej kuli, °C	24,20
Prędkość powietrza, m/s	0,13
Wilgotność względna powietrza, %	39,53
Natężenie oświetlenia, lx	20,1
Stężenie dwutlenku węgla, ppm	913
Ciśnienie cząstkowe pary wodnej, Pa	1137,00
M - Tempo metabolizmu, W/m <sup>2</sup>	70
M - Tempo metabolizmu, met	1
W - Efektywna moc mechaniczna, W/m <sup>2</sup>	0
Izolacyjność odzieży, clo	0,49
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży, m <sup>2</sup> K/W	0,0760
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży po zmianie, m <sup>2</sup> K/W	0,0894
fcl - Współczynnik powierzchni odzieży	1,10
tcl - Temperatura powierzchni odzieży, °C	29,69
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $> 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	3,77
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $< 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	4,36
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji naturalnej, °C	24,49
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji wymuszonej, °C	24,76
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje naturalną	2,13
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje wymuszoną	3,96
Temperatura powietrza zewnętrznego, °C	22
Ciśnienie atmosferyczne, hPa	1016
PMV - Przewidywana Średnia Ocena (Predicted Mean Vote)	-0,39
PPD - Przewidywany Odsetek Osób Niezadowolonych (Percentage of Dissatisfied People), %	8,22
TSV - Rzeczywista Średnia Ocena według ankiet (Thermal Sensation Vote)	0,29
PPD - Rzeczywisty Odsetek Osób Niezadowolonych według ankiet, %	12,5



Numer badania	41
Data	13.05.2022
Budynek	Energis
Sala	1.14
Liczba osób w pomieszczeniu	14
Temperatura powietrza, °C	24,60
Temperatura czarnej kuli, °C	24,90
Prędkość powietrza, m/s	0,06
Wilgotność względna powietrza, %	35,51
Natężenie oświetlenia, lx	377,3
Stężenie dwutlenku węgla, ppm	714
Ciśnienie cząstkowe pary wodnej, Pa	1098,00
M - Tempo metabolizmu, W/m <sup>2</sup>	70
M - Tempo metabolizmu, met	1
W - Efektywna moc mechaniczna, W/m <sup>2</sup>	0
Izolacyjność odzieży, clo	0,54
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży, m <sup>2</sup> K/W	0,0837
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży po zmianie, m <sup>2</sup> K/W	0,0976
fcl - Współczynnik powierzchni odzieży	1,10
tcl - Temperatura powierzchni odzieży, °C	29,98
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $> 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	3,62
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $< 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	2,96
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji naturalnej, °C	24,98
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji wymuszonej, °C	25,03
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje naturalną	1,66
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje wymuszoną	2,49
Temperatura powietrza zewnętrznego, °C	22
Ciśnienie atmosferyczne, hPa	1016
PMV - Przewidywana Średnia Ocena (Predicted Mean Vote)	0,04
PPD - Przewidywany Odsetek Osób Niezadowolonych (Percentage of Dissatisfied People), %	5,04
TSV - Rzeczywista Średnia Ocena według ankiet (Thermal Sensation Vote)	0,93
PPD - Rzeczywisty Odsetek Osób Niezadowolonych według ankiet, %	35,71

Numer badania	42
Data	16.05.2022
Budynek	Energis
Sala	3.19
Liczba osób w pomieszczeniu	12
Temperatura powietrza, °C	24,30
Temperatura czarnej kuli, °C	24,70
Prędkość powietrza, m/s	0,07
Wilgotność względna powietrza, %	38,11
Natężenie oświetlenia, lx	388,4
Stężenie dwutlenku węgla, ppm	759
Ciśnienie cząstkowe pary wodnej, Pa	1157,00
M - Tempo metabolizmu, W/m <sup>2</sup>	70
M - Tempo metabolizmu, met	1
W - Efektywna moc mechaniczna, W/m <sup>2</sup>	0
Izolacyjność odzieży, clo	0,52
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży, m <sup>2</sup> K/W	0,0806
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży po zmianie, m <sup>2</sup> K/W	0,0940
fcl - Współczynnik powierzchni odzieży	1,10
tcl - Temperatura powierzchni odzieży, °C	29,96
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $> 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	3,67
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $< 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	3,20
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji naturalnej, °C	24,82
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji wymuszonej, °C	24,89
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje naturalną	1,79
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje wymuszoną	2,73
Temperatura powietrza zewnętrznego, °C	10
Ciśnienie atmosferyczne, hPa	1021
PMV - Przewidywana Średnia Ocena (Predicted Mean Vote)	-0,05
PPD - Przewidywany Odsetek Osób Niezadowolonych (Percentage of Dissatisfied People), %	5,04
TSV - Rzeczywista Średnia Ocena według ankiet (Thermal Sensation Vote)	0,75
PPD - Rzeczywisty Odsetek Osób Niezadowolonych według ankiet, %	25

Numer badania	43
Data	16.05.2022
Budynek	Energis
Sala	2.18
Liczba osób w pomieszczeniu	11
Temperatura powietrza, °C	23,80
Temperatura czarnej kuli, °C	24,50
Prędkość powietrza, m/s	0,07
Wilgotność względna powietrza, %	33,98
Natężenie oświetlenia, lx	85,9
Stężenie dwutlenku węgla, ppm	631
Ciśnienie cząstkowe pary wodnej, Pa	1001,00
M - Tempo metabolizmu, W/m <sup>2</sup>	70
M - Tempo metabolizmu, met	1
W - Efektywna moc mechaniczna, W/m <sup>2</sup>	0
Izolacyjność odzieży, clo	0,70
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży, m <sup>2</sup> K/W	0,1085
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży po zmianie, m <sup>2</sup> K/W	0,1201
fcl - Współczynnik powierzchni odzieży	1,12
tcl - Temperatura powierzchni odzieży, °C	29,15
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $> 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	3,62
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $< 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	3,20
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji naturalnej, °C	24,74
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji wymuszonej, °C	24,84
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje naturalną	2,06
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje wymuszoną	2,73
Temperatura powietrza zewnętrznego, °C	10
Ciśnienie atmosferyczne, hPa	1021
PMV - Przewidywana Średnia Ocena (Predicted Mean Vote)	0,16
PPD - Przewidywany Odsetek Osób Niezadowolonych (Percentage of Dissatisfied People), %	5,50
TSV - Rzeczywista Średnia Ocena według ankiet (Thermal Sensation Vote)	0,09
PPD - Rzeczywisty Odsetek Osób Niezadowolonych według ankiet, %	9,09

Numer badania	44
Data	16.05.2022
Budynek	Energis
Sala	2.15
Liczba osób w pomieszczeniu	11
Temperatura powietrza, °C	23,90
Temperatura czarnej kuli, °C	24,40
Prędkość powietrza, m/s	0,05
Wilgotność względna powietrza, %	33,46
Natężenie oświetlenia, lx	13,4
Stężenie dwutlenku węgla, ppm	614
Ciśnienie cząstkowe pary wodnej, Pa	992,00
M - Tempo metabolizmu, W/m <sup>2</sup>	70
M - Tempo metabolizmu, met	1
W - Efektywna moc mechaniczna, W/m <sup>2</sup>	0
Izolacyjność odzieży, clo	0,60
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży, m <sup>2</sup> K/W	0,0930
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży po zmianie, m <sup>2</sup> K/W	0,1051
fcl - Współczynnik powierzchni odzieży	1,11
tcl - Temperatura powierzchni odzieży, °C	29,48
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $> 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	3,66
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $< 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	2,71
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji naturalnej, °C	24,56
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji wymuszonej, °C	24,60
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje naturalną	1,89
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje wymuszoną	2,23
Temperatura powietrza zewnętrznego, °C	12
Ciśnienie atmosferyczne, hPa	1021
PMV - Przewidywana Średnia Ocena (Predicted Mean Vote)	-0,03
PPD - Przewidywany Odsetek Osób Niezadowolonych (Percentage of Dissatisfied People), %	5,02
TSV - Rzeczywista Średnia Ocena według ankiet (Thermal Sensation Vote)	0,45
PPD - Rzeczywisty Odsetek Osób Niezadowolonych według ankiet, %	9,09

Numer badania	45
Data	16.05.2022
Budynek	Energis
Sala	3.19
Liczba osób w pomieszczeniu	11
Temperatura powietrza, °C	24,70
Temperatura czarnej kuli, °C	25,00
Prędkość powietrza, m/s	0,05
Wilgotność względna powietrza, %	35,86
Natężenie oświetlenia, lx	355,5
Stężenie dwutlenku węgla, ppm	941
Ciśnienie cząstkowe pary wodnej, Pa	1115,00
M - Tempo metabolizmu, W/m <sup>2</sup>	70
M - Tempo metabolizmu, met	1
W - Efektywna moc mechaniczna, W/m <sup>2</sup>	0
Izolacyjność odzieży, clo	0,47
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży, m <sup>2</sup> K/W	0,0729
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży po zmianie, m <sup>2</sup> K/W	0,0876
fcl - Współczynnik powierzchni odzieży	1,09
tcl - Temperatura powierzchni odzieży, °C	30,32
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $> 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	3,66
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $< 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	2,71
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji naturalnej, °C	25,08
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji wymuszonej, °C	25,12
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje naturalną	1,66
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje wymuszoną	2,23
Temperatura powietrza zewnętrznego, °C	16
Ciśnienie atmosferyczne, hPa	1021
PMV - Przewidywana Średnia Ocena (Predicted Mean Vote)	-0,06
PPD - Przewidywany Odsetek Osób Niezadowolonych (Percentage of Dissatisfied People), %	5,07
TSV - Rzeczywista Średnia Ocena według ankiet (Thermal Sensation Vote)	0,36
PPD - Rzeczywisty Odsetek Osób Niezadowolonych według ankiet, %	9,09

Numer badania	46
Data	16.05.2022
Budynek	Energis
Sala	3.20
Liczba osób w pomieszczeniu	10
Temperatura powietrza, °C	23,70
Temperatura czarnej kuli, °C	24,40
Prędkość powietrza, m/s	0,07
Wilgotność względna powietrza, %	35,65
Natężenie oświetlenia, lx	118
Stężenie dwutlenku węgla, ppm	775
Ciśnienie cząstkowe pary wodnej, Pa	1044,00
M - Tempo metabolizmu, W/m <sup>2</sup>	70
M - Tempo metabolizmu, met	1
W - Efektywna moc mechaniczna, W/m <sup>2</sup>	0
Izolacyjność odzieży, clo	0,55
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży, m <sup>2</sup> K/W	0,0853
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży po zmianie, m <sup>2</sup> K/W	0,0995
fcl - Współczynnik powierzchni odzieży	1,10
tcl - Temperatura powierzchni odzieży, °C	29,66
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $> 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	3,72
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $< 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	3,20
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji naturalnej, °C	24,64
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji wymuszonej, °C	24,74
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje naturalną	2,06
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje wymuszoną	2,73
Temperatura powietrza zewnętrznego, °C	18
Ciśnienie atmosferyczne, hPa	1021
PMV - Przewidywana Średnia Ocena (Predicted Mean Vote)	-0,12
PPD - Przewidywany Odsetek Osób Niezadowolonych (Percentage of Dissatisfied People), %	5,32
TSV - Rzeczywista Średnia Ocena według ankiet (Thermal Sensation Vote)	0,7
PPD - Rzeczywisty Odsetek Osób Niezadowolonych według ankiet, %	30

Numer badania	47
Data	16.05.2022
Budynek	Energis
Sala	3.18
Liczba osób w pomieszczeniu	11
Temperatura powietrza, °C	24,30
Temperatura czarnej kuli, °C	24,70
Prędkość powietrza, m/s	0,05
Wilgotność względna powietrza, %	37,75
Natężenie oświetlenia, lx	230,6
Stężenie dwutlenku węgla, ppm	1060
Ciśnienie cząstkowe pary wodnej, Pa	1146,00
M - Tempo metabolizmu, W/m <sup>2</sup>	70
M - Tempo metabolizmu, met	1
W - Efektywna moc mechaniczna, W/m <sup>2</sup>	0
Izolacyjność odzieży, clo	0,47
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży, m <sup>2</sup> K/W	0,0729
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży po zmianie, m <sup>2</sup> K/W	0,0874
fcl - Współczynnik powierzchni odzieży	1,09
tcl - Temperatura powierzchni odzieży, °C	30,18
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $> 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	3,71
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $< 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	2,71
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji naturalnej, °C	24,82
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji wymuszonej, °C	24,86
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje naturalną	1,79
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje wymuszoną	2,23
Temperatura powietrza zewnętrznego, °C	18
Ciśnienie atmosferyczne, hPa	1021
PMV - Przewidywana Średnia Ocena (Predicted Mean Vote)	-0,15
PPD - Przewidywany Odsetek Osób Niezadowolonych (Percentage of Dissatisfied People), %	5,48
TSV - Rzeczywista Średnia Ocena według ankiet (Thermal Sensation Vote)	0,56
PPD - Rzeczywisty Odsetek Osób Niezadowolonych według ankiet, %	27,27

Numer badania	48
Data	16.05.2022
Budynek	Energis
Sala	2.15
Liczba osób w pomieszczeniu	11
Temperatura powietrza, °C	22,50
Temperatura czarnej kuli, °C	23,40
Prędkość powietrza, m/s	0,15
Wilgotność względna powietrza, %	39,3
Natężenie oświetlenia, lx	34,9
Stężenie dwutlenku węgla, ppm	1088
Ciśnienie cząstkowe pary wodnej, Pa	1071,00
M - Tempo metabolizmu, W/m <sup>2</sup>	70
M - Tempo metabolizmu, met	1
W - Efektywna moc mechaniczna, W/m <sup>2</sup>	0
Izolacyjność odzieży, clo	0,62
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży, m <sup>2</sup> K/W	0,0961
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży po zmianie, m <sup>2</sup> K/W	0,1099
fcl - Współczynnik powierzchni odzieży	1,11
tcl - Temperatura powierzchni odzieży, °C	28,62
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $> 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	3,74
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $< 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	4,69
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji naturalnej, °C	23,74
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji wymuszonej, °C	24,09
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje naturalną	2,19
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje wymuszoną	4,31
Temperatura powietrza zewnętrznego, °C	18
Ciśnienie atmosferyczne, hPa	1021
PMV - Przewidywana Średnia Ocena (Predicted Mean Vote)	-0,41
PPD - Przewidywany Odsetek Osób Niezadowolonych (Percentage of Dissatisfied People), %	8,50
TSV - Rzeczywista Średnia Ocena według ankiet (Thermal Sensation Vote)	-0,18
PPD - Rzeczywisty Odsetek Osób Niezadowolonych według ankiet, %	0



Numer badania	49
Data	17.05.2022
Budynek	Energis
Sala	4.09
Liczba osób w pomieszczeniu	14
Temperatura powietrza, °C	23,70
Temperatura czarnej kuli, °C	24,10
Prędkość powietrza, m/s	0,06
Wilgotność względna powietrza, %	28,55
Natężenie oświetlenia, lx	476,7
Stężenie dwutlenku węgla, ppm	527
Ciśnienie cząstkowe pary wodnej, Pa	836,00
M - Tempo metabolizmu, W/m <sup>2</sup>	70
M - Tempo metabolizmu, met	1
W - Efektywna moc mechaniczna, W/m <sup>2</sup>	0
Izolacyjność odzieży, clo	0,59
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży, m <sup>2</sup> K/W	0,0915
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży po zmianie, m <sup>2</sup> K/W	0,1052
fcl - Współczynnik powierzchni odzieży	1,11
tcl - Temperatura powierzchni odzieży, °C	29,40
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $> 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	3,68
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $< 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	2,96
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji naturalnej, °C	24,22
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji wymuszonej, °C	24,28
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje naturalną	1,79
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje wymuszoną	2,49
Temperatura powietrza zewnętrznego, °C	10
Ciśnienie atmosferyczne, hPa	1020
PMV - Przewidywana Średnia Ocena (Predicted Mean Vote)	-0,15
PPD - Przewidywany Odsetek Osób Niezadowolonych (Percentage of Dissatisfied People), %	5,48
TSV - Rzeczywista Średnia Ocena według ankiet (Thermal Sensation Vote)	0,14
PPD - Rzeczywisty Odsetek Osób Niezadowolonych według ankiet, %	0

Numer badania	50
Data	17.05.2022
Budynek	Energis
Sala	3.18
Liczba osób w pomieszczeniu	10
Temperatura powietrza, °C	24,00
Temperatura czarnej kuli, °C	24,30
Prędkość powietrza, m/s	0,06
Wilgotność względna powietrza, %	31,5
Natężenie oświetlenia, lx	36,1
Stężenie dwutlenku węgla, ppm	867
Ciśnienie cząstkowe pary wodnej, Pa	940,00
M - Tempo metabolizmu, W/m <sup>2</sup>	70
M - Tempo metabolizmu, met	1
W - Efektywna moc mechaniczna, W/m <sup>2</sup>	0
Izolacyjność odzieży, clo	0,61
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży, m <sup>2</sup> K/W	0,0946
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży po zmianie, m <sup>2</sup> K/W	0,1088
fcl - Współczynnik powierzchni odzieży	1,11
tcl - Temperatura powierzchni odzieży, °C	29,43
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $> 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	3,63
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $< 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	2,96
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji naturalnej, °C	24,38
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji wymuszonej, °C	24,43
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje naturalną	1,66
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje wymuszoną	2,49
Temperatura powietrza zewnętrznego, °C	14
Ciśnienie atmosferyczne, hPa	1019
PMV - Przewidywana Średnia Ocena (Predicted Mean Vote)	-0,03
PPD - Przewidywany Odsetek Osób Niezadowolonych (Percentage of Dissatisfied People), %	5,02
TSV - Rzeczywista Średnia Ocena według ankiet (Thermal Sensation Vote)	0,7
PPD - Rzeczywisty Odsetek Osób Niezadowolonych według ankiet, %	10

Numer badania	51
Data	18.05.2022
Budynek	Energis
Sala	1.14
Liczba osób w pomieszczeniu	13
Temperatura powietrza, °C	22,80
Temperatura czarnej kuli, °C	23,10
Prędkość powietrza, m/s	0,05
Wilgotność względna powietrza, %	25,51
Natężenie oświetlenia, lx	307,8
Stężenie dwutlenku węgla, ppm	520
Ciśnienie cząstkowe pary wodnej, Pa	708,00
M - Tempo metabolizmu, W/m <sup>2</sup>	70
M - Tempo metabolizmu, met	1
W - Efektywna moc mechaniczna, W/m <sup>2</sup>	0
Izolacyjność odzieży, clo	0,55
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży, m <sup>2</sup> K/W	0,0853
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży po zmianie, m <sup>2</sup> K/W	0,0980
fcl - Współczynnik powierzchni odzieży	1,10
tcl - Temperatura powierzchni odzieży, °C	29,13
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $> 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	3,77
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $< 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	2,71
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji naturalnej, °C	23,19
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji wymuszonej, °C	23,22
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje naturalną	1,66
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje wymuszoną	2,23
Temperatura powietrza zewnętrznego, °C	6
Ciśnienie atmosferyczne, hPa	1029
PMV - Przewidywana Średnia Ocena (Predicted Mean Vote)	-0,53
PPD - Przewidywany Odsetek Osób Niezadowolonych (Percentage of Dissatisfied People), %	10,90
TSV - Rzeczywista Średnia Ocena według ankiet (Thermal Sensation Vote)	0,38
PPD - Rzeczywisty Odsetek Osób Niezadowolonych według ankiet, %	15,38

Numer badania	52
Data	18.05.2022
Budynek	Energis
Sala	3.15
Liczba osób w pomieszczeniu	15
Temperatura powietrza, °C	24,40
Temperatura czarnej kuli, °C	24,60
Prędkość powietrza, m/s	0,05
Wilgotność względna powietrza, %	32,29
Natężenie oświetlenia, lx	80,4
Stężenie dwutlenku węgla, ppm	1273
Ciśnienie cząstkowe pary wodnej, Pa	987,00
M - Tempo metabolizmu, W/m <sup>2</sup>	70
M - Tempo metabolizmu, met	1
W - Efektywna moc mechaniczna, W/m <sup>2</sup>	0
Izolacyjność odzieży, clo	0,60
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży, m <sup>2</sup> K/W	0,0930
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży po zmianie, m <sup>2</sup> K/W	0,1064
fcl - Współczynnik powierzchni odzieży	1,11
tcl - Temperatura powierzchni odzieży, °C	29,62
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $> 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	3,60
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $< 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	2,71
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji naturalnej, °C	24,65
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji wymuszonej, °C	24,68
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje naturalną	1,5
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje wymuszoną	2,23
Temperatura powietrza zewnętrznego, °C	8
Ciśnienie atmosferyczne, hPa	1028
PMV - Przewidywana Średnia Ocena (Predicted Mean Vote)	0,05
PPD - Przewidywany Odsetek Osób Niezadowolonych (Percentage of Dissatisfied People), %	5,05
TSV - Rzeczywista Średnia Ocena według ankiet (Thermal Sensation Vote)	0,4
PPD - Rzeczywisty Odsetek Osób Niezadowolonych według ankiet, %	6,67

Numer badania	53
Data	18.05.2022
Budynek	Energis
Sala	2.18
Liczba osób w pomieszczeniu	11
Temperatura powietrza, °C	22,00
Temperatura czarnej kuli, °C	23,30
Prędkość powietrza, m/s	0,08
Wilgotność względna powietrza, %	24,56
Natężenie oświetlenia, lx	35,3
Stężenie dwutlenku węgla, ppm	609
Ciśnienie cząstkowe pary wodnej, Pa	649,00
M - Tempo metabolizmu, W/m <sup>2</sup>	70
M - Tempo metabolizmu, met	1
W - Efektywna moc mechaniczna, W/m <sup>2</sup>	0
Izolacyjność odzieży, clo	0,57
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży, m <sup>2</sup> K/W	0,0884
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży po zmianie, m <sup>2</sup> K/W	0,1012
fcl - Współczynnik powierzchni odzieży	1,11
tcl - Temperatura powierzchni odzieży, °C	29,00
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $> 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	3,87
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $< 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	3,42
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji naturalnej, °C	23,83
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji wymuszonej, °C	23,98
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje naturalną	2,4
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje wymuszoną	2,96
Temperatura powietrza zewnętrznego, °C	8
Ciśnienie atmosferyczne, hPa	1028
PMV - Przewidywana Średnia Ocena (Predicted Mean Vote)	-0,52
PPD - Przewidywany Odsetek Osób Niezadowolonych (Percentage of Dissatisfied People), %	10,76
TSV - Rzeczywista Średnia Ocena według ankiet (Thermal Sensation Vote)	-0,27
PPD - Rzeczywisty Odsetek Osób Niezadowolonych według ankiet, %	27,27

Numer badania	54
Data	18.05.2022
Budynek	Energis
Sala	2.17
Liczba osób w pomieszczeniu	11
Temperatura powietrza, °C	22,30
Temperatura czarnej kuli, °C	22,50
Prędkość powietrza, m/s	0,05
Wilgotność względna powietrza, %	28,97
Natężenie oświetlenia, lx	21,2
Stężenie dwutlenku węgla, ppm	916
Ciśnienie cząstkowe pary wodnej, Pa	780,00
M - Tempo metabolizmu, W/m <sup>2</sup>	70
M - Tempo metabolizmu, met	1
W - Efektywna moc mechaniczna, W/m <sup>2</sup>	0
Izolacyjność odzieży, clo	0,53
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży, m <sup>2</sup> K/W	0,0822
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży po zmianie, m <sup>2</sup> K/W	0,0970
fcl - Współczynnik powierzchni odzieży	1,10
tcl - Temperatura powierzchni odzieży, °C	28,98
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $> 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	3,83
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $< 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	2,71
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji naturalnej, °C	22,55
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji wymuszonej, °C	22,58
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje naturalną	1,5
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje wymuszoną	2,23
Temperatura powietrza zewnętrznego, °C	14
Ciśnienie atmosferyczne, hPa	1029
PMV - Przewidywana Średnia Ocena (Predicted Mean Vote)	-0,72
PPD - Przewidywany Odsetek Osób Niezadowolonych (Percentage of Dissatisfied People), %	15,96
TSV - Rzeczywista Średnia Ocena według ankiet (Thermal Sensation Vote)	0,55
PPD - Rzeczywisty Odsetek Osób Niezadowolonych według ankiet, %	9,09

Numer badania	55
Data	18.05.2022
Budynek	Energis
Sala	3.18
Liczba osób w pomieszczeniu	10
Temperatura powietrza, °C	23,70
Temperatura czarnej kuli, °C	23,90
Prędkość powietrza, m/s	0,07
Wilgotność względna powietrza, %	28,29
Natężenie oświetlenia, lx	89,3
Stężenie dwutlenku węgla, ppm	1005
Ciśnienie cząstkowe pary wodnej, Pa	829,00
M - Tempo metabolizmu, W/m <sup>2</sup>	70
M - Tempo metabolizmu, met	1
W - Efektywna moc mechaniczna, W/m <sup>2</sup>	0
Izolacyjność odzieży, clo	0,63
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży, m <sup>2</sup> K/W	0,0977
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży po zmianie, m <sup>2</sup> K/W	0,1106
fcl - Współczynnik powierzchni odzieży	1,11
tcl - Temperatura powierzchni odzieży, °C	29,18
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $> 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	3,64
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $< 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	3,20
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji naturalnej, °C	23,95
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji wymuszonej, °C	24,00
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje naturalną	1,5
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje wymuszoną	2,73
Temperatura powietrza zewnętrznego, °C	14
Ciśnienie atmosferyczne, hPa	1029
PMV - Przewidywana Średnia Ocena (Predicted Mean Vote)	-0,11
PPD - Przewidywany Odsetek Osób Niezadowolonych (Percentage of Dissatisfied People), %	5,27
TSV - Rzeczywista Średnia Ocena według ankiet (Thermal Sensation Vote)	0,1
PPD - Rzeczywisty Odsetek Osób Niezadowolonych według ankiet, %	0

Numer badania	56
Data	18.05.2022
Budynek	Energis
Sala	3.15
Liczba osób w pomieszczeniu	15
Temperatura powietrza, °C	24,40
Temperatura czarnej kuli, °C	24,30
Prędkość powietrza, m/s	0,09
Wilgotność względna powietrza, %	28,83
Natężenie oświetlenia, lx	52,1
Stężenie dwutlenku węgla, ppm	1228
Ciśnienie cząstkowe pary wodnej, Pa	881,00
M - Tempo metabolizmu, W/m <sup>2</sup>	70
M - Tempo metabolizmu, met	1
W - Efektywna moc mechaniczna, W/m <sup>2</sup>	0
Izolacyjność odzieży, clo	0,51
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży, m <sup>2</sup> K/W	0,0791
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży po zmianie, m <sup>2</sup> K/W	0,0934
fcl - Współczynnik powierzchni odzieży	1,10
tcl - Temperatura powierzchni odzieży, °C	29,89
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $> 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	3,64
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $< 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	3,63
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji naturalnej, °C	24,28
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji wymuszonej, °C	24,24
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje naturalną	1,27
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje wymuszoną	3,17
Temperatura powietrza zewnętrznego, °C	14
Ciśnienie atmosferyczne, hPa	1029
PMV - Przewidywana Średnia Ocena (Predicted Mean Vote)	-0,20
PPD - Przewidywany Odsetek Osób Niezadowolonych (Percentage of Dissatisfied People), %	5,83
TSV - Rzeczywista Średnia Ocena według ankiet (Thermal Sensation Vote)	0,6
PPD - Rzeczywisty Odsetek Osób Niezadowolonych według ankiet, %	20



Numer badania	57
Data	23.05.2022
Budynek	Energis
Sala	1.15
Liczba osób w pomieszczeniu	13
Temperatura powietrza, °C	23,10
Temperatura czarnej kuli, °C	23,50
Prędkość powietrza, m/s	0,01
Wilgotność względna powietrza, %	39,03
Natężenie oświetlenia, lx	543,1
Stężenie dwutlenku węgla, ppm	607
Ciśnienie cząstkowe pary wodnej, Pa	1103,00
M - Tempo metabolizmu, W/m <sup>2</sup>	70
M - Tempo metabolizmu, met	1
W - Efektywna moc mechaniczna, W/m <sup>2</sup>	0
Izolacyjność odzieży, clo	0,63
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży, m <sup>2</sup> K/W	0,0977
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży po zmianie, m <sup>2</sup> K/W	0,1126
fcl - Współczynnik powierzchni odzieży	1,11
tcl - Temperatura powierzchni odzieży, °C	28,94
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $> 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	3,70
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $< 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	1,21
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji naturalnej, °C	23,62
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji wymuszonej, °C	23,56
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje naturalną	1,79
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje wymuszoną	0,85
Temperatura powietrza zewnętrznego, °C	8
Ciśnienie atmosferyczne, hPa	1014
PMV - Przewidywana Średnia Ocena (Predicted Mean Vote)	-0,18
PPD - Przewidywany Odsetek Osób Niezadowolonych (Percentage of Dissatisfied People), %	5,70
TSV - Rzeczywista Średnia Ocena według ankiet (Thermal Sensation Vote)	0,69
PPD - Rzeczywisty Odsetek Osób Niezadowolonych według ankiet, %	7,69

Numer badania	58
Data	23.05.2022
Budynek	Energis
Sala	3.19
Liczba osób w pomieszczeniu	10
Temperatura powietrza, °C	23,30
Temperatura czarnej kuli, °C	23,70
Prędkość powietrza, m/s	0,16
Wilgotność względna powietrza, %	39,51
Natężenie oświetlenia, lx	134,1
Stężenie dwutlenku węgla, ppm	831
Ciśnienie cząstkowe pary wodnej, Pa	1130,00
M - Tempo metabolizmu, W/m <sup>2</sup>	70
M - Tempo metabolizmu, met	1
W - Efektywna moc mechaniczna, W/m <sup>2</sup>	0
Izolacyjność odzieży, clo	0,62
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży, m <sup>2</sup> K/W	0,0961
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży po zmianie, m <sup>2</sup> K/W	0,1085
fcl - Współczynnik powierzchni odzieży	1,11
tcl - Temperatura powierzchni odzieży, °C	28,76
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $> 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	3,64
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $< 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	4,84
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji naturalnej, °C	23,82
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji wymuszonej, °C	24,02
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje naturalną	1,79
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje wymuszoną	4,48
Temperatura powietrza zewnętrznego, °C	10
Ciśnienie atmosferyczne, hPa	1014
PMV - Przewidywana Średnia Ocena (Predicted Mean Vote)	-0,32
PPD - Przewidywany Odsetek Osób Niezadowolonych (Percentage of Dissatisfied People), %	7,07
TSV - Rzeczywista Średnia Ocena według ankiet (Thermal Sensation Vote)	0,2
PPD - Rzeczywisty Odsetek Osób Niezadowolonych według ankiet, %	0

Numer badania	59
Data	23.05.2022
Budynek	Energis
Sala	3.18
Liczba osób w pomieszczeniu	10
Temperatura powietrza, °C	23,10
Temperatura czarnej kuli, °C	23,10
Prędkość powietrza, m/s	0,12
Wilgotność względna powietrza, %	41,03
Natężenie oświetlenia, lx	110
Stężenie dwutlenku węgla, ppm	811
Ciśnienie cząstkowe pary wodnej, Pa	1159,00
M - Tempo metabolizmu, W/m <sup>2</sup>	70
M - Tempo metabolizmu, met	1
W - Efektywna moc mechaniczna, W/m <sup>2</sup>	0
Izolacyjność odzieży, clo	0,60
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży, m <sup>2</sup> K/W	0,0930
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży po zmianie, m <sup>2</sup> K/W	0,1076
fcl - Współczynnik powierzchni odzieży	1,11
tcl - Temperatura powierzchni odzieży, °C	28,79
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $> 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	3,68
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $< 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	4,19
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji naturalnej, °C	23,10
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji wymuszonej, °C	23,10
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje naturalną	0
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje wymuszoną	3,77
Temperatura powietrza zewnętrznego, °C	13
Ciśnienie atmosferyczne, hPa	1014
PMV - Przewidywana Średnia Ocena (Predicted Mean Vote)	-0,38
PPD - Przewidywany Odsetek Osób Niezadowolonych (Percentage of Dissatisfied People), %	8,06
TSV - Rzeczywista Średnia Ocena według ankiet (Thermal Sensation Vote)	0,5
PPD - Rzeczywisty Odsetek Osób Niezadowolonych według ankiet, %	10

Numer badania	60
Data	23.05.2022
Budynek	Energis
Sala	2.19
Liczba osób w pomieszczeniu	12
Temperatura powietrza, °C	23,80
Temperatura czarnej kuli, °C	24,40
Prędkość powietrza, m/s	0,05
Wilgotność względna powietrza, %	40,35
Natężenie oświetlenia, lx	43,7
Stężenie dwutlenku węgla, ppm	930
Ciśnienie cząstkowe pary wodnej, Pa	1189,00
M - Tempo metabolizmu, W/m <sup>2</sup>	70
M - Tempo metabolizmu, met	1
W - Efektywna moc mechaniczna, W/m <sup>2</sup>	0
Izolacyjność odzieży, clo	0,72
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży, m <sup>2</sup> K/W	0,1116
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży po zmianie, m <sup>2</sup> K/W	0,1237
fcl - Współczynnik powierzchni odzieży	1,12
tcl - Temperatura powierzchni odzieży, °C	29,03
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $> 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	3,60
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $< 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	2,71
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji naturalnej, °C	24,60
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji wymuszonej, °C	24,64
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje naturalną	1,98
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje wymuszoną	2,23
Temperatura powietrza zewnętrznego, °C	13
Ciśnienie atmosferyczne, hPa	1014
PMV - Przewidywana Średnia Ocena (Predicted Mean Vote)	0,20
PPD - Przewidywany Odsetek Osób Niezadowolonych (Percentage of Dissatisfied People), %	5,87
TSV - Rzeczywista Średnia Ocena według ankiet (Thermal Sensation Vote)	0,58
PPD - Rzeczywisty Odsetek Osób Niezadowolonych według ankiet, %	16,67

Numer badania	61
Data	23.05.2022
Budynek	Energis
Sala	3.19
Liczba osób w pomieszczeniu	10
Temperatura powietrza, °C	23,70
Temperatura czarnej kuli, °C	24,40
Prędkość powietrza, m/s	0,08
Wilgotność względna powietrza, %	44,32
Natężenie oświetlenia, lx	171,3
Stężenie dwutlenku węgla, ppm	1307
Ciśnienie cząstkowe pary wodnej, Pa	1298,00
M - Tempo metabolizmu, W/m <sup>2</sup>	70
M - Tempo metabolizmu, met	1
W - Efektywna moc mechaniczna, W/m <sup>2</sup>	0
Izolacyjność odzieży, clo	0,58
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży, m <sup>2</sup> K/W	0,0899
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży po zmianie, m <sup>2</sup> K/W	0,1038
fcl - Współczynnik powierzchni odzieży	1,11
tcl - Temperatura powierzchni odzieży, °C	29,55
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $> 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	3,70
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $< 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	3,42
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji naturalnej, °C	24,64
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji wymuszonej, °C	24,76
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje naturalną	2,06
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje wymuszoną	2,96
Temperatura powietrza zewnętrznego, °C	13
Ciśnienie atmosferyczne, hPa	1014
PMV - Przewidywana Średnia Ocena (Predicted Mean Vote)	-0,01
PPD - Przewidywany Odsetek Osób Niezadowolonych (Percentage of Dissatisfied People), %	5,00
TSV - Rzeczywista Średnia Ocena według ankiet (Thermal Sensation Vote)	0,6
PPD - Rzeczywisty Odsetek Osób Niezadowolonych według ankiet, %	20

Numer badania	62
Data	24.05.2022
Budynek	Energis
Sala	3.18
Liczba osób w pomieszczeniu	11
Temperatura powietrza, °C	24,00
Temperatura czarnej kuli, °C	24,30
Prędkość powietrza, m/s	0,05
Wilgotność względna powietrza, %	37,74
Natężenie oświetlenia, lx	40,2
Stężenie dwutlenku węgla, ppm	703
Ciśnienie cząstkowe pary wodnej, Pa	1126,00
M - Tempo metabolizmu, W/m <sup>2</sup>	70
M - Tempo metabolizmu, met	1
W - Efektywna moc mechaniczna, W/m <sup>2</sup>	0
Izolacyjność odzieży, clo	0,57
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży, m <sup>2</sup> K/W	0,0884
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży po zmianie, m <sup>2</sup> K/W	0,1032
fcl - Współczynnik powierzchni odzieży	1,11
tcl - Temperatura powierzchni odzieży, °C	29,58
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $> 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	3,66
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $< 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	2,71
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji naturalnej, °C	24,38
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji wymuszonej, °C	24,42
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje naturalną	1,66
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje wymuszoną	2,23
Temperatura powietrza zewnętrznego, °C	13
Ciśnienie atmosferyczne, hPa	1010
PMV - Przewidywana Średnia Ocena (Predicted Mean Vote)	-0,06
PPD - Przewidywany Odsetek Osób Niezadowolonych (Percentage of Dissatisfied People), %	5,08
TSV - Rzeczywista Średnia Ocena według ankiet (Thermal Sensation Vote)	0
PPD - Rzeczywisty Odsetek Osób Niezadowolonych według ankiet, %	18,18

Numer badania	63
Data	24.05.2022
Budynek	Energis
Sala	3.15
Liczba osób w pomieszczeniu	11
Temperatura powietrza, °C	24,60
Temperatura czarnej kuli, °C	24,60
Prędkość powietrza, m/s	0,06
Wilgotność względna powietrza, %	44,19
Natężenie oświetlenia, lx	148,6
Stężenie dwutlenku węgla, ppm	1100
Ciśnienie cząstkowe pary wodnej, Pa	1366,00
M - Tempo metabolizmu, W/m <sup>2</sup>	70
M - Tempo metabolizmu, met	1
W - Efektywna moc mechaniczna, W/m <sup>2</sup>	0
Izolacyjność odzieży, clo	0,56
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży, m <sup>2</sup> K/W	0,0868
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży po zmianie, m <sup>2</sup> K/W	0,0988
fcl - Współczynnik powierzchni odzieży	1,11
tcl - Temperatura powierzchni odzieży, °C	29,80
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $> 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	3,59
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $< 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	2,96
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji naturalnej, °C	24,60
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji wymuszonej, °C	24,60
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje naturalną	0
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje wymuszoną	2,49
Temperatura powietrza zewnętrznego, °C	16
Ciśnienie atmosferyczne, hPa	1010
PMV - Przewidywana Średnia Ocena (Predicted Mean Vote)	0,08
PPD - Przewidywany Odsetek Osób Niezadowolonych (Percentage of Dissatisfied People), %	5,14
TSV - Rzeczywista Średnia Ocena według ankiet (Thermal Sensation Vote)	0,82
PPD - Rzeczywisty Odsetek Osób Niezadowolonych według ankiet, %	9,09

Numer badania	64
Data	24.05.2022
Budynek	Energis
Sala	3.20
Liczba osób w pomieszczeniu	11
Temperatura powietrza, °C	24,00
Temperatura czarnej kuli, °C	24,50
Prędkość powietrza, m/s	0,05
Wilgotność względna powietrza, %	39,98
Natężenie oświetlenia, lx	337,5
Stężenie dwutlenku węgla, ppm	802
Ciśnienie cząstkowe pary wodnej, Pa	1193,00
M - Tempo metabolizmu, W/m <sup>2</sup>	70
M - Tempo metabolizmu, met	1
W - Efektywna moc mechaniczna, W/m <sup>2</sup>	0
Izolacyjność odzieży, clo	0,62
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży, m <sup>2</sup> K/W	0,0961
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży po zmianie, m <sup>2</sup> K/W	0,1095
fcl - Współczynnik powierzchni odzieży	1,11
tcl - Temperatura powierzchni odzieży, °C	29,45
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $> 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	3,64
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $< 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	2,71
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji naturalnej, °C	24,66
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji wymuszonej, °C	24,70
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje naturalną	1,89
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje wymuszoną	2,23
Temperatura powietrza zewnętrznego, °C	17
Ciśnienie atmosferyczne, hPa	1010
PMV - Przewidywana Średnia Ocena (Predicted Mean Vote)	0,08
PPD - Przewidywany Odsetek Osób Niezadowolonych (Percentage of Dissatisfied People), %	5,12
TSV - Rzeczywista Średnia Ocena według ankiet (Thermal Sensation Vote)	0,73
PPD - Rzeczywisty Odsetek Osób Niezadowolonych według ankiet, %	9,09



Numer badania	65
Data	24.05.2022
Budynek	Energis
Sala	2.20
Liczba osób w pomieszczeniu	13
Temperatura powietrza, °C	24,30
Temperatura czarnej kuli, °C	24,40
Prędkość powietrza, m/s	0,07
Wilgotność względna powietrza, %	43,76
Natężenie oświetlenia, lx	88,1
Stężenie dwutlenku węgla, ppm	1186
Ciśnienie cząstkowe pary wodnej, Pa	1329,00
M - Tempo metabolizmu, W/m <sup>2</sup>	70
M - Tempo metabolizmu, met	1
W - Efektywna moc mechaniczna, W/m <sup>2</sup>	0
Izolacyjność odzieży, clo	0,55
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży, m <sup>2</sup> K/W	0,0853
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży po zmianie, m <sup>2</sup> K/W	0,0998
fcl - Współczynnik powierzchni odzieży	1,10
tcl - Temperatura powierzchni odzieży, °C	29,74
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $> 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	3,64
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $< 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	3,20
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji naturalnej, °C	24,42
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji wymuszonej, °C	24,45
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje naturalną	1,27
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje wymuszoną	2,73
Temperatura powietrza zewnętrznego, °C	19
Ciśnienie atmosferyczne, hPa	1010
PMV - Przewidywana Średnia Ocena (Predicted Mean Vote)	-0,01
PPD - Przewidywany Odsetek Osób Niezadowolonych (Percentage of Dissatisfied People), %	5,00
TSV - Rzeczywista Średnia Ocena według ankiet (Thermal Sensation Vote)	0,31
PPD - Rzeczywisty Odsetek Osób Niezadowolonych według ankiet, %	0

Numer badania	66
Data	03.06.2022
Budynek	Energis
Sala	1.14
Liczba osób w pomieszczeniu	56
Temperatura powietrza, °C	25,20
Temperatura czarnej kuli, °C	25,30
Prędkość powietrza, m/s	0,07
Wilgotność względna powietrza, %	41,57
Natężenie oświetlenia, lx	450,8
Stężenie dwutlenku węgla, ppm	1233
Ciśnienie cząstkowe pary wodnej, Pa	1332,00
M - Tempo metabolizmu, W/m <sup>2</sup>	70
M - Tempo metabolizmu, met	1
W - Efektywna moc mechaniczna, W/m <sup>2</sup>	0
Izolacyjność odzieży, clo	0,59
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży, m <sup>2</sup> K/W	0,0915
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży po zmianie, m <sup>2</sup> K/W	0,1047
fcl - Współczynnik powierzchni odzieży	1,11
tcl - Temperatura powierzchni odzieży, °C	30,00
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $> 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	3,52
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $< 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	3,20
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji naturalnej, °C	25,32
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji wymuszonej, °C	25,35
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje naturalną	1,27
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje wymuszoną	2,73
Temperatura powietrza zewnętrznego, °C	17
Ciśnienie atmosferyczne, hPa	1024
PMV - Przewidywana Średnia Ocena (Predicted Mean Vote)	0,31
PPD - Przewidywany Odsetek Osób Niezadowolonych (Percentage of Dissatisfied People), %	6,98
TSV - Rzeczywista Średnia Ocena według ankiet (Thermal Sensation Vote)	0,89
PPD - Rzeczywisty Odsetek Osób Niezadowolonych według ankiet, %	25

Numer badania	67
Data	09.06.2022
Budynek	Energis
Sala	3.20
Liczba osób w pomieszczeniu	15
Temperatura powietrza, °C	25,30
Temperatura czarnej kuli, °C	25,70
Prędkość powietrza, m/s	0,07
Wilgotność względna powietrza, %	58,97
Natężenie oświetlenia, lx	123
Stężenie dwutlenku węgla, ppm	1064
Ciśnienie cząstkowe pary wodnej, Pa	1901,00
M - Tempo metabolizmu, W/m <sup>2</sup>	70
M - Tempo metabolizmu, met	1
W - Efektywna moc mechaniczna, W/m <sup>2</sup>	0
Izolacyjność odzieży, clo	0,40
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży, m <sup>2</sup> K/W	0,0620
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży po zmianie, m <sup>2</sup> K/W	0,0758
fcl - Współczynnik powierzchni odzieży	1,08
tcl - Temperatura powierzchni odzieży, °C	30,91
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $> 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	3,66
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $< 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	3,20
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji naturalnej, °C	25,82
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji wymuszonej, °C	25,89
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje naturalną	1,79
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje wymuszoną	2,73
Temperatura powietrza zewnętrznego, °C	24
Ciśnienie atmosferyczne, hPa	1008
PMV - Przewidywana Średnia Ocena (Predicted Mean Vote)	0,19
PPD - Przewidywany Odsetek Osób Niezadowolonych (Percentage of Dissatisfied People), %	5,73
TSV - Rzeczywista Średnia Ocena według ankiet (Thermal Sensation Vote)	1,93
PPD - Rzeczywisty Odsetek Osób Niezadowolonych według ankiet, %	80

Numer badania	68
Data	07.06.2022
Budynek	B
Sala	13
Liczba osób w pomieszczeniu	16
Temperatura powietrza, °C	25,30
Temperatura czarnej kuli, °C	26,20
Prędkość powietrza, m/s	0,10
Wilgotność względna powietrza, %	52,7
Natężenie oświetlenia, lx	72
Stężenie dwutlenku węgla, ppm	819
Ciśnienie cząstkowe pary wodnej, Pa	1699,00
M - Tempo metabolizmu, W/m <sup>2</sup>	70
M - Tempo metabolizmu, met	1
W - Efektywna moc mechaniczna, W/m <sup>2</sup>	0
Izolacyjność odzieży, clo	0,41
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży, m <sup>2</sup> K/W	0,0636
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży po zmianie, m <sup>2</sup> K/W	0,0784
fcl - Współczynnik powierzchni odzieży	1,08
tcl - Temperatura powierzchni odzieży, °C	30,97
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $> 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	3,67
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $< 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	3,83
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji naturalnej, °C	26,53
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji wymuszonej, °C	26,73
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje naturalną	2,19
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje wymuszoną	3,38
Temperatura powietrza zewnętrznego, °C	26
Ciśnienie atmosferyczne, hPa	1013
PMV - Przewidywana Średnia Ocena (Predicted Mean Vote)	0,26
PPD - Przewidywany Odsetek Osób Niezadowolonych (Percentage of Dissatisfied People), %	6,36
TSV - Rzeczywista Średnia Ocena według ankiet (Thermal Sensation Vote)	1,56
PPD - Rzeczywisty Odsetek Osób Niezadowolonych według ankiet, %	68,75

Numer badania	69
Data	09.06.2022
Budynek	B
Sala	13
Liczba osób w pomieszczeniu	16
Temperatura powietrza, °C	24,70
Temperatura czarnej kuli, °C	25,30
Prędkość powietrza, m/s	0,10
Wilgotność względna powietrza, %	65,6
Natężenie oświetlenia, lx	170
Stężenie dwutlenku węgla, ppm	652
Ciśnienie cząstkowe pary wodnej, Pa	2041,00
M - Tempo metabolizmu, W/m <sup>2</sup>	70
M - Tempo metabolizmu, met	1
W - Efektywna moc mechaniczna, W/m <sup>2</sup>	0
Izolacyjność odzieży, clo	0,45
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży, m <sup>2</sup> K/W	0,0698
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży po zmianie, m <sup>2</sup> K/W	0,0836
fcl - Współczynnik powierzchni odzieży	1,09
tcl - Temperatura powierzchni odzieży, °C	30,48
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $> 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	3,69
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $< 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	3,83
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji naturalnej, °C	25,50
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji wymuszonej, °C	25,65
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje naturalną	1,98
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje wymuszoną	3,38
Temperatura powietrza zewnętrznego, °C	24
Ciśnienie atmosferyczne, hPa	1008
PMV - Przewidywana Średnia Ocena (Predicted Mean Vote)	0,16
PPD - Przewidywany Odsetek Osób Niezadowolonych (Percentage of Dissatisfied People), %	5,51
TSV - Rzeczywista Średnia Ocena według ankiet (Thermal Sensation Vote)	0,88
PPD - Rzeczywisty Odsetek Osób Niezadowolonych według ankiet, %	18,75

Numer badania	70
Data	10.06.2022
Budynek	B
Sala	106
Liczba osób w pomieszczeniu	18
Temperatura powietrza, °C	24,40
Temperatura czarnej kuli, °C	24,90
Prędkość powietrza, m/s	0,10
Wilgotność względna powietrza, %	65,8
Natężenie oświetlenia, lx	405
Stężenie dwutlenku węgla, ppm	1176
Ciśnienie cząstkowe pary wodnej, Pa	2010,00
M - Tempo metabolizmu, W/m <sup>2</sup>	70
M - Tempo metabolizmu, met	1
W - Efektywna moc mechaniczna, W/m <sup>2</sup>	0
Izolacyjność odzieży, clo	0,54
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży, m <sup>2</sup> K/W	0,0837
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży po zmianie, m <sup>2</sup> K/W	0,0952
fcl - Współczynnik powierzchni odzieży	1,10
tcl - Temperatura powierzchni odzieży, °C	29,91
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $> 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	3,65
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $< 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	3,83
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji naturalnej, °C	25,06
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji wymuszonej, °C	25,20
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje naturalną	1,89
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje wymuszoną	3,38
Temperatura powietrza zewnętrznego, °C	22
Ciśnienie atmosferyczne, hPa	1018
PMV - Przewidywana Średnia Ocena (Predicted Mean Vote)	0,21
PPD - Przewidywany Odsetek Osób Niezadowolonych (Percentage of Dissatisfied People), %	5,88
TSV - Rzeczywista Średnia Ocena według ankiet (Thermal Sensation Vote)	1,33
PPD - Rzeczywisty Odsetek Osób Niezadowolonych według ankiet, %	55,56

Numer badania	71
Data	10.06.2022
Budynek	B
Sala	110
Liczba osób w pomieszczeniu	12
Temperatura powietrza, °C	23,70
Temperatura czarnej kuli, °C	24,40
Prędkość powietrza, m/s	0,09
Wilgotność względna powietrza, %	62,3
Natężenie oświetlenia, lx	94
Stężenie dwutlenku węgla, ppm	519
Ciśnienie cząstkowe pary wodnej, Pa	1825,00
M - Tempo metabolizmu, W/m <sup>2</sup>	70
M - Tempo metabolizmu, met	1
W - Efektywna moc mechaniczna, W/m <sup>2</sup>	0
Izolacyjność odzieży, clo	0,51
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży, m <sup>2</sup> K/W	0,0791
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży po zmianie, m <sup>2</sup> K/W	0,0916
fcl - Współczynnik powierzchni odzieży	1,10
tcl - Temperatura powierzchni odzieży, °C	29,85
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $> 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	3,75
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $< 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	3,63
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji naturalnej, °C	24,64
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji wymuszonej, °C	24,79
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje naturalną	2,06
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje wymuszoną	3,17
Temperatura powietrza zewnętrznego, °C	20
Ciśnienie atmosferyczne, hPa	1018
PMV - Przewidywana Średnia Ocena (Predicted Mean Vote)	-0,02
PPD - Przewidywany Odsetek Osób Niezadowolonych (Percentage of Dissatisfied People), %	5,01
TSV - Rzeczywista Średnia Ocena według ankiet (Thermal Sensation Vote)	0,33
PPD - Rzeczywisty Odsetek Osób Niezadowolonych według ankiet, %	8,33

Numer badania	72
Data	11.06.2022
Budynek	B
Sala	119
Liczba osób w pomieszczeniu	10
Temperatura powietrza, °C	23,10
Temperatura czarnej kuli, °C	22,80
Prędkość powietrza, m/s	0,05
Wilgotność względna powietrza, %	61,8
Natężenie oświetlenia, lx	1484,6
Stężenie dwutlenku węgla, ppm	1069
Ciśnienie cząstkowe pary wodnej, Pa	1746,00
M - Tempo metabolizmu, W/m <sup>2</sup>	70
M - Tempo metabolizmu, met	1
W - Efektywna moc mechaniczna, W/m <sup>2</sup>	0
Izolacyjność odzieży, clo	0,62
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży, m <sup>2</sup> K/W	0,0961
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży po zmianie, m <sup>2</sup> K/W	0,1081
fcl - Współczynnik powierzchni odzieży	1,11
tcl - Temperatura powierzchni odzieży, °C	28,77
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $> 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	3,67
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $< 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	2,71
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji naturalnej, °C	22,71
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji wymuszonej, °C	22,68
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje naturalną	1,66
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje wymuszoną	2,23
Temperatura powietrza zewnętrznego, °C	17
Ciśnienie atmosferyczne, hPa	1021
PMV - Przewidywana Średnia Ocena (Predicted Mean Vote)	-0,18
PPD - Przewidywany Odsetek Osób Niezadowolonych (Percentage of Dissatisfied People), %	5,64
TSV - Rzeczywista Średnia Ocena według ankiet (Thermal Sensation Vote)	0,3
PPD - Rzeczywisty Odsetek Osób Niezadowolonych według ankiet, %	20



Numer badania	73
Data	11.06.2022
Budynek	B
Sala	106
Liczba osób w pomieszczeniu	11
Temperatura powietrza, °C	23,80
Temperatura czarnej kuli, °C	23,70
Prędkość powietrza, m/s	0,06
Wilgotność względna powietrza, %	56,68
Natężenie oświetlenia, lx	209,1
Stężenie dwutlenku węgla, ppm	663
Ciśnienie cząstkowe pary wodnej, Pa	1670,00
M - Tempo metabolizmu, W/m <sup>2</sup>	70
M - Tempo metabolizmu, met	1
W - Efektywna moc mechaniczna, W/m <sup>2</sup>	0
Izolacyjność odzieży, clo	0,47
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży, m <sup>2</sup> K/W	0,0729
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży po zmianie, m <sup>2</sup> K/W	0,0886
fcl - Współczynnik powierzchni odzieży	1,09
tcl - Temperatura powierzchni odzieży, °C	29,84
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $> 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	3,73
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $< 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	2,96
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji naturalnej, °C	23,68
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji wymuszonej, °C	23,66
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje naturalną	1,27
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje wymuszoną	2,49
Temperatura powietrza zewnętrznego, °C	19
Ciśnienie atmosferyczne, hPa	1022
PMV - Przewidywana Średnia Ocena (Predicted Mean Vote)	-0,28
PPD - Przewidywany Odsetek Osób Niezadowolonych (Percentage of Dissatisfied People), %	6,66
TSV - Rzeczywista Średnia Ocena według ankiet (Thermal Sensation Vote)	0,82
PPD - Rzeczywisty Odsetek Osób Niezadowolonych według ankiet, %	18,18

Numer badania	74
Data	11.06.2022
Budynek	A
Sala	236
Liczba osób w pomieszczeniu	16
Temperatura powietrza, °C	25,30
Temperatura czarnej kuli, °C	25,60
Prędkość powietrza, m/s	0,06
Wilgotność względna powietrza, %	54,4
Natężenie oświetlenia, lx	94
Stężenie dwutlenku węgla, ppm	1156
Ciśnienie cząstkowe pary wodnej, Pa	1754,00
M - Tempo metabolizmu, W/m <sup>2</sup>	70
M - Tempo metabolizmu, met	1
W - Efektywna moc mechaniczna, W/m <sup>2</sup>	0
Izolacyjność odzieży, clo	0,59
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży, m <sup>2</sup> K/W	0,0915
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży po zmianie, m <sup>2</sup> K/W	0,1043
fcl - Współczynnik powierzchni odzieży	1,11
tcl - Temperatura powierzchni odzieży, °C	30,11
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $> 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	3,52
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $< 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	2,96
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji naturalnej, °C	25,68
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji wymuszonej, °C	25,73
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje naturalną	1,66
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje wymuszoną	2,49
Temperatura powietrza zewnętrznego, °C	20
Ciśnienie atmosferyczne, hPa	1022
PMV - Przewidywana Średnia Ocena (Predicted Mean Vote)	0,47
PPD - Przewidywany Odsetek Osób Niezadowolonych (Percentage of Dissatisfied People), %	9,54
TSV - Rzeczywista Średnia Ocena według ankiet (Thermal Sensation Vote)	1,06
PPD - Rzeczywisty Odsetek Osób Niezadowolonych według ankiet, %	37,5

Numer badania	75
Data	11.06.2022
Budynek	A
Sala	228
Liczba osób w pomieszczeniu	18
Temperatura powietrza, °C	24,90
Temperatura czarnej kuli, °C	25,40
Prędkość powietrza, m/s	0,07
Wilgotność względna powietrza, %	58,01
Natężenie oświetlenia, lx	181
Stężenie dwutlenku węgla, ppm	2007
Ciśnienie cząstkowe pary wodnej, Pa	1826,00
M - Tempo metabolizmu, W/m <sup>2</sup>	70
M - Tempo metabolizmu, met	1
W - Efektywna moc mechaniczna, W/m <sup>2</sup>	0
Izolacyjność odzieży, clo	0,48
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży, m <sup>2</sup> K/W	0,0744
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży po zmianie, m <sup>2</sup> K/W	0,0870
fcl - Współczynnik powierzchni odzieży	1,10
tcl - Temperatura powierzchni odzieży, °C	30,42
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $> 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	3,65
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $< 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	3,20
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji naturalnej, °C	25,56
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji wymuszonej, °C	25,64
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje naturalną	1,89
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje wymuszoną	2,73
Temperatura powietrza zewnętrznego, °C	20
Ciśnienie atmosferyczne, hPa	1022
PMV - Przewidywana Średnia Ocena (Predicted Mean Vote)	0,22
PPD - Przewidywany Odsetek Osób Niezadowolonych (Percentage of Dissatisfied People), %	6,01
TSV - Rzeczywista Średnia Ocena według ankiet (Thermal Sensation Vote)	1,28
PPD - Rzeczywisty Odsetek Osób Niezadowolonych według ankiet, %	50

Numer badania	76
Data	11.06.2022
Budynek	B
Sala	115
Liczba osób w pomieszczeniu	14
Temperatura powietrza, °C	24,40
Temperatura czarnej kuli, °C	25,10
Prędkość powietrza, m/s	0,08
Wilgotność względna powietrza, %	61,2
Natężenie oświetlenia, lx	297
Stężenie dwutlenku węgla, ppm	2470
Ciśnienie cząstkowe pary wodnej, Pa	1870,00
M - Tempo metabolizmu, W/m <sup>2</sup>	70
M - Tempo metabolizmu, met	1
W - Efektywna moc mechaniczna, W/m <sup>2</sup>	0
Izolacyjność odzieży, clo	0,51
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży, m <sup>2</sup> K/W	0,0791
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży po zmianie, m <sup>2</sup> K/W	0,0910
fcl - Współczynnik powierzchni odzieży	1,10
tcl - Temperatura powierzchni odzieży, °C	30,14
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $> 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	3,68
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $< 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	3,42
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji naturalnej, °C	25,34
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji wymuszonej, °C	25,46
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje naturalną	2,06
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje wymuszoną	2,96
Temperatura powietrza zewnętrznego, °C	22
Ciśnienie atmosferyczne, hPa	1021
PMV - Przewidywana Średnia Ocena (Predicted Mean Vote)	0,18
PPD - Przewidywany Odsetek Osób Niezadowolonych (Percentage of Dissatisfied People), %	5,71
TSV - Rzeczywista Średnia Ocena według ankiet (Thermal Sensation Vote)	1,36
PPD - Rzeczywisty Odsetek Osób Niezadowolonych według ankiet, %	57,14

Numer badania	77
Data	11.06.2022
Budynek	B
Sala	110
Liczba osób w pomieszczeniu	17
Temperatura powietrza, °C	24,70
Temperatura czarnej kuli, °C	25,60
Prędkość powietrza, m/s	0,14
Wilgotność względna powietrza, %	47,79
Natężenie oświetlenia, lx	571,8
Stężenie dwutlenku węgla, ppm	700
Ciśnienie cząstkowe pary wodnej, Pa	1487,00
M - Tempo metabolizmu, W/m <sup>2</sup>	70
M - Tempo metabolizmu, met	1
W - Efektywna moc mechaniczna, W/m <sup>2</sup>	0
Izolacyjność odzieży, clo	0,46
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży, m <sup>2</sup> K/W	0,0713
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży po zmianie, m <sup>2</sup> K/W	0,0844
fcl - Współczynnik powierzchni odzieży	1,09
tcl - Temperatura powierzchni odzieży, °C	30,36
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $> 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	3,67
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $< 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	4,53
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji naturalnej, °C	25,93
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji wymuszonej, °C	26,25
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje naturalną	2,19
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje wymuszoną	4,14
Temperatura powietrza zewnętrznego, °C	22
Ciśnienie atmosferyczne, hPa	1022
PMV - Przewidywana Średnia Ocena (Predicted Mean Vote)	0,00
PPD - Przewidywany Odsetek Osób Niezadowolonych (Percentage of Dissatisfied People), %	5,00
TSV - Rzeczywista Średnia Ocena według ankiet (Thermal Sensation Vote)	0,76
PPD - Rzeczywisty Odsetek Osób Niezadowolonych według ankiet, %	11,76

Numer badania	78
Data	12.06.2022
Budynek	B
Sala	228
Liczba osób w pomieszczeniu	11
Temperatura powietrza, °C	24,80
Temperatura czarnej kuli, °C	24,30
Prędkość powietrza, m/s	0,05
Wilgotność względna powietrza, %	46,6
Natężenie oświetlenia, lx	646
Stężenie dwutlenku węgla, ppm	704
Ciśnienie cząstkowe pary wodnej, Pa	1458,00
M - Tempo metabolizmu, W/m <sup>2</sup>	70
M - Tempo metabolizmu, met	1
W - Efektywna moc mechaniczna, W/m <sup>2</sup>	0
Izolacyjność odzieży, clo	0,50
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży, m <sup>2</sup> K/W	0,0775
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży po zmianie, m <sup>2</sup> K/W	0,0897
fcl - Współczynnik powierzchni odzieży	1,10
tcl - Temperatura powierzchni odzieży, °C	30,00
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $> 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	3,59
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $< 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	2,71
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji naturalnej, °C	24,14
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji wymuszonej, °C	24,10
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje naturalną	1,89
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje wymuszoną	2,23
Temperatura powietrza zewnętrznego, °C	25
Ciśnienie atmosferyczne, hPa	1021
PMV - Przewidywana Średnia Ocena (Predicted Mean Vote)	-0,05
PPD - Przewidywany Odsetek Osób Niezadowolonych (Percentage of Dissatisfied People), %	5,05
TSV - Rzeczywista Średnia Ocena według ankiet (Thermal Sensation Vote)	0,64
PPD - Rzeczywisty Odsetek Osób Niezadowolonych według ankiet, %	0

Numer badania	79
Data	13.06.2022
Budynek	B
Sala	13
Liczba osób w pomieszczeniu	11
Temperatura powietrza, °C	24,30
Temperatura czarnej kuli, °C	24,30
Prędkość powietrza, m/s	0,07
Wilgotność względna powietrza, %	52,5
Natężenie oświetlenia, lx	103,2
Stężenie dwutlenku węgla, ppm	699
Ciśnienie cząstkowe pary wodnej, Pa	1594,00
M - Tempo metabolizmu, W/m <sup>2</sup>	70
M - Tempo metabolizmu, met	1
W - Efektywna moc mechaniczna, W/m <sup>2</sup>	0
Izolacyjność odzieży, clo	0,45
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży, m <sup>2</sup> K/W	0,0698
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży po zmianie, m <sup>2</sup> K/W	0,0852
fcl - Współczynnik powierzchni odzieży	1,09
tcl - Temperatura powierzchni odzieży, °C	30,17
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $> 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	3,70
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $< 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	3,20
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji naturalnej, °C	24,30
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji wymuszonej, °C	24,30
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje naturalną	0
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje wymuszoną	2,73
Temperatura powietrza zewnętrznego, °C	22
Ciśnienie atmosferyczne, hPa	1015
PMV - Przewidywana Średnia Ocena (Predicted Mean Vote)	-0,17
PPD - Przewidywany Odsetek Osób Niezadowolonych (Percentage of Dissatisfied People), %	5,62
TSV - Rzeczywista Średnia Ocena według ankiet (Thermal Sensation Vote)	1,09
PPD - Rzeczywisty Odsetek Osób Niezadowolonych według ankiet, %	27,27

Numer badania	80
Data	18.10.2021
Budynek	A
Sala	1.08
Liczba osób w pomieszczeniu	25
Temperatura powietrza, °C	20,00
Temperatura czarnej kuli, °C	20,10
Prędkość powietrza, m/s	0,11
Wilgotność względna powietrza, %	44,8
Natężenie oświetlenia, lx	30,5
Stężenie dwutlenku węgla, ppm	587
Ciśnienie cząstkowe pary wodnej, Pa	1047,00
M - Tempo metabolizmu, W/m <sup>2</sup>	70
M - Tempo metabolizmu, met	1
W - Efektywna moc mechaniczna, W/m <sup>2</sup>	0
Izolacyjność odzieży, clo	0,88
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży, m <sup>2</sup> K/W	0,1364
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży po zmianie, m <sup>2</sup> K/W	0,1478
fcl - Współczynnik powierzchni odzieży	1,14
tcl - Temperatura powierzchni odzieży, °C	26,12
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $> 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	3,74
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $< 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	4,01
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji naturalnej, °C	20,12
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji wymuszonej, °C	20,17
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje naturalną	1,27
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje wymuszoną	3,58
Temperatura powietrza zewnętrznego, °C	8
Ciśnienie atmosferyczne, hPa	1024
PMV - Przewidywana Średnia Ocena (Predicted Mean Vote)	-0,56
PPD - Przewidywany Odsetek Osób Niezadowolonych (Percentage of Dissatisfied People), %	11,62
TSV - Rzeczywista Średnia Ocena według ankiet (Thermal Sensation Vote)	-0,92
PPD - Rzeczywisty Odsetek Osób Niezadowolonych według ankiet, %	48



Numer badania	81
Data	31.03.2022
Budynek	A
Sala	1.08
Liczba osób w pomieszczeniu	16
Temperatura powietrza, °C	22,60
Temperatura czarnej kuli, °C	23,50
Prędkość powietrza, m/s	0,08
Wilgotność względna powietrza, %	25,95
Natężenie oświetlenia, lx	298,3
Stężenie dwutlenku węgla, ppm	509
Ciśnienie cząstkowe pary wodnej, Pa	711,00
M - Tempo metabolizmu, W/m <sup>2</sup>	70
M - Tempo metabolizmu, met	1
W - Efektywna moc mechaniczna, W/m <sup>2</sup>	0
Izolacyjność odzieży, clo	0,63
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży, m <sup>2</sup> K/W	0,0977
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży po zmianie, m <sup>2</sup> K/W	0,1110
fcl - Współczynnik powierzchni odzieży	1,11
tcl - Temperatura powierzchni odzieży, °C	28,89
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $> 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	3,77
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $< 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	3,42
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji naturalnej, °C	23,84
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji wymuszonej, °C	23,97
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje naturalną	2,19
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje wymuszoną	2,96
Temperatura powietrza zewnętrznego, °C	2
Ciśnienie atmosferyczne, hPa	1003
PMV - Przewidywana Średnia Ocena (Predicted Mean Vote)	-0,30
PPD - Przewidywany Odsetek Osób Niezadowolonych (Percentage of Dissatisfied People), %	6,86
TSV - Rzeczywista Średnia Ocena według ankiet (Thermal Sensation Vote)	0,69
PPD - Rzeczywisty Odsetek Osób Niezadowolonych według ankiet, %	18,75

Numer badania	82
Data	27.04.2022
Budynek	A
Sala	2.07
Liczba osób w pomieszczeniu	10
Temperatura powietrza, °C	24,40
Temperatura czarnej kuli, °C	24,30
Prędkość powietrza, m/s	0,08
Wilgotność względna powietrza, %	30,7
Natężenie oświetlenia, lx	66,7
Stężenie dwutlenku węgla, ppm	670
Ciśnienie cząstkowe pary wodnej, Pa	938,00
M - Tempo metabolizmu, W/m <sup>2</sup>	70
M - Tempo metabolizmu, met	1
W - Efektywna moc mechaniczna, W/m <sup>2</sup>	0
Izolacyjność odzieży, clo	0,65
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży, m <sup>2</sup> K/W	0,1008
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży po zmianie, m <sup>2</sup> K/W	0,1140
fcl - Współczynnik powierzchni odzieży	1,11
tcl - Temperatura powierzchni odzieży, °C	29,33
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $> 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	3,55
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $< 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	3,42
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji naturalnej, °C	24,28
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji wymuszonej, °C	24,25
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje naturalną	1,27
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje wymuszoną	2,96
Temperatura powietrza zewnętrznego, °C	6
Ciśnienie atmosferyczne, hPa	1020
PMV - Przewidywana Średnia Ocena (Predicted Mean Vote)	0,07
PPD - Przewidywany Odsetek Osób Niezadowolonych (Percentage of Dissatisfied People), %	5,10
TSV - Rzeczywista Średnia Ocena według ankiet (Thermal Sensation Vote)	1,1
PPD - Rzeczywisty Odsetek Osób Niezadowolonych według ankiet, %	30

Numer badania	83
Data	27.04.2022
Budynek	A
Sala	2.09
Liczba osób w pomieszczeniu	11
Temperatura powietrza, °C	22,70
Temperatura czarnej kuli, °C	23,20
Prędkość powietrza, m/s	0,06
Wilgotność względna powietrza, %	30,98
Natężenie oświetlenia, lx	869,2
Stężenie dwutlenku węgla, ppm	660
Ciśnienie cząstkowe pary wodnej, Pa	854,00
M - Tempo metabolizmu, W/m <sup>2</sup>	70
M - Tempo metabolizmu, met	1
W - Efektywna moc mechaniczna, W/m <sup>2</sup>	0
Izolacyjność odzieży, clo	0,63
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży, m <sup>2</sup> K/W	0,0977
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży po zmianie, m <sup>2</sup> K/W	0,1113
fcl - Współczynnik powierzchni odzieży	1,11
tcl - Temperatura powierzchni odzieży, °C	28,79
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $> 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	3,74
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $< 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	2,96
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji naturalnej, °C	23,36
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji wymuszonej, °C	23,42
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje naturalną	1,89
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje wymuszoną	2,49
Temperatura powietrza zewnętrznego, °C	13
Ciśnienie atmosferyczne, hPa	1022
PMV - Przewidywana Średnia Ocena (Predicted Mean Vote)	-0,32
PPD - Przewidywany Odsetek Osób Niezadowolonych (Percentage of Dissatisfied People), %	7,13
TSV - Rzeczywista Średnia Ocena według ankiet (Thermal Sensation Vote)	0
PPD - Rzeczywisty Odsetek Osób Niezadowolonych według ankiet, %	0

Numer badania	84
Data	22.06.2022
Budynek	A
Sala	2.13
Liczba osób w pomieszczeniu	13
Temperatura powietrza, °C	26,10
Temperatura czarnej kuli, °C	26,60
Prędkość powietrza, m/s	0,07
Wilgotność względna powietrza, %	34
Natężenie oświetlenia, lx	131,7
Stężenie dwutlenku węgla, ppm	621
Ciśnienie cząstkowe pary wodnej, Pa	1149,00
M - Tempo metabolizmu, W/m <sup>2</sup>	70
M - Tempo metabolizmu, met	1
W - Efektywna moc mechaniczna, W/m <sup>2</sup>	0
Izolacyjność odzieży, clo	0,51
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży, m <sup>2</sup> K/W	0,0791
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży po zmianie, m <sup>2</sup> K/W	0,0922
fcl - Współczynnik powierzchni odzieży	1,10
tcl - Temperatura powierzchni odzieży, °C	30,80
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $> 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	3,50
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $< 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	3,20
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji naturalnej, °C	26,76
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji wymuszonej, °C	26,84
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje naturalną	1,89
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje wymuszoną	2,73
Temperatura powietrza zewnętrznego, °C	22
Ciśnienie atmosferyczne, hPa	1013
PMV - Przewidywana Średnia Ocena (Predicted Mean Vote)	0,47
PPD - Przewidywany Odsetek Osób Niezadowolonych (Percentage of Dissatisfied People), %	9,62
TSV - Rzeczywista Średnia Ocena według ankiet (Thermal Sensation Vote)	1,92
PPD - Rzeczywisty Odsetek Osób Niezadowolonych według ankiet, %	76,92

Numer badania	85
Data	28.06.2022
Budynek	A
Sala	1.03
Liczba osób w pomieszczeniu	20
Temperatura powietrza, °C	29,20
Temperatura czarnej kuli, °C	29,20
Prędkość powietrza, m/s	0,08
Wilgotność względna powietrza, %	45,3
Natężenie oświetlenia, lx	472,2
Stężenie dwutlenku węgla, ppm	615
Ciśnienie cząstkowe pary wodnej, Pa	1835,00
M - Tempo metabolizmu, W/m <sup>2</sup>	70
M - Tempo metabolizmu, met	1
W - Efektywna moc mechaniczna, W/m <sup>2</sup>	0
Izolacyjność odzieży, clo	0,44
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży, m <sup>2</sup> K/W	0,0682
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży po zmianie, m <sup>2</sup> K/W	0,0825
fcl - Współczynnik powierzchni odzieży	1,09
tcl - Temperatura powierzchni odzieży, °C	32,07
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $> 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	3,10
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $< 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	3,42
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji naturalnej, °C	29,20
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji wymuszonej, °C	29,20
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje naturalną	0
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje wymuszoną	2,96
Temperatura powietrza zewnętrznego, °C	32
Ciśnienie atmosferyczne, hPa	1012
PMV - Przewidywana Średnia Ocena (Predicted Mean Vote)	1,30
PPD - Przewidywany Odsetek Osób Niezadowolonych (Percentage of Dissatisfied People), %	40,33
TSV - Rzeczywista Średnia Ocena według ankiet (Thermal Sensation Vote)	2,45
PPD - Rzeczywisty Odsetek Osób Niezadowolonych według ankiet, %	90

Numer badania	86
Data	05.04.2022
Budynek	B
Sala	4.15
Liczba osób w pomieszczeniu	12
Temperatura powietrza, °C	23,60
Temperatura czarnej kuli, °C	23,70
Prędkość powietrza, m/s	0,06
Wilgotność względna powietrza, %	26,29
Natężenie oświetlenia, lx	1095,1
Stężenie dwutlenku węgla, ppm	660
Ciśnienie cząstkowe pary wodnej, Pa	766,00
M - Tempo metabolizmu, W/m <sup>2</sup>	70
M - Tempo metabolizmu, met	1
W - Efektywna moc mechaniczna, W/m <sup>2</sup>	0
Izolacyjność odzieży, clo	0,75
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży, m <sup>2</sup> K/W	0,1163
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży po zmianie, m <sup>2</sup> K/W	0,1300
fcl - Współczynnik powierzchni odzieży	1,12
tcl - Temperatura powierzchni odzieży, °C	28,66
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $> 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	3,57
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $< 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	2,96
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji naturalnej, °C	23,72
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji wymuszonej, °C	23,74
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje naturalną	1,27
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje wymuszoną	2,49
Temperatura powietrza zewnętrznego, °C	3
Ciśnienie atmosferyczne, hPa	1001
PMV - Przewidywana Średnia Ocena (Predicted Mean Vote)	0,03
PPD - Przewidywany Odsetek Osób Niezadowolonych (Percentage of Dissatisfied People), %	5,02
TSV - Rzeczywista Średnia Ocena według ankiet (Thermal Sensation Vote)	0,42
PPD - Rzeczywisty Odsetek Osób Niezadowolonych według ankiet, %	0

Numer badania	87
Data	25.06.2022
Budynek	B
Sala	1,17
Liczba osób w pomieszczeniu	26
Temperatura powietrza, °C	27,60
Temperatura czarnej kuli, °C	28,10
Prędkość powietrza, m/s	0,08
Wilgotność względna powietrza, %	40,03
Natężenie oświetlenia, lx	166
Stężenie dwutlenku węgla, ppm	726
Ciśnienie cząstkowe pary wodnej, Pa	1478,00
M - Tempo metabolizmu, W/m <sup>2</sup>	70
M - Tempo metabolizmu, met	1
W - Efektywna moc mechaniczna, W/m <sup>2</sup>	0
Izolacyjność odzieży, clo	0,49
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży, m <sup>2</sup> K/W	0,0760
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży po zmianie, m <sup>2</sup> K/W	0,0906
fcl - Współczynnik powierzchni odzieży	1,10
tcl - Temperatura powierzchni odzieży, °C	31,48
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $> 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	3,34
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $< 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	3,42
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji naturalnej, °C	28,25
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji wymuszonej, °C	28,35
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje naturalną	1,89
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje wymuszoną	2,96
Temperatura powietrza zewnętrznego, °C	27
Ciśnienie atmosferyczne, hPa	1013
PMV - Przewidywana Średnia Ocena (Predicted Mean Vote)	0,94
PPD - Przewidywany Odsetek Osób Niezadowolonych (Percentage of Dissatisfied People), %	23,70
TSV - Rzeczywista Średnia Ocena według ankiet (Thermal Sensation Vote)	2,04
PPD - Rzeczywisty Odsetek Osób Niezadowolonych według ankiet, %	80,77

Numer badania	88
Data	23.06.2022
Budynek	C
Sala	1.20
Liczba osób w pomieszczeniu	32
Temperatura powietrza, °C	26,10
Temperatura czarnej kuli, °C	26,20
Prędkość powietrza, m/s	0,08
Wilgotność względna powietrza, %	42,75
Natężenie oświetlenia, lx	196,2
Stężenie dwutlenku węgla, ppm	872
Ciśnienie cząstkowe pary wodnej, Pa	1445,00
M - Tempo metabolizmu, W/m <sup>2</sup>	70
M - Tempo metabolizmu, met	1
W - Efektywna moc mechaniczna, W/m <sup>2</sup>	0
Izolacyjność odzieży, clo	0,46
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży, m <sup>2</sup> K/W	0,0713
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży po zmianie, m <sup>2</sup> K/W	0,0855
fcl - Współczynnik powierzchni odzieży	1,09
tcl - Temperatura powierzchni odzieży, °C	30,87
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $> 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	3,52
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $< 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	3,42
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji naturalnej, °C	26,22
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji wymuszonej, °C	26,25
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje naturalną	1,27
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje wymuszoną	2,96
Temperatura powietrza zewnętrznego, °C	23
Ciśnienie atmosferyczne, hPa	1016
PMV - Przewidywana Średnia Ocena (Predicted Mean Vote)	0,38
PPD - Przewidywany Odsetek Osób Niezadowolonych (Percentage of Dissatisfied People), %	7,93
TSV - Rzeczywista Średnia Ocena według ankiet (Thermal Sensation Vote)	1,63
PPD - Rzeczywisty Odsetek Osób Niezadowolonych według ankiet, %	62,50



Numer badania	89
Data	25.06.2022
Budynek	C
Sala	2.07
Liczba osób w pomieszczeniu	29
Temperatura powietrza, °C	27,10
Temperatura czarnej kuli, °C	27,50
Prędkość powietrza, m/s	0,08
Wilgotność względna powietrza, %	43,73
Natężenie oświetlenia, lx	536
Stężenie dwutlenku węgla, ppm	1116
Ciśnienie cząstkowe pary wodnej, Pa	1568,00
M - Tempo metabolizmu, W/m <sup>2</sup>	70
M - Tempo metabolizmu, met	1
W - Efektywna moc mechaniczna, W/m <sup>2</sup>	0
Izolacyjność odzieży, clo	0,49
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży, m <sup>2</sup> K/W	0,0760
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży po zmianie, m <sup>2</sup> K/W	0,0912
fcl - Współczynnik powierzchni odzieży	1,10
tcl - Temperatura powierzchni odzieży, °C	31,26
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $> 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	3,40
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $< 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	3,42
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji naturalnej, °C	27,62
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji wymuszonej, °C	27,70
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje naturalną	1,79
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje wymuszoną	2,96
Temperatura powietrza zewnętrznego, °C	25
Ciśnienie atmosferyczne, hPa	1024
PMV - Przewidywana Średnia Ocena (Predicted Mean Vote)	0,80
PPD - Przewidywany Odsetek Osób Niezadowolonych (Percentage of Dissatisfied People), %	18,55
TSV - Rzeczywista Średnia Ocena według ankiet (Thermal Sensation Vote)	1,62
PPD - Rzeczywisty Odsetek Osób Niezadowolonych według ankiet, %	72,41

Numer badania	90
Data	25.06.2022
Budynek	C
Sala	1,15
Liczba osób w pomieszczeniu	22
Temperatura powietrza, °C	28,90
Temperatura czarnej kuli, °C	29,30
Prędkość powietrza, m/s	0,15
Wilgotność względna powietrza, %	37,13
Natężenie oświetlenia, lx	844,7
Stężenie dwutlenku węgla, ppm	729
Ciśnienie cząstkowe pary wodnej, Pa	1479,00
M - Tempo metabolizmu, W/m <sup>2</sup>	70
M - Tempo metabolizmu, met	1
W - Efektywna moc mechaniczna, W/m <sup>2</sup>	0
Izolacyjność odzieży, clo	0,51
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży, m <sup>2</sup> K/W	0,0791
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży po zmianie, m <sup>2</sup> K/W	0,0949
fcl - Współczynnik powierzchni odzieży	1,10
tcl - Temperatura powierzchni odzieży, °C	31,75
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $> 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	3,09
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $< 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	4,69
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji naturalnej, °C	29,42
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji wymuszonej, °C	29,59
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje naturalną	1,79
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje wymuszoną	4,31
Temperatura powietrza zewnętrznego, °C	26
Ciśnienie atmosferyczne, hPa	1013
PMV - Przewidywana Średnia Ocena (Predicted Mean Vote)	1,18
PPD - Przewidywany Odsetek Osób Niezadowolonych (Percentage of Dissatisfied People), %	34,46
TSV - Rzeczywista Średnia Ocena według ankiet (Thermal Sensation Vote)	2,32
PPD - Rzeczywisty Odsetek Osób Niezadowolonych według ankiet, %	86,36

Numer badania	91
Data	27.06.2022
Budynek	C
Sala	1,15
Liczba osób w pomieszczeniu	15
Temperatura powietrza, °C	29,40
Temperatura czarnej kuli, °C	30,20
Prędkość powietrza, m/s	0,11
Wilgotność względna powietrza, %	40,28
Natężenie oświetlenia, lx	538,5
Stężenie dwutlenku węgla, ppm	602
Ciśnienie cząstkowe pary wodnej, Pa	1651,00
M - Tempo metabolizmu, W/m <sup>2</sup>	70
M - Tempo metabolizmu, met	1
W - Efektywna moc mechaniczna, W/m <sup>2</sup>	0
Izolacyjność odzieży, clo	0,47
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży, m <sup>2</sup> K/W	0,0729
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży po zmianie, m <sup>2</sup> K/W	0,0852
fcl - Współczynnik powierzchni odzieży	1,09
tcl - Temperatura powierzchni odzieży, °C	32,26
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $> 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	3,10
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $< 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	4,01
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji naturalnej, °C	30,47
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji wymuszonej, °C	30,68
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje naturalną	2,13
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje wymuszoną	3,58
Temperatura powietrza zewnętrznego, °C	26
Ciśnienie atmosferyczne, hPa	1020
PMV - Przewidywana Średnia Ocena (Predicted Mean Vote)	1,48
PPD - Przewidywany Odsetek Osób Niezadowolonych (Percentage of Dissatisfied People), %	49,91
TSV - Rzeczywista Średnia Ocena według ankiet (Thermal Sensation Vote)	2,07
PPD - Rzeczywisty Odsetek Osób Niezadowolonych według ankiet, %	86,67

Numer badania	92
Data	27.06.2022
Budynek	C
Sala	1,15
Liczba osób w pomieszczeniu	11
Temperatura powietrza, °C	29,70
Temperatura czarnej kuli, °C	30,90
Prędkość powietrza, m/s	0,11
Wilgotność względna powietrza, %	40,2
Natężenie oświetlenia, lx	507,6
Stężenie dwutlenku węgla, ppm	644
Ciśnienie cząstkowe pary wodnej, Pa	1676,00
M - Tempo metabolizmu, W/m <sup>2</sup>	70
M - Tempo metabolizmu, met	1
W - Efektywna moc mechaniczna, W/m <sup>2</sup>	0
Izolacyjność odzieży, clo	0,48
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży, m <sup>2</sup> K/W	0,0744
Icl - Izolacyjność cieplna odzieży po zmianie, m <sup>2</sup> K/W	0,0871
fcl - Współczynnik powierzchni odzieży	1,10
tcl - Temperatura powierzchni odzieży, °C	32,50
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $> 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	3,08
hc - Współczynnik konwekcji ciepła dla $< 12,1\sqrt{v_{ar}}$ , W/m <sup>2</sup> K	4,01
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji naturalnej, °C	31,35
$\bar{t}_r$ - Średnia temperatura promieniowania przy konwekcji wymuszonej, °C	31,61
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje naturalną	2,35
hcg - Współczynnik wymiany ciepła przez konwekcje wymuszoną	3,58
Temperatura powietrza zewnętrznego, °C	29
Ciśnienie atmosferyczne, hPa	1020
PMV - Przewidywana Średnia Ocena (Predicted Mean Vote)	1,68
PPD - Przewidywany Odsetek Osób Niezadowolonych (Percentage of Dissatisfied People), %	60,58
TSV - Rzeczywista Średnia Ocena według ankiet (Thermal Sensation Vote)	2,36
PPD - Rzeczywisty Odsetek Osób Niezadowolonych według ankiet, %	81,81